การผลิตข้าวดัชนีน้ำตาลต่ำโดยการเสริมกรดคลอโรจินิค

PRODUCTION OF LOW GLYCEMIC INDEX RICE BY CHLOROGENIC ACID FORTIFICATION

ธนพล พรมทอง
THANAPOL PHROMTHONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-100-091

การผลิตข้าวดัชนีน้ำตาลต่ำโดยการเสริมกรดคลอโรจินิค

PRODUCTION OF LOW GLYCEMIC INDEX RICE BY CHLOROGENIC ACID FORTIFICATION

ธนพล พรมทอง

THANAPOL PHROMTHONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-100-091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCTION OF LOW GLYCEMIC INDEX RICE BY CHLOROGENIC ACID FORTIFICATION

THANAPOL PHROMTHONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-EN-M-100-091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตข้าวดัชนีน้ำตาลต่ำ โดยการเสริมกรดคลอโรจินิค
Thesis Title Production of Low Glycemic Index Rice by Chlorogenic Acid Fortification
นักศึกษา นายธนพล พรมทอง
รหัสประจำตัว 60601140
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-100-091

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อนุพันธ์	เทอดวงศ์วรกุล	
ผศ.ดร.จิราพร	ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ	
รศ.ดร.ปานมนัส	ศิริสมบูรณ์	
ผศ.ดร.ธีรพงศ์	ผลโพธิ์	
ผศ.ดร.ประสันต์	ชุ่มใจหาญ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 09.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง AE-302 อาคาร CCA

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตข้าวดัชนีน้ำตาลต่ำโดยการเสริมกรดคลอโรจินิค
นักศึกษา	นาย ธนพล พรมทอง
รหัสนักศึกษา	60601140
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

บทคัดย่อ

เทคนิคการท้าข้าวนึงถูกน้ามาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าว เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตข้าวดัชนีน้ำตาลต่ำโดยทดสอบที่สภาวะต่างกัน (อุณหภูมิในการแช่ข้าว 60°C เป็นเวลา 3, 4 และ5 ชั่วโมง และแช่ข้าวเปลือก 300 กรัม ด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคความเข้มข้น 0.8, 2.4 และ 4.0 กรัมต่อลิตร) โดยมีค่าชี้ผลที่ต้องการคือ ปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค เปอร์เซ็นต์แตกหักของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ผลทดสอบพบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่โดยใช้เวลาในการแช่ที่มากขึ้นส่งผลต่อท้าให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหลังสีลดลงตาม โดยที่ระยะเวลาการแช่ที่ 5 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักน้อยที่สุดเท่ากับ 10.19±3.55% โดยน้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการท้าข้าวนึงถึง30.39±2.07% ในส่วนของการปรับเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหลังสี ในด้านของปริมาณกรดคลอโรจินิคที่วัดได้ในเมล็ดข้าวพบว่าที่ทั้งเวลาในการแช่และความเข้มข้นของสารละลายในการแช่ที่มากขึ้นแปรผันตรงต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวโดยพบปริมาณกรดคลอโรจินิคมากที่สุดเท่ากับ 42.94±0.001 มิลลิกรัม ในข้าว 267 กรัม ที่ได้จากสภาวะระดับความเข้มข้นในการแช่เท่ากับ 4.0 กรัมต่อลิตร และระยะเวลาในการแช่เท่ากับ 5 ชั่วโมง ส้าหรับส่วนของค่าดัชนีน้ำตาลด้วยการเสริมกรดคลอโรจินิคเข้าไปในข้าวสามารถลดค่าดัชนีน้ำตาลได้ 18 หน่วย เมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเสริมกรดคลอโรจินิค โดยข้าวที่ผ่านกระบวนการเสริมกรดคลอโรจินิคมีค่าดัชนีน้ำตาลประมาณ 62 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Production of low glycemic index rice by chlorogenic acid fortification
Student	Mr. Thanapol Phromthong
Student ID.	60601140
Degree	Master of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Prasan Choomjaihan

ABSTRACT

Parboiling was used as a technique for chlorogenic acid (CGA) fortification in brown rice. This research aimed to produce low glycemic index rice.The conditions of this research were set with 300 g of paddy soaking for 3, 4 and 5 h and soaking in CGA solution of 0.8, 2.4 and 4.0 g/L concentration at 60 °C controlled temperature. The indicators of this research were investigated to determine the uptake of chlorogenic acid, the percentage of breakage kernel of the fortified rice after being milled and the glycemic index (GI). The results showed that the soaking time had a significant effect on the percentage of breakage kernel of the fortified rice after being milled. At 5 h of soaking time gave the lowest fracture percentage of 10.19 ± 3.55%. However, the use of different concentration's solutions did not affected on the percentage of broken kernel after milling. And the effects of soaking time and solution's concentration on amount of chlorogenic acid in rice kernel was measured and found that both soaking time and solution concentration increased the amount of chlorogenic acid in cooked rice. In conclusion, at 5 h of soaking time and at 4.0 g/L of solution concentration gave the highest amount of chlorogenic acid in cooked rice equal 42.94±0.001 mg in 267 g of rice. The chlorogenic fortification rice gave the GI value of 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ ที่ให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องให้คำแนะนำ ปรึกษา ตลอดจนให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ทุกท่านที่ช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ธนพล พรมทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
	1
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความหมายและการใช้งานคาร์โบไฮเดรตของร่างกาย	4
2.2 โรคเบาหวาน	13
2.3 แนวทางในการลดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงของผู้ป่วยเบาหวาน	18
2.4 กรดคลอโรจินิค	24
2.5 ข้าวและการปรับปรุงคุณภาพ	26
บทที่ 3 อุปกรณ์และการดำเนินการทดลอง	31
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	31
3.2 การเตรียมตัวอย่างและสารละลายที่ใช้ในการทดลอง	36
3.3 แผนการทดลอง	36
3.4 ค่าชี้ผลในการทดลอง	46
3.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง..... 52

4.1 ผลของการศึกษาระดับเวลาและความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว..... 52

4.2 ผลของการศึกษาระดับเวลาและความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิกหุงสุก..... 55

4.3 ผลการศึกษาการหาดัชนีน้ำตาลและการตอบสนองของระดับน่ำตาลในกระแสเลือดของข้าวตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด..... 57

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 63

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 63

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 64

เอกสารอ้างอิง..... 65

ภาคผนวก..... 70

ภาคผนวก ก. เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว..... 71

ภาคผนวก ข. ปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหุงสุก..... 75

ภาคผนวก ค. ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าว.... 81

ภาคผนวก ง. การทดสอบทางสถิติ..... 90

ภาคผนวก จ. ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่..... 111

ประวัติผู้เขียน..... 117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่..... หน้า

2.1 การเปรียบเทียบโรคเบาหวานชนิดที่ 1 กับโรคเบาหวานชนิดที่ 2..... 14

2.2 เกณฑ์การวินิจฉัยโรคเบาหวาน..... 18

2.3 เกณฑ์ในการชี้วัดค่าดัชนีน้ำตาลในอาหาร..... 22

2.4 การแบ่งประเภทของข้าวและคุณภาพข้าวสุกตามปริมาณอะไมโลส..... 23

4.1 ค่าเฉลี่ยของระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกที่แตกต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว..... 54

4.2 ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่แตกต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว..... 54

4.3 ค่าเฉลี่ยของระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารละลายกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหุงสุก 267 กรัม..... 56

4.4 ค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารละลายกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหุงสุก 267 กรัม..... 57

4.5 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดในแต่ละชนิดของข้าว..... 58

4.6 ค่าเฉลี่ยของการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานข้าวแต่ละประเภทในหน่วยมิลลิโมลต่อลิตร (mmol/L) ที่ระยะเวลาต่างๆ..... 59

4.7ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดในแต่ละชนิดของข้าว..... 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กระบวนการหายใจในระดับเซลล์	7
2.2 กระบวนการหายใจในระดับเซลล์	9
2.3 การเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการย่อยสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน	12
2.4 วัฏจักรเครปส์	13
2.5 กราฟระดับน้ำตาลในกระแสเลือด	23
2.6 โครงสร้าง 2 มิติของกรดคลอโรจินิค	24
2.7 โครงสร้าง 3 มิติของกรดคลอโรจินิค	25
2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของกรดคลอโรจินิค	25
3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิ Memmert รุ่น WNB29	31
3.2 ตู้อบลมร้อน Memmert รุ่น UF260, Germany	32
3.3 เครื่องวัดความชื้น รุ่น TA-5, Japan	32
3.4 เครื่องสีข้าว Satake รุ่น THU, Japan	33
3.5 เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว SATAKE รุ่น TWSB, Japan	33
3.6 เครื่องปั่นแยกสาร Labnet รุ่น Spectrafuge 7M, USA	34
3.7 เครื่อง UV-VIS spectrophotometer Thermo รุ่น GENESYS 10S,USA	34
3.8 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือด แถบเจาะเลือด และอุปกรณ์เจาะเลือด ACCU-CHEK รุ่น Performa	35
3.9 ข้าวอ้างอิง Uncle Ben's Long grain, New Zealand	35
3.10 การเตรียมสารละลายกรดคลอโรจินิคที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	36
3.11 แผนการทดลอง	37
3.12 การชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก (ก) และการแช่ข้าวเปลือกด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Germany) (ข)	38
3.13 การนึ่งข้าวในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Germany)	38
3.14 รูปแบบในการนำข้าวเปลือกเข้าตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) (ก) และการวัดความชื้นของข้าวเปลือกหลังการลดความชื้น (Moisture meter TA-5, Japan) (ข)	39
3.15 กราฟมาตราฐาน	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.16 การเตรียมอัตราส่วนข้าวต่อน้ำสำหรับการหุงสุก (ก) และการหุงข้าวตัวอย่างในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (ข)..... 41

3.17 การคัดน้ำข้าวที่ได้หลังจากการแช่ข้าวนาน 12 ชั่วโมง (ก) และการนำน้ำข้าวที่ได้จากการแช่มาบรรจุลงเครื่องปั่นแยกสาร (Labnet รุ่น Spectrafuge 7M Microcentrifuge, USA) (ข)..... 42

3.18 คิวเวทท์แบบควอตซ์ (Quartz cuvette) (ก) และการนำน้ำข้าวที่ได้จากการปั่นแยกสารมาบรรจุลงเครื่อง UV-VIS spectrophotometer (GENESYS 10S UV-vis, Thermo, USA) (ข)..... 42

3.19 การเจาะเลือดด้วยอุปกรณ์เจาะเลือด (ก) และการนำเลือดบรรจุลงในแถบเจาะเลือดที่อยู่ในเครื่องตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด (ข)..... 44

3.20 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์แบบความแปรปรวนสองทาง (Two-way Analysis of variance, 2-way ANOVA)..... 50

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (Soaking time) และความเข้มข้นของสารละลาย (Solution concentration) ที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว (Percentage of Broken Kernel, %)..... 53

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (Soaking time) และความเข้มข้นของสารละลาย (Solution concentration) ที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในเมล็ดข้าวหุง 267 กรัม (ปริมาณเฉลี่ยที่ต้องรับประทานข้าวใน 1 วัน)..... 56

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดในหน่วยมิลลิโมลต่อลิตร (Blood glucose response, mmol/L) ต่อระยะเวลาหลังรับประทานข้าวตัวอย่าง (Times, minutes)..... 60

4.4 การแบ่งพื้นที่ใต้กราฟของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดในหน่วยมิลลิโมลต่อลิตร (Blood glucose response, mmol/L)ต่อระยะเวลาหลังรับประทานข้าว (Times,minutes)..... 61

4.5 พื้นที่ใต้กราฟของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดต่อระยะเวลาหลังรับประทานข้าว ในข้าวในแต่ละประเภท..... 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปี พ.ศ. 2555 โรคเบาหวาน (Diabetes) เป็นโรคที่ทำให้เกิดสาเหตุการตายสูงสุดอันดับ 8 ของโลก และ ในปี พ.ศ. 2556 พบว่าโรคเบาหวานเป็นเหตุให้มีประชากรในประเทศไทยเสียชีวิตสูงถึง 1.5 ถึง 5.1 ล้านคนต่อปี (วิกิพีเดีย สารานุกรม, 2560) และในปี พ.ศ. 2557 มีผู้ใหญ่เป็นโรคเบาหวานถึง 422 ล้านคนทั่วโลกและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุกปี (WHO, 2016). โรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับความบกพร่องในการเผาผลาญอาหารซึ่งมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นเวลานาน เบาหวานอาจก่อให้เกิดอาการแทรกซ้อนจำนวนมากทั้งเฉียบพลันและระยะยาว เช่น โรคหัวใจ โรคไตวาย จึงก่อให้เกิดความยากลำบากในการใช้ชีวิตและการรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมอาหาร การกินอาหารของผู้ป่วยโรคนี้จะต้องควบคุมน้ำหนัก รวมถึงต้องควบคุมปริมาณอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเพื่อไม่ให้น้ำตาลในเลือดสูงเกินไป (วิกิพีเดีย สารานุกรม, 2560) ดังนั้นจึงมักจะเห็นว่าผู้ป่วยโรคเบาหวานมักไม่มีเรี่ยวแรงเช่นคนปกติ อย่างไรก็ตามอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็น 1 ในอาหาร 5 หมู่ที่ร่างกายของผู้ป่วยยังคงต้องการเช่นเดียวกัน สำหรับอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตมีนักโภชนาการจำนวนมากได้มีการพูดถึงค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index) ว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดที่จะบอกให้รู้ว่าอาหารนั้นๆมีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดอย่างไร และยังมีอาหารบางประเภทที่แสดงค่าดัชนีน้ำตาลบนฉลากอาหารอีกด้วย โดยค่าดัชนีน้ำตาลที่มีค่าสูงก็จะบ่งบอกว่าอาหารนั้นส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดสูง (Glycemic index foundation, 2017) โดยปกติคาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยในส่วนต่างๆของร่างกายตั้งแต่ช่องปาก กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก โดยที่สัดส่วนการย่อยของคาร์โบไฮเดรตของช่องปากเมื่อเทียบกับในลำใส้เล็กนั้นการย่อยในปากเป็นการย่อยที่เล็กน้อยมาก โดยการย่อยคาร์โบไฮเดรตของร่างกายให้เป็นน้ำตาลนั้นจะเกิดได้มากที่สุดที่ลำไส้เล็ก (Wikipedia, 2014) สำหรับประเทศไทยอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็นที่นิยมรับประทานในทุกมื้ออาหารคือข้าว โดยปกติแล้วข้าวจะมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงหากสามารถลดค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวลงได้ ก็น่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยผู้ป่วยเบาหวานให้สามารถรับประทานข้าวได้อย่างคนปกติ และอาจจะทำให้ผู้ป่วยโรคเบาหวานน่าจะมีแนวโน้มในการลดใช้ยาควบคุมระดับน้ำตาลในเส้นเลือดลงได้

กรดคลอโรจินิคเป็นสารจำพวกโพลีฟีนอลที่สามารถละลายน้ำได้ดี มีทำหน้าที่ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และทำหน้าที่เป็นตัวต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระเพื่อไม่ให้ไปจับกับโมเลกุลอื่น ส่งผลทำให้ลดโอกาสเป็นโรคมะเร็งได้ (PubChem, 2004) นอกจากนี้กรดคลอโรจินิคยังทำหน้าที่ช่วยลดระดับน้ำตาลในเส้นเลือดและยังช่วยยับยั้งเอ็นไซม์ในการย่อยแป้ง (Starch) ช่วยในการเผาผลาญไขมันในร่างกายและทำเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตให้ดีขึ้นได้ (Meng et al., 2013) กรดคลอโรจินิคส่วนมากพบใน มันฝรั่ง มะเขือยาว ลูกพีช และลูกพรุน แต่พบปริมาณมากที่สุดในเมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาแฟเขียว หากเป็นไปได้ในการให้ผู้ป่วยรับประทานกรดคลอโรจินิคร่วมกับมื้ออาหาร (ข้าว) จึงน่าจะส่งผลให้เกิดการชะลอการย่อยของคาร์โบไฮเดรตของเมล็ดข้าวได้ ซึ่งนำไปสู่แนวทางการควบคุมไม่ให้ระดับน้ำตาลในเส้นเลือดสูงขึ้น

กระบวนการทำข้าวนึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพการสีข้าว โดยเป็นการทำให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวมีค่าลดลง (Bhattacharya, 2004) ขั้นตอนการทำข้าวนึ่งเริ่มจากการแช่ข้าวเปลือกในน้ำตามด้วยการนึ่งข้าวเปลือกและสุดท้ายคือการอบข้าวเปลือก โดยขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือกในน้ำ (สภาวะอุณหภูมิสูง) และการนึ่งข้าวเปลือกก่อให้เกิดกระบวนการเจลาติไนซ์ (Gelatinize) ของเม็ดสตาร์ช ทำให้สตาร์ชที่เกิดการเจลาติไนซ์เซชั่นภายในขยายตัวช่วยอุดช่องว่างที่เป็นรอยแตกหัก รอยร้าวหรือสภาวะท้องไข่ภายในเมล็ดข้าวให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Oli et al., 2014)” นอกจากนี้การทำข้าวนึ่งยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางสารอาหาร เช่น โปรตีน ไขมัน วิตามิน และ แร่ธาตุ นอกจากนี้ข้าวนึ่งยังมีสาร GABA มากกว่าข้าวธรรมดาถึง 10 เท่า (Roy et al., 2011) การที่ข้าวนึ่งมีสารอาหารสำคัญที่สูงกว่าข้าวปกตินั้นเป็นผลเนื่องจากขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือกในน้ำ (Soaking) ทำให้แร่ธาตุและสารอาหารที่อยู่ในชั้นรำ ที่มีความสามารถละลายน้ำได้ ซึมผ่านเข้าไปในส่วนที่เป็นเนื้อแป้งและถูกเก็บอยู่ภายในเมล็ดข้าวจนสิ้นสุดกระบวนการทำนึ่ง (Kam et al., 2012).

ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายคนได้อาศัยกระบวนการนี้มาเพิ่มคุณค่าทางอาหารของข้าว เช่น การเพิ่มธาตุเหล็ก แมงกานิส โปรแทสเซียม สังกะสี ในเมล็ดข้าวโดยอาศัยเทคนิคการทำข้าวนึ่ง (Kam et.al., 2012 ; Oli et.al., 2016) หากมีการประยุกต์ใช้วิธีการทำนึ่งข้าวมาเพิ่มกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าว เพื่อทำหน้าที่เสมือนแคปซูลช่วยป้องกันสารกรดคลอโรจินิคให้ไปถึงสู่ลำไส้เล็กได้อย่างเต็มประสิทธิภาพแล้ว (Zhu, 2017) ยังเป็นการลดโอกาสที่กรดคลอโรจินิคจะไปจับกับโมเลกุลของสารอาหารอื่นๆ เช่น โปรตีน ไขมัน ฯลฯ อีกด้วย (Lidija, 2015) เพื่อให้หน้าที่ในการยับยั้งเอ็นไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้งให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำกรดคลอโรจินิคเข้าไปสู่ภายในเมล็ดข้าวโดยอาศัยหลักการของการทำข้าวนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาวิธีการทำนึ่งข้าวเพื่อเพิ่มกรดคลอโรจินิคเข้าไปในเมล็ดข้าวโดยมีวัตถุประสงค์ย่อยดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อทำการศึกษาระยะเวลาและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ต่อเปอร์เซ็นแตกหักของเมล็ดข้าวและปริมาณกรดคลอโรจินิคที่อยู่ในเมล็ดข้าว

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของระดับน้ำตาลในเลือดของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวโดยการเสริมกรดคลอโรจินิค และหาความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีน้ำตาลเมื่อเสริมกรดคลอโรจินิค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ข้าวเปลือกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้าวเปลือกพันธุ์ หอมมะลิ 105 จากเขตพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ ถูกเก็บเกี่ยวในปี 2559 และทำถูกทำความสะอาดและคัดแยกสิ่งเจือปนออก กรดคลอโรจินิคถูกซื้อมาจากบริษัท ซีอาน เนเชอรัล ฟิลด์ จำกัด ประเทศจีน.

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

คาดหวังว่างานวิจัยนี้จะมีประสิทธิภาพมากพอจะช่วยผู้ป่วยโรคเบาหวานให้สามารถรับประทานข้าวได้มากขึ้นและลดปริมาณการรับประทานยารักษาโรคเบาหวานลง เนื่องจากกรดคลอโรจินิคเป็นสารที่ช่วยในเรื่องของการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายเนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้และนำข้อมูลต่างๆ มาทำการหยิบยกหรืออ้างอิงแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่มีประโยชน์นำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ โดยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย 5 หัวข้อหลักๆ ดังนี้

1. ความหมายและการใช้งานคาร์โบไฮเดรตของร่ายกาย
2. โรคเบาหวาน
3. แนวทางในการลดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงของผู้ป่วยโรคเบาหวาน
4. กรดคลอโรจินิค
5. ข้าวและการปรับปรุงคุณภาพ

2.1 ความหมายและการใช้งานคาร์โบไฮเดรตของร่างกาย

คาร์โบไฮเดรตเป็นโมเลกุลอินทรีย์ประกอบด้วยอะตอมของ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน โดยจะคาร์โบไฮเดรตประกอบไปด้วยน้ำตาลที่เรียบง่ายและซับซ้อน เช่น กลูโคสและฟรักโทสเป็นตัวอย่างของน้ำตาลที่เรียบง่าย ส่วนแป้ง ไกลโคเจน และเซลลูโลสเป็นตัวอย่างของน้ำตาลที่มีความซับซ้อน น้ำตาลที่มีความซับซ้อนเรียกว่า โพลีแซ็คคาไรด์ (polysaccharides) เกิดจากโมเลกุลของโมโนแซ็คคาไรด์ (monosaccharide) รวมกันเป็นจำนวนมากหลายชนิด โดยโพลีแซคคาไรด์ทำหน้าที่เป็นเป็นแหล่งพลังงาน (เช่นแป้งและไกลโคเจน) และเป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง เช่นไคตินในแมลงและเซลลูโลสในพืช

2.1.1 ประเภทของคาร์โบไฮเดรต

2.1.1.1 โมโนแซ็กคาไรด์ หรือที่รู้จักกันในชื่อน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 3-9 อะตอม มีสูตรทั่วไปคือ $(CH_2O)_n$ โดยโมโนแซ็กคาไรด์จะเป็นแหล่งพลังงานในร่างกายจากการผ่านกระบวนการหายใจ (aerobic respiration) จะทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์โมเลกุล ATP กับ NADH ซึ่งเป็นพลังงานสำรองหลักของเซลล์จากโมเลกุลของกลูโคสซึ่งกระบวนการนี้เรียนกว่ากระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) และจะให้พลังงานประมาณ 3.75 กิโลแคลอรี่ (16 กิโลจูล) ต่อ 1 กรัม ของกลูโคส โดยตัวอย่างของโมโนแซ็กคาไรด์แสดงดังนี้

1. น้ำตาลกลูโคส (Glucose) น้ำตาลกลูโคสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเด็กซ์โตสมีสูตรโมเลกุลคือ $C_6H_{12}O_6$ สามารถพบได้มากในผลไม้และน้ำผึ้งและเป็นน้ำตาลสำคัญที่ไหลเวียนอยู่ในเลือดของมนุษย์

2. น้ำตาลกาแล็กโตส (Galactose) กาแล็คโตสเป็นอิพิเมอร์ (Epimer) ของกลูโคส เนื่องจากมีความแตกต่างทางโครงสร้างเคมีเพียงตำแหน่งเดียวโดยจะต่างกันที่ตำแหน่งของกลุ่มไฮดร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อกซิลกลุ่มหนึ่งเท่านั้น โดยปกติแล้วน้ำตาลกาแล็คโตสไม่ได้มีอยู่มากตามธรรมชาติ แต่จะรวมกับกลูโคสและอยู่ในรูปของแล็คโตสในนม หลังจากถูกดูดซึมโดยร่างกายน้ำตาลกาแล็คโตสจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสในตับเพื่อให้สามารถใช้พลังงานให้กับร่างกายได้.

3. น้ำตาลฟลักโตส (Fructose) ฟรุกโตสเป็นไอโซเมอร์ (Isomer) ของกลูโคสซึ่งมีความหมายว่ามีสูตรทางเคมีที่เหมือนกัน แต่มีโครงสร้างสามมิติที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ความแตกต่างหลักของน้ำตาลฟรุกโตสเป็นคีโตนในรูปแบบเส้นตรงในขณะที่กลูโคสเป็นแอลดีไฮด์ นอกจากนี้ยังมีปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นภายในโมเลกุลกับกลุ่มแอลดีไฮด์ (OH) ที่ C-5 ในส่วนของโครงสร้างสามมิติน้ำตาลกลูโคสเป็นรูปหกเหลี่ยมในขณะที่ฟรุกโตสสร้างรูปวงแหวนห้าเหลี่ยม เมื่อบริโภคน้ำตาลฟรุคโตสจะถูกดูดซึมและเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสโดยเซลล์ตับ เป็นวิธีเดียวกันกับที่ใช้เปลี่ยนแลคโตสให้กลายเป็นกลูโคส โดยแหล่งที่มาของฟรุคโตส ได้แก่ ผลไม้ น้ำผึ้ง และ น้ำเชื่อมข้าวโพด

จะเห็นได้ว่าน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวส่วนใหญ่ในร่างกายไม่ว่าจะเป็นน้ำตาลชนิดใดมักจะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสโดยเซลล์ตับเสมอ นั้นแสดงว่ากลูโคสมีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์มาก

2.1.1.2 ไดแซ็กคาไรด์ (Disaccharide) หมายถึงน้ำตาลสองชนิดหรือเป็นที่รู้จักกันในชื่อน้ำตาลโมเลกุลคู่ซึ่งมักพบเจอในธรรมชาติเช่น น้ำตาลซูโครส น้ำตาลแลคโตส และน้ำตาลมอลโตส โดยน้ำตาลเหล่านี้จะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการควบแน่นซึ่งโมเลกุลของน้ำที่ควบแน่นจะถูกปล่อยออกมาในระหว่างการรวมตัวของโมโนแซคคาไรด์สองตัว โดยพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างสองน้ำตาลเรียกว่าพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic bond) โดยตัวอย่างของไดแซ็กคาไรด์แสดงดังนี้

1. น้ำตาลมัลโตส (Maltose) เป็นไดแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสสองตัวที่เข้าร่วมด้วยพันธะแอลฟาไกลโคซิดิก มัลโตสเป็นสารประกอบที่น่าสนใจเนื่องจากมีการใช้ในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่าหมัก (Fermentation) จะทำให้ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลมอลโตสและอื่น ๆ ถูกแปลงเป็นเอทานอลโดยเซลล์ยีสต์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยผ่านกระบวนการที่คล้ายกับกระบวนการที่เซลล์กล้ามเนื้อเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นกรดแลคติคเพื่อให้ได้พลังงานที่ใช้ในขณะที่ร่างกายทำงานภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน แม้ว่ามอลโตสจะไม่เกิดขึ้นปกติในธรรมชาติ แต่ก็สามารถเกิดขึ้นได้จากการสลายตัวของแป้ง (Starch) โดยใช้เอ็นไซม์ในปาก

2. น้ำตาลแล็กโตส (Lactose) แล็คโตสเป็นไดแซ็กคาไรด์ (disaccharide) ที่เกิดจากการควบแน่นของกลูโคสและกาแล็คโตส พันธะระหว่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสองโมเลกุลนี้ เรียกว่าพันธะเบต้าไกลโคซิดิก (beta glycosidic bond) โดยจะแตกต่างจากน้ำตาลมัลโตสและน้ำตาลซูโครสที่มีพันธะแอลฟาไกลโคซิดิกระหว่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสองโมเลกุล โดยพันธะทั้งสองจะต่างกันที่องศาในการจัดเรียงตัวระหว่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวสองโมเลกุล อย่างไรก็ตามข้อแตกต่างที่มีผลกระทบที่สุดระหว่างพันธะแอลฟาไกลโคซิดิกกับพันธะเบต้าไกลโคซิดิกก็คือการที่ พันธะเบต้าไกลโคซิดิกไม่สามารถถูกย่อยโดยคนบางคนได้ดังนั้นหลายคนมีอาการแพ้แลคโตสและมีอาการท้องร่วงและท้องอืดเนื่องจากการย่อยอาหารไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลแล็กโตสสามารถพบได้มากในน้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยเฉพาะนมวัว จากผลการสำรวจพบว่าคนเอเชียมีอาการแพ้น้ำตาลแล็กโตส (Lactose intolerance) มากถึง 98 เปอร์เซ็นต์ และเช่นเดียวกันกับประชากรประเทศไทยมีจำนวนคนที่มีอาการแพ้ ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ (Silavikove et al., 2015)

3. น้ำตาลซูโครส (Sucrose) น้ำตาลซูโครสจะประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสที่เชื่อมโยงกันผ่านพันธะ 1-2 แอลฟาไกลโคซิดิก และยังใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารกันบูด (Preservative) ที่ดีเพราะในโครงสร้างทางเคมีของซูโครสไม่มีกลุ่มที่จะทำปฏิกิริยาแบบน้ำตาลอื่น ๆ เนื่องจากกลูโคสเชื่อมต่อกับอะตอมของอะตอมคาร์บอนหมายเลขที่สองบนฟรุกโตส จึงทำให้ซูโครสเป็นสารกันบูดธรรมชาติที่ดีเยี่ยมและสามารถพบได้ในอาหารที่มีส่วนผสม เช่น แยมต่างๆ โดยแหล่งที่มาของซูโครสตามธรรมชาติจะสามารถพบได้ในพืช เช่น อ้อย และน้ำเชื่อมเมเปิ้ล (Maple syrup)

2.1.1.3 โอลิโกแซ็กคาไรด์ (Oligosaccharide) ประกอบไปด้วยโมเลกุลของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3-10 โมเลกุล ตัวอย่างของโอลิโกแซ็กคาไรด์ เช่น ราฟฟิโนส (raffinose) และ สแตชชิโอส (stachyose) สามารถพบในถั่วและพืชตระกูลถั่ว และเนื่องจากพันธะไกลโคซิดิกที่ไม่ซ้ำกันของราฟฟิโนสและสแตชชิโอส ทำให้ไม่สามารถย่อยให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถดูดซึมโดยลำไส้เล็กและมักถูกเมตาโบลิซึมโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่เพื่อสร้างผลพลอยได้เป็นแก๊สที่ไม่พึงประสงค์เช่น ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไข่เน่า (H_2S)

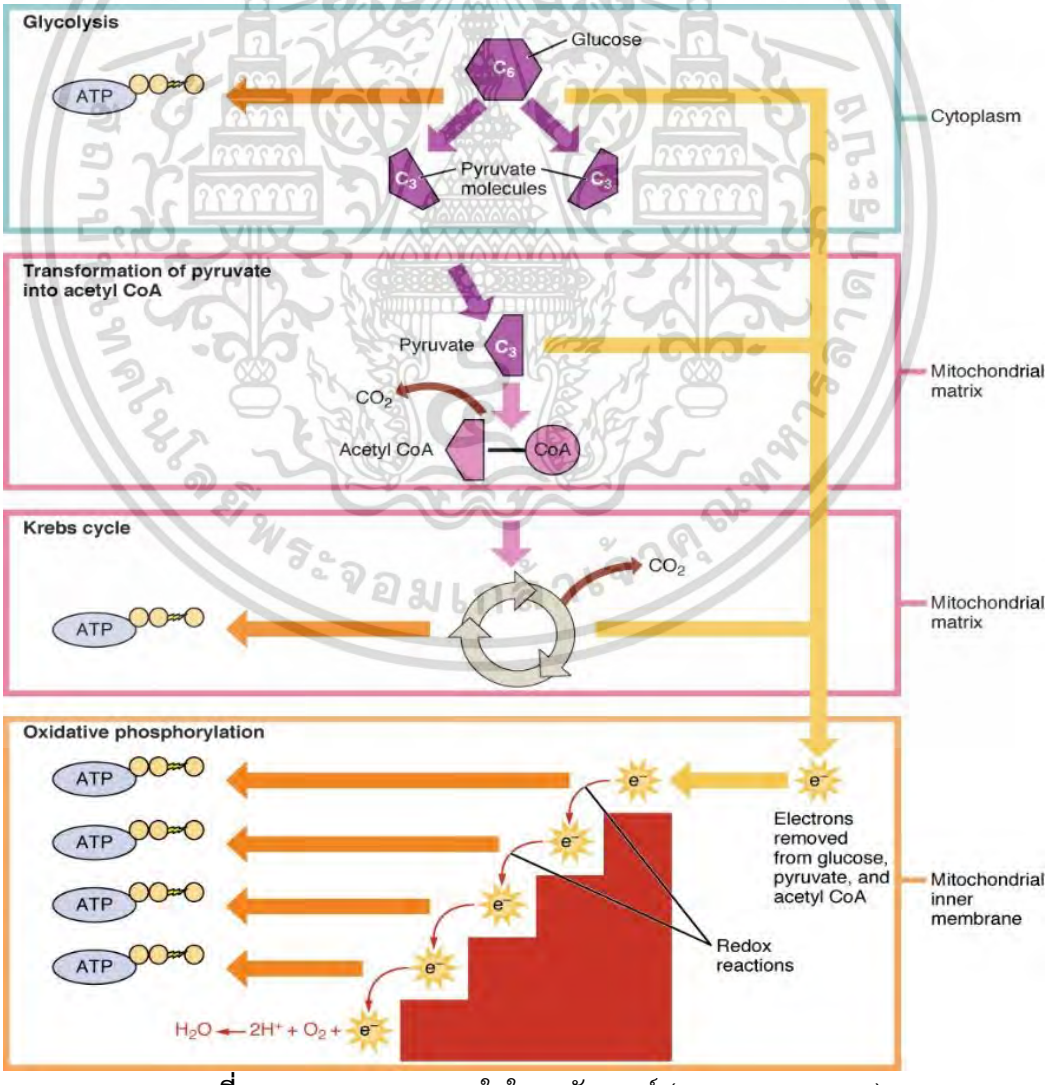
2.1.1.4 โพลีแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) หรือคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนประกอบด้วยโมโนเมอร์ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายพันโมเลกุลได้เกิดการทำปฏิกิริยาที่ชื่อว่า โพลิเมอไรเซชั่น (Polymerization) ทำให้เกิดโครงสร้างการเรียงตัวของโมเลกุลที่เป็นสายยาวและโพลิเมอร์แต่ละสายก็จะทำปฏิกิริยากับสายอื่นจนเกิดเป็นโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่เช่น แป้ง (Starch) นับเป็นรูปแบบหนึ่งของโพลิเมอร์ซึ่งเป็นการจัดเก็บกลูโคสจำนวนมากในพืช โดยจะมีสองประเภทคือ อะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพคติน (amylopectin) โดยที่อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์แบบโซ่ตรง (Straight chain) ส่วนอะไมโลเพคตินจะมีโครงสร้างแบบกิ่งก้านสูง ความแตกต่างนี้แสดงให้เห็นว่าอะไมโลเพคตินสามารถสร้างเจลแป้งที่มีความเสถียรซึ่งสามารถเก็บน้ำได้ในขณะที่อะไมโลสไม่สามารถทำได้ ดังนั้นอะไมโลเพคตินมักจะถูกใช้ในการผลิตซอสและ ซอสข้น (gravies) โดยแหล่งที่มาของแป้ง ได้แก่ มันฝรั่ง ถั่ว ขนมปัง พาสต้า ข้าว และผลิตภัณฑ์ขนมปังอื่นๆ

จะเห็นได้ว่าโอลิโกแซ็คคาไรด์และโพลีแซ็คคาไรด์จะเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดียวมากกว่าสองชนิด ขึ้นอยู่กับความยาวของโครงสร้างโดยโอลิโกแซ็คคาไรด์มักมีระหว่างสามถึงสิบหน่วยน้ำตาลในขณะที่โพลีแซคคาไรด์สามารถมีได้มากกว่าสามพันหน่วย โครงสร้างขนาดใหญ่เหล่านี้มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดเก็บน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลอื่น ๆ ในพืชและสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 กระบวนการเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate metabolism)

ในระหว่างการย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลที่ละลายได้ง่าย ซึ่งสามารถลำเลียงผ่านผนังลำไส้เข้าไปในระบบไหลเวียนโลหิตเพื่อขนส่งไปทั่วร่างกาย การย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรต (Starch) เริ่มต้นที่ปากด้วยการทำงานของเอ็นไซม์อะไมเลสที่อยู่ในน้ำลายและจบลงด้วยการดูดซึมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) ผ่านเยื่อบุลำไส้เล็ก เมื่อน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ดูดซึมถูกเคลื่อนย้ายไปยังเนื้อเยื่อกระบวนการเริ่มต้นของการหายใจในเซลล์จะเริ่มขึ้น โดยส่วนนี้จะทำให้เกิดกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการที่น้ำตาลกลูโคส หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) ถูกทำให้ออกซิไดซ์และจะปลดปล่อยพลังงานที่เก็บไว้ในพันธะเพื่อสร้างอะดรีโนซีนไตรฟอสเฟต หรือเรียกว่า ATP โดย ATP นั้นจะสามารถสร้างได้ทั้งในสภาวะมีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนเพื่อให้พลังงานมีเพียงพอสำหรับกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน โดยกระบวนการสร้าง ATP จะเกิดการสร้างขึ้นซ้ำๆ จนกลายเป็นวงจรของการสร้างพลังงานโดยเอ็นไซม์ในร่างกายของมนุษย์ทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 2.1 กระบวนการหายใจในระดับเซลล์ (Openstax, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

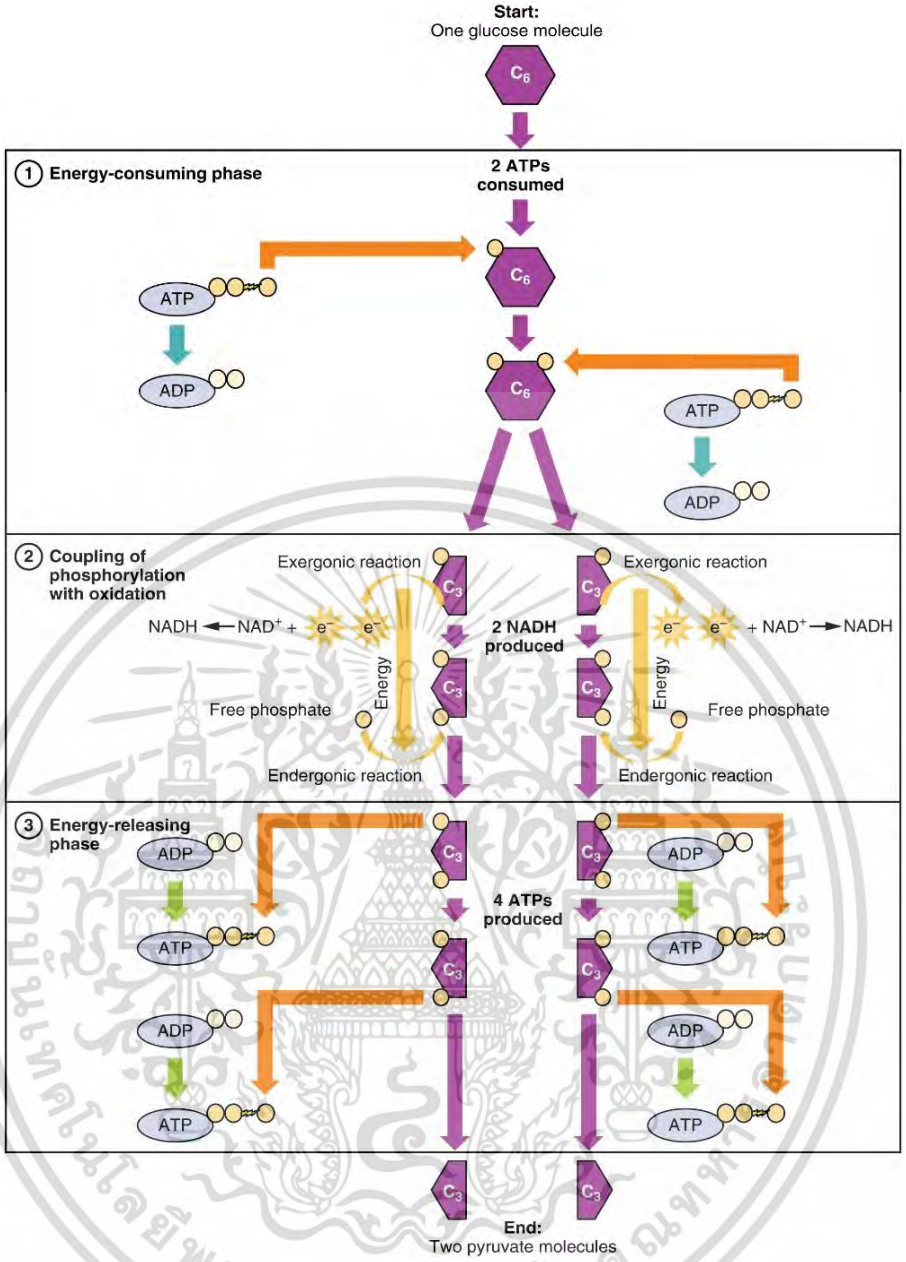
2.1.2.1 กระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis)

กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่พร้อมใช้งานมากที่สุดในร่างกาย หลังจากกระบวนการย่อยอาหารย่อยโพลีแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) ลง น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) จะถูกส่งผ่านผนังของลำไส้เล็กและเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตและจะถูกลำเลียงไปที่ตับ ในตับ โดยเซลล์ตับ (hepatocytes) จะทำหน้าที่ควบคุมน้ำตาลกลูโคสในระบบไหลเวียนโลหิตโดยใช้ฮอร์โมนอินซูลินในการเก็บกลูโคสส่วนเกินเป็นไกลโคเจน (Glycogen) โดยเซลล์ในร่างกายจะใช้กลูโคสในกระแสเลือดในการตอบสนองต่ออินซูลินและปฏิกิริยาที่เรียกว่าไกลโคไลซิส (Glycolysis) เป็นถ่ายโอนพลังงานบางส่วนในกลูโคสไปยังอะดรีโนซีนไดฟอสเฟต หรือ ADP เพื่อสร้างอะดรีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) และมีผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้ายคือไพรูเวต (Pyruvate) โดยกระบวนการไกลโคไลซิสมีสมการการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$$\text{Glucose} + 2\text{ATP} + 2\text{NAD}^+ + 4\text{ADP} + 2\text{P}_i \longrightarrow 2\ \text{Pyruvate} + 4\text{ATP} + 2\text{NADH} + 2\text{H}^+$$

โดยสรุปแล้วโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสหนึ่งโมเลกุลเมื่อผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสจะแบ่งเป็นไพรูเวตสองโมเลกุลและสร้าง ATP จำนวนสองโมเลกุลและโมเลกุลของ NADH สองโมเลกุล ดังนั้นกระบวนการนี้เป็นการสร้างพลังงานสำหรับเซลล์และสร้างไพรูเวท (pyruvate) เพื่อนำไปใช้ในวัฏจักรเครปส์ (Krebs cycle) หรือเรียกอีกอย่างว่าวงจรกรดซิตริกหรือกรดไตรกลีเซอไรด์ โดยจะเปลี่ยนไพรูเวทเป็นเปลี่ยนเป็นกรดแลคติคหรือแอลกอฮอล์ (ในยีสต์) โดยการหมัก หรือใช้ในภายหลังสำหรับการสังเคราะห์กลูโคสผ่านกระบวนการสร้างกลูโคส (gluconeogenesis) (Openstax, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ภาพรวมของกระบวนการไกลโคไลซิส (Openstax, 2013)

2.1.2.2 กระบวนการย่อยสลายสารอาหารแบบแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration)

ในสภาวะที่ออกซิเจนถูกจำกัดหรือสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ไพรูเวทจะเกิดปฏิกิริยาทำให้เปลี่ยนเป็นกรดแลคติคได้ และจะได้ผลผลิตเพิ่มเติมคือ ATP และจะออกซิไดซ์ NADH ให้เป็น NAD^+ เพื่อใช้ในกระบวนการไกลโคไลซิส โดยในสภาวะแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้กรดแลคติกจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายแทนออกซิเจน

การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นในเซลล์ส่วนใหญ่ในร่างกายในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรือขาดไมโทคอนเดรีย (mitochondria) หรืออาจจะไม่ทำงาน เช่น เซลล์เม็ดเลือดแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(erythrocytes) เนื่องจากเซลล์เม็ดเลือดแดงเป็นเซลล์ที่ไม่มีไมโทคอนเดรีย เม็ดเลือดแดงจึงผลิต ATP จากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยนี่คือประโยชน์ของการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการทางเดินของเซลล์ที่มีประสิทธิภาพในในช่วงเวลาสั้นๆ ตั้งแต่ในระดับวินาทีไปจนถึงไม่กี่นาที หลังจากที่เปลี่ยนไพรูเวทเป็นกรดแลคติคแล้วจะเกิดการแพร่ (diffuse) เข้าไปในพลาสม่าและจะถูกลำเลียงไปที่ตับและจะถูกแปลงเป็นไพรูเวท หรือ กลูโคส โดยผ่านวัฏจักรคอริ (Cori cycle) ในทำนองเดียวกันกับการออกกำลังกาย กล้ามเนื้อใช้จะใช้ ATP เร็วกว่าออกซิเจนที่จะได้รับ ขึ้นอยู่กับกระบวนการไกลโคไลซิสและการผลิตกรดแลคติคเพื่อผลิตเอทีพีอย่างรวดเร็วให้พอใช้สำหรับช่วงเวลาออกกกำลังกาย

2.1.2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอาหารแบบแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic respiration)

เมื่อมีออกซิเจน ไพรูเวทจะสามารถเข้าสู่วงจรเครปส์ (Krebs cycle) ซึ่งจะได้พลังงานเพิ่มเติมจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากไพรูเวตไปยังตัวรับ NAD^+, GDP และ FAD โดยผลิตภัณฑ์คือคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นที่เป็นของเสีย ดังภาพที่ 2.3 ส่วน NADH และ $FADH_2$ จะส่งอิเล็กตรอนไปยังระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบลูกโซ่ (Electron transport chain) ซึ่งใช้เป็นพลังงานในการผลิต ATP ในขั้นตอนสุดท้ายระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบห่วงโซ่ โดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและจะสร้างน้ำภายในไมโทคอนเดรีย

2.1.2.4 วัฏจักรของวัฏจักรเครปส์/ วงจรกรดซิตริก / วัฏภาคกรดไตรคาร์บอกซิลิค เป็นที่รู้กับว่าไพรูเวทเกิดขึ้นจากกระบวนการไกลโคไลซิสและจะถูกส่งผ่านเยื่อไมโทคอนเดรียเพื่อเข้าสู่ชั่นในของไมโทคอนเดรียที่เป็นเมทริกซ์ ซึ่งจะถูกเผาผลาญโดยเอ็นไซม์จากวัฏจักรเครปส์ ดังภาพที่ 2.4 โดยในวัฏจักรเครปส์หรือจะมีชื่อเรียกอื่นเช่นวัฏจักรกรดซิตริก หรือในบางครั้งเรียกว่าวัฏจักรกรดไตรคาร์บอกซิลิค (Tricarboxylic acid, TCA) โดยวัฏจักรนี้จะมีการสร้างโมเลกุลที่ให้พลังงานสูง ได้แก่ ATP, NADH และ $FADH_2$ โดยที่ NADH และ $FADH_2$ จะผ่านระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบห่วงโซ่ในไมโทคอนเดรียเพื่อสร้างโมเลกุลของ ATP ให้มากขึ้น

ในการเกิดอะซิทิลโคเอ็นไซม์เอ เริ่มจากไพรูเวทที่มี คาร์บอน 3 ตัวที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไกลโคไลซิสที่อยู่ในไซโทพลาซึม (Cytoplasm) จะเคลื่อนเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย และจะถูกเอ็นไซม์ที่มีชื่อว่าไพรูเวทดีไฮโดรจิเนส (pyruvate dehydrogenase) เปลี่ยนเป็นอะเซทิลโคเอ็นไซม์เอ (acetyl coA) ที่มีคาร์บอนสองตัว ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดทีฟคาร์บอกซิเลชั่น (oxidative decarboxylation) โดยจะทำการแปลงไพรูเวท 3 โมเลกุลให้กลายเป็นโคเอ็นไซม์เอ (CoA) 2 โมเลกุล พร้อมปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และถ่ายโอนอิเล็กตรอนสองตัวให้กับ NAD^+ เพื่อสร้าง NADH หลังจากนั้น Acetyl CoA จะเข้าสู่วงจรเครปส์โดยการรวมตัวกับโมเลกุลคาร์บอน 4 โมเลกุล และออกซาโลอะซิเตด (oxaloacetate) เพื่อสร้างโมเลกุลซิเตรตที่มีหกคาร์บอนหรือกรดซิตริกและในเวลาเดียวกันก็จะปล่อยโมเลกุลของโคเอ็นไซม์เอ (CoA) ออกมาด้วย

หลังจากซิเตรตที่มีหกคาร์บอนจะถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นโมเลกุลของคาร์บอนห้าโมเลกุลและจะกลายเป็นโมเลกุลของคาร์บอนสี่โมเลกุลและจะจบลงด้วยการกลายเป็นออกซาโลอะซิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

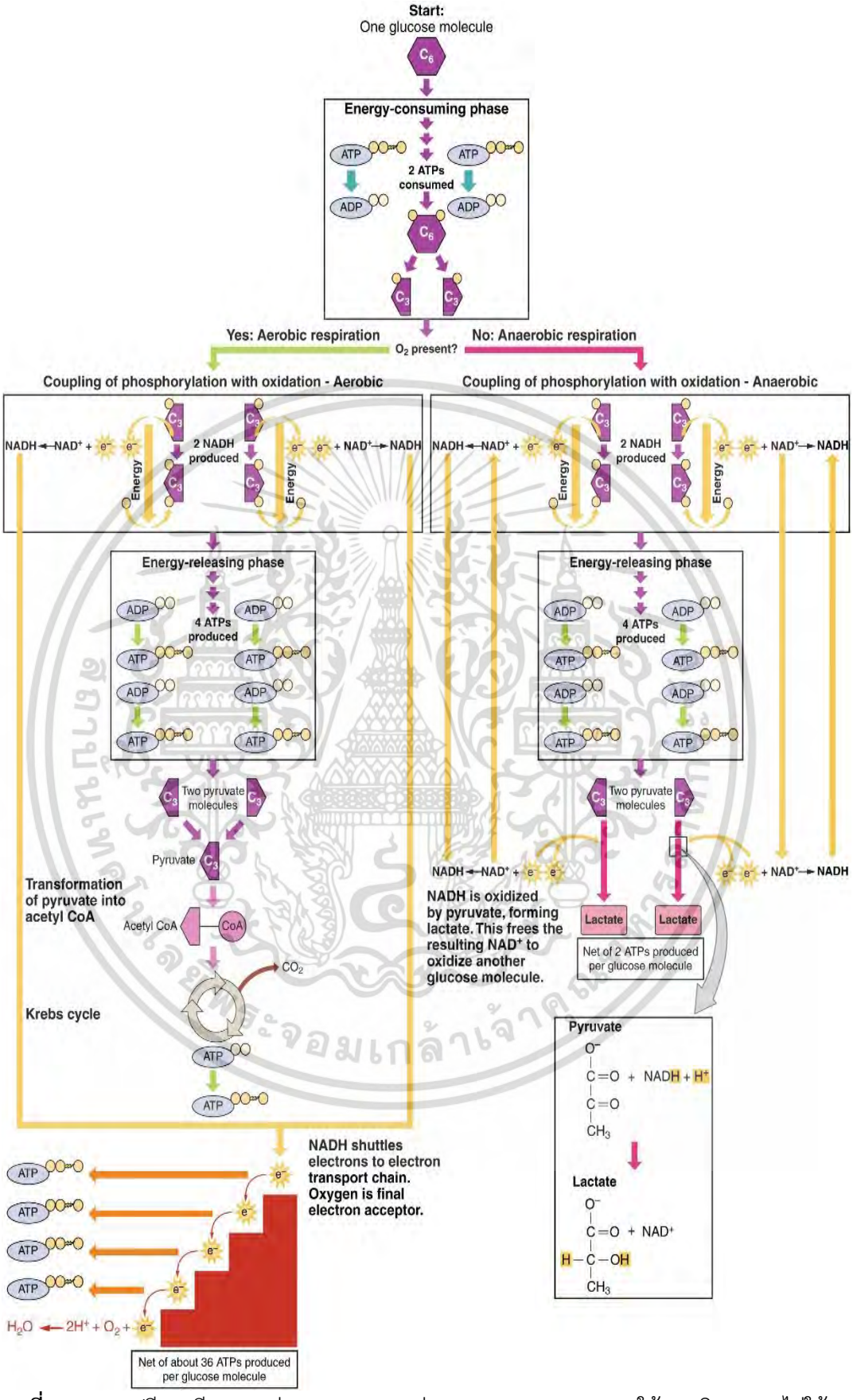
เตด (oxaloacetate) และจะเป็นจุดเริ่มต้นของวัฏจักร โดนในแต่ละโมเลกุลของซิเตรตจะสร้าง ATP 1 ตัว $FADH_2$ 1 ตัว และ NADH 3 ตัว และหลังจากนั้น $FADH_2$ และ NADH จะเข้าสู่กระบวนการสังเคราห์ ATP (phosphorylation) ภายในเยื่อไมโทคอนเดรีย

ในการเริ่มต้นวัฏจักรเครปส์ เอ็นไซม์ซิเตรทซินเทส (Citrate synthase) จะรวมอะซิทิลโคเอ็นไซม์เอ (acetyl CoA) และ ออกซาโลอะซิเตด (oxaloacetate) เพื่อสร้างโมเลกุลของซิเตรตที่มีหกคาร์บอน หลังจากนั้นโคเอ็นไซม์เอ (CoA) ก็จะถูกปล่อยออกมาและมาทำปฏิกิริยากับไพรูแวตอีกหนึ่งตัวเพื่อใช้ในการเริ่มต้นวัฏจักรอีกครั้ง หลังจากนั้นเอ็นไซม์อะโคนิเทส (aconitase) จะทำการเปลี่ยนซิเตรตเป็นไอโซซิเตรต (isocitrate)

ในส่วนของขั้นตอนต่อของการดีคาบอกซิเลชั่น ออกซิเดทีฟ (decarboxylation oxidative) สองโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และสองโมเลกุล NADH มีการผลิตเมื่อ โมเลกุลของไอโซซิเตรตถูกเปลี่ยนด้วยเอ็นไซม์ไอโซซิเตรตดีไฮโดรจีเนส (isocitrate dehydrogenase) ให้เป็นแอลฟ่า-เคโตกลูต้าเรท (α-ketoglutarate) ที่มีคาร์บอนห้าโมเลกุล ซึ่งภายหลังจะถูกกระตุ้นและเปลี่ยนเป็น ซุคคินิล โคเอ็นไซม์ เอ (succinyl CoA) โดยเอ็นไซม์แอลฟ่า-เคโตกลูต้าเรท ดีไฮโดนจีเนส (α-ketoglutarate dehydrogenase) และจะเปลี่ยนซุคคินิล โคเอ็นไซม์ เอ ด้วยเอ็นไซม์ซุคคินิล โคเอ็นไซม์ เอ ดีไฮโดรจีเยส (succinyl CoA dehydrogenase) ให้กลายเป็น succinate และสร้างโมเลกุลที่มีพลังงานสูงคือ GTP ซึ่งจะถ่ายโอนพลังงานไปยัง ADP เพื่อผลิต ATP หลังจากนั้นกระบวนการดำเนินต่อไปโดยที่ซุคคิเนสจะถูกเปลี่ยนโดยเอ็นไซม์ ซุคคิเนส ดีไฮโดรจีเนส (succinate dehydrogenase) ให้เป็นฟูมาเรท (fumarate) และสร้างโมเลกุลของ $FADH_2$ หลังจากนั้นเอ็นไซม์ที่ชื่อฟูมาเรส (Fumarase) จะทำการเปลี่ยนฟุมาเรท ให้เป็นมาเลท (malate) หลังจากนั้นเอ็นไซม์มาเลท ดีไฮโดรจีเนส (Malete dehydrogenase) จะเปลี่ยนมาเลทกลับเป็นออกซาโลอะซิเตดในขณะที่ทำให้ NAD^+ ให้เป็น NADH หลังจากนั้นออกซาโลอะซิเตดก็จะพร้อมแล้วที่จะรวมกับอะซิทิลโคเอ็นไซม์เอต่อไปเพื่อเริ่มวงจรเครปส์อีกครั้ง ดังภาพที่ 2.4 ในการหมุนวัฏจักรแต่ละครั้งจะมีการสร้าง NADH 3 ตัว และATP 1 ตัว (ผ่าน GTP) และ $FADH_2$ 1 ตัว และแต่ละคาร์บอนของไพรูแวตแต่ละตัวจะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งปล่อยออกมาเป็นผลพลอยได้จากการหายใจแบบออกซิเดชัน (Aerobic respiration) (Openstax, 2013)

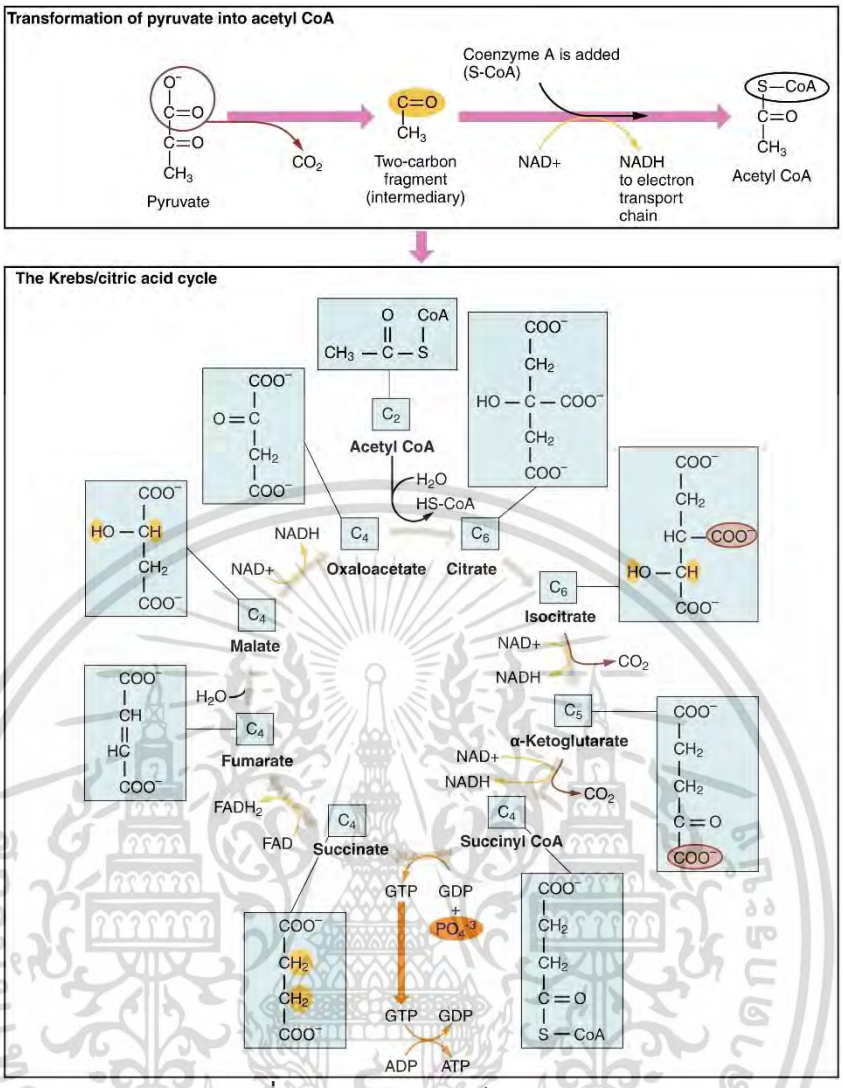
โดยภาพรวมของกระบวนการสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนเป็นการได้มาซึ่งพลังงานเหมือนกันแต่มีวิธีการที่แตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 การเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการย่อยสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน (Openstax, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 วัฏจักรเครปส์ (Openstax, 2013)

2.2 โรคเบาหวาน

โรคเบาหวานคือภาวะที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงผิดปกติ โดยเกิดจากความผิดปกติของการใช้น้ำตาล ทำให้ร่างกายไม่สามารถนำน้ำตาลไปใช้เป็นพลังงานได้ตามปกติ และในส่วนใหญ่มักเกิดร่วมกับการขาดอินซูลินหรืออินซูลินขาดประสิทธิภาพจึงทำให้ไม่สามารถจัดเก็บน้ำตาลกลูโคสให้อยู่ในรูปไกลโคเจนได้ตามที่ได้อธิบายหลักการทำงานของการสลายสารอาหารในหัวข้อ 2.1 ทำให้มีระดับน้ำตาลที่สูงขึ้นเมื่อเป็นโรคเบาหวาน และยังเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคแทรกซ้อนต่างๆ ได้เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง โรคไต โรคตา โรคของระบบประสาท รวมถึงโรคของหลอดเลือดส่วนปลาย และถึงแม้โรคนี้จะเป็นโรคที่ไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้ แต่ก็สามารถควบคุมระดับน้ำตาลไม่ให้สูงเกินไปหรือควบคุมลงมาสู่ระดับของคนปกติได้หากรู้จักดูแลตนเองและมาพบแพทย์เพื่อตรวจเช็คร่างกายอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดโรคเบาหวานอาจเกิดได้จากพันธุกรรมที่มาจากบรรพบุรุษ การมีน้ำหนักตัวมากเกินไปการใช้ยาบางชนิด เช่น ยาสเตียรอยด์ ยาขับปัสสาวะไทอะไซด์ ฮอร์โมนไทรอยด์ กรดนิโคตินิก จนทำให้ไตไม่สามารถผลิตอินซูลินหรือร่างกายดื้อต่ออินซูลินได้ (Wikipedia, 2018)

2.2.1 ประเภทของเบาหวาน

ประเภทของโรคเบาหวานมีลักษณะการเกิดที่แตกต่างกันรวมถึงการรักษาที่แตกต่างกันโดยสามารถแยกประเภทของเบาหวานชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบโรคเบาหวานชนิดที่ 1 กับโรคเบาหวานชนิดที่ 2

ลักษณะอาการ	โรคเบาหวานชนิดที่ 1	โรคเบาหวานชนิดที่ 2
การเริ่มต้น	ทันที	ค่อยๆเป็น
อายุที่เริ่มมีอาการ	ส่วนใหญ่ในเด็ก	ส่วนใหญ่ในผู้ใหญ่
ขนาดร่างกาย	ผอมหรือปกติ	มักจะน้ำหนักเกิน
กรดเกินเนื่องจากสารคีโตน (Ketoacidosis)	พบทั่วไป	พบได้ยาก
ภูมิคุ้มกันต่อเนื้อเยื่อตนเอง (autoantibodies)	มักจะปรากฏ	ไม่ปรากฏ
อินซูลินเกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อ	ต่ำหรือไม่ปรากฏ	ปกติ, ลดลงหรือเพิ่มขึ้น
เป็นโรคเหมือนกันในคู่แฝดเหมือน (Concordance in identical twins)	50%	90%
ความชุกของโรค	~10%	~90%

ที่มา : Williams textbook of endocrinology (12th ed.). Philadelphia: Elsevier/Saunders. pp. 1371–1435. ISBN 978-1-4377-0324-5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบาหวานชนิดที่ 1 (Diabetes mellitus type 1) เกิดจากการขาดอินซูลิน เนื่องจากตับอ่อนไม่สามารถหลั่งอินซูลินได้เลย (อินซูลินเป็นฮอร์โมนที่สร้างจากตับอ่อน ทำหน้าที่ช่วยนำน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ของร่างกาย เพื่อเผาผลาญเป็นพลังงานในการดำรงชีวิต) เบาหวานชนิดนี้มักพบในเด็กและผู้ที่มีอายุน้อยกว่า 40 ปี โดยพบเพียงประมาณประมาณ 5-10% ของผู้ป่วยเบาหวานทั้งหมด

เบาหวานชนิดที่ 2 (Diabetes mellitus type 2) พบมากในคนส่วนใหญ่ เกิดจากการที่เซลล์ของร่างกายตอบสนองต่ออินซูลินได้ไม่ดีหรือที่เรียกว่าภาวะดื้อต่ออินซูลิน ทำให้ร่างกายเหมือนขาดอินซูลินไประดับหนึ่ง ร่างกายต้องทดแทนโดยการสร้างอินซูลินออกมามากขึ้น จนตับอ่อนทำงานมากหนักขึ้นมาก อาจจะทำให้ตับอ่อนทำงานไม่ไหวถ้าไม่ช่วยแก้ไข นอกจากนี้ตับอ่อนของผู้ป่วยเบาหวานชนิดนี้ยังสร้างอินซูลินได้ไม่มากเท่าคนปกติด้วย จึงมีระดับอินซูลินที่ไม่พอเพียงแก่ความต้องการ สาเหตุของภาวะดื้ออินซูลิน ได้แก่ พันธุกรรม ความอ้วน และการไม่ออกกำลังกาย ดังนั้น หากมีประวัติคนในครอบครัวเป็นโรคเบาหวาน ร่วมกับมีพฤติกรรมการใช้ชีวิตที่ไม่ดีต่อสุขภาพ ก็จะมีโอกาสเป็นโรคเบาหวานได้มากขึ้น โดยเบาหวานประเภทนี้พบมากถึงประมาณ 90-95% ของผู้ป่วยเบาหวานทั้งหมด

เบาหวานชนิดที่ 3 (Gestational diabetes) เป็นเบาหวานที่เกิดขึ้นขณะตั้งครรภ์ มักเกิดในผู้ที่ไม่มีประวัติเป็นเบาหวานมาก่อนตั้งครรภ์ เมื่อคลอดแล้วเบาหวานก็จะหายไป แต่คนกลุ่มนี้มีความเสี่ยงที่จะเกิดเป็นเบาหวานได้อีกในอนาคต (Wikipedia, 2018)

2.2.2 อาการบ่งบอกถึงการเสี่ยงเป็นโรคเบาหวาน

โดยอาการบ่งบอกจะแสดงในลักษณะอาการดังนี้ ปัสสาวะบ่อยขึ้น (Polyuria) หิวน้ำมากขึ้น หากเริ่มมีอาการปัสสาวะบ่อยขึ้น และหิวน้ำมากขึ้น โดยเฉพาะตอนกลางคืน จะกระหายน้ำมากกว่าเดิม นี้เป็นสัญญาณของโรคเบาหวาน เพราะร่างกายต้องการขับน้ำตาลที่มีอยู่สูงในเลือด ออกมาทางปัสสาวะ

น้ำหนักลด (Weight loss) ลงอย่างผิดผิดปกติ อาจเป็นสัญญาณเตือนของโรคบางชนิดก็ได้ โดยเฉพาะเบาหวาน การมีน้ำตาลในเลือดสูง จะทำให้น้ำหนักลดลงอย่างเร็วมาก ประมาณ 5-10 กิโล ภายใน 2-3 เดือน

บาดแผลหายช้า (Slow healing wounds) หากมีแผลที่บริเวณผิวหนัง เช่น มีดบาด การติดเชื้อ หรือรอยฟกช้ำ และแผลหายช้ามาก นั้นเป็นสัญญาณบ่งบอกให้รู้แล้วว่า คุณเป็นเบาหวานแล้ว เพราะระดับน้ำตาลในเลือดที่สูงของผู้ป่วยเบาหวาน จะไปขัดขวางการทำงานของหลอดเลือด

หิวบ่อย (Polyphagia) เกิดอาการหิวบ่อยขึ้นโดยไม่ทราบสาเหตุ เพราะเมื่อระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ จะทำให้ร่างกายต้องการอาหาร เพื่อเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด จึงส่งสัญญาณเป็นความหิวนั้นเอง

อ่อนเพลียเหนื่อยล้า (Fatigue) อารมณ์ไม่คงที่ อาการอ่อนเพลีย และอารมณ์ฉุนเฉียว เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วยเบาหวาน เมื่อมีระดับน้ำตาลในเลือดสูง เนื่องจากระดับน้ำตาลในเลือดส่งผลต่อการทำงานทุกระบบ และมีส่วนเกี่ยวข้องกับอารมณ์ด้วย (Wikipedia, 2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 โรคแทรกซ้อน

โรคแทรกซ้อนในเบาหวานมักจะเกิดหลังเป็นโรคเบาหวานอย่างน้อย 5 ปีแล้วไม่ได้รับการรักษาอย่างมีวินัย โดยจะเกิดโรคแทรกซ้อนที่พบได้หลักๆ ดังนี้

ภาวะแทรกซ้อนทางสายตา (Diabetic retinopathy) เกิดจากการที่น้ำตาลเข้าไปในผนังด้านในของหลอดเลือดเล็กๆ ในลูกตา ทำให้หลอดเลือดเหล่านี้มีการสร้างไกลโคโปรตีนซึ่งจะถูกขนย้ายออกมาเป็นเยื่อรองรับฐาน (Basement membrane) มากขึ้น ทำให้เยื่อฐานรองรับหนา แต่เปราะ หลอดเลือดเหล่านี้จะฉีกขาดได้ง่าย เลือดและสารบางอย่างที่อยู่ในเลือดจะรั่วออกมา และมีส่วนทำให้จอประสาทตา (Macula) บวม ซึ่งจะทำให้เกิดอาการตามัว (Blurred vision) หลอดเลือดที่ฉีกขาดจะสร้างแขนงของหลอดเลือดใหม่ออกมามากมายจนบดบังแสงที่มาตกกระทบยังม่านตาดำ (Retina) ทำให้การมองเห็นของผู้ป่วยแย่ลง ตาหรือจอตาเสื่อม หรือมองเห็นจุดดำลอยไปมา และอาจจะทำให้ตาบอดได้ในที่สุด

ภาวะแทรกซ้อนทางไต (Diabetic nephropathy) ไตมักจะเสื่อม จนเกิดภาวะไตวาย พยาธิสภาพของหลอดเลือดเล็กๆ ที่กระจุกหลอดเลือดฝอย (Glomeruli) จะทำให้หน่วยไต (Nephron) ยอมให้โปรตีนอัลบูมิน (albumin) รั่วออกไปกับกรองไต (filtrate) ได้ ทำให้หลอดไตฝอยส่วนต้น (Proximal tubule) ต้องรับภาระในการดูดกลับสารมากขึ้น ซึ่งถ้าเป็นนานๆ ก็จะทำให้เกิดไตวาย (Renal failure) ได้ ซึ่งผู้ป่วยมักจะเสียชีวิตภายใน 3 ปี นับจากแรกเริ่มมีอาการ

ภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาท (Diabetic neuropathy) เบาหวานจะทำให้หลอดเลือดเล็กๆ ที่มาเลี้ยงเส้นประสาทบริเวณปลายมือปลายเท้าเกิดพยาธิสภาพ ก็จะทำให้เส้นประสาทนั้นไม่สามารถนำความรู้สึกต่อไปได้ เช่นรู้สึกชาหรือปวดแสบปวดร้อนตามปลายมือ เมื่อผู้ป่วยมีแผล ผู้ป่วยก็จะไม่รู้ตัว และไม่ดูแลแผลดังกล่าว ประกอบกับเลือดผู้ป่วยมีน้ำตาลสูง จึงเป็นอาหารให้กับเหล่าเชื้อโรคที่อยู่ในแผล แผลจึงเน่าและนำไปสู่การตัดแขนตัดขาทิ้ง (Amputation) ในที่สุด ในผู้ชายอาจมีภาวะหย่อนสมรรถภาพทางเพศ (impotence)

โรคหลอดเลือดหัวใจ (Coronary vascular disease) เบาหวานเป็นตัวการที่จะเร่งให้เกิดการเสื่อมของหลอดเลือดทั่วร่างกายและเมื่อหลอดเลือดที่เลี้ยงหัวใจเสื่อมสภาพจาก เบาหวาน ประกอบกับการมีไขมันในเลือดสูง ก็จะส่งผลให้มีการตีบของหลอดเลือดหัวใจ ทำให้เกิด โรคหัวใจขาดเลือด แต่หากหลอดเลือดเกิดอุดตัน ก็จะเกิดอาการ กล้ามเนื้อหัวใจตาย ในผู้ป่วย เบาหวาน บางรายกล้ามเนื้อหัวใจมีการทำงานน้อยกว่าปกติ คือ มีการบีบตัวน้อยกว่าปกติอันเนื่องมาจาก เส้นเลือดฝอยเล็กๆที่เลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจผิดปกติจาก เบาหวาน ซึ่งจะทำการรักษาได้ยาก การรักษาที่ดีที่สุดคือ การผ่าตัดเปลี่ยนหัวใจ ปัญหาที่สำคัญมากอีกประการหนึ่งของผู้เป็น เบาหวาน คือผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจจะไม่แสดงอาการผิดปกติซึ่งจะบ่งชี้ว่าเป็นโรคหัวใจให้เห็นก่อน เช่นอาการเจ็บหน้าอก อันเป็นอาการเบื้องต้นของผู้ป่วยโรคหัวใจทั่วไป ดังนั้นผู้เป็น เบาหวาน บางรายอาจจะแสดงอาการครั้งแรกด้วยอาการที่รุนแรง เช่น กล้ามเนื้อหัวใจตาย หรือ หัวใจล้มเหลว ทำให้แพทย์วินิจฉัยโรคได้ช้ากว่าปกติ ซึ่งอาจเป็นอันตรายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรคหลอดเลือดสมอง (Cerebrovascular disease) ผู้เป็น เบาหวาน จะมีอัตราเสี่ยงในการเกิดอัมพาตชนิดหลอดเลือดตีบได้สูง เพราะ เบาหวาน ทำให้เกิดภาวะหลอดเลือดแข็งได้ง่าย โดยจะมีหลอดเลือดแข็งทั่งร่างกายและถ้าเป็นที่หลอดเลือดของสมอง ก็จะเกิดอัมพาตขึ้น โดยอัตราเสี่ยงของผู้ป่วยที่เป็น โรคเบาหวาน จะมีโอกาสเป็นอัมพาตได้สูงกว่าผู้ป่วยปกติ 2-4 เท่า โดยจะมีอาการเบื้องต้นสังเกตุได้จาก กล้ามเนื้อแขน ขาอ่อนแรงครึ่งซีกอย่างทันทีทันใดหรือเป็นครั้งคราว ใบหน้าชาครึ่งซีกใดซีกหนึ่ง พูดกระตุกกระตัก สับสนหรือพูดไม่ได้เป็นครั้งคราว ตาพร่าหรือมืดมองไม่เห็นไปชั่วครู่ เห็นแสงผิดปกติ วิงเวียน เดินเซไม่สามารถทรงตัวได้ กลืนอาหารแล้วสำลักบ่อยๆ มีอาการปวดศรีษะอย่างรุนแรงโดยอาการปวดมักจะเกิดในขณะที่เคร่งเครียด หรือมีอารมณ์รุนแรง (Wikipedia, 2018)

2.2.4 การวินิจฉัย

โรคเบาหวานเป็นสภาวะที่มีน้ำตาลในเลือดสูงเป็นระยะๆหรือสม่ำเสมอ, และได้รับการวินิจฉัยโดยแสดงให้เห็นอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

1. ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดขณะอดอาหาร (Fasting plasma glucose) ≥7.0 มิลลิโมล/ลิตร (126 mg/dl)
2. ระดับพลาสม่ากลูโคสหลังการทดสอบความทนทานต่อน้ำตาล (Oral glucose tolerance test) ≥ 11.1 มิลลิโมล/ลิตร (200 mg/dl) โดยการทดสอบจะวัดระดับพลาสม่ากลูโคสสองชั่วโมงหลังจากได้รับประทานกลูโคสจำนวน 75 กรัม
3. ในช่วงเวลาปกติวัดค่าระดับน้ำตาลในเลือดมีน้ำตาลในเลือดสูงและพลาสม่ากลูโคส ≥ 11.1 มิลลิโมล/ลิตร (200 mg/dl)
4. วัดค่าน้ำตาลสะสมในเลือด (Glycated hemoglobin, HbA1c) ≥ 6.5%

การเกิดโรคเบาหวานสามารถเกิดได้หลายแบบและหลายสาเหตุ โดยโรคเบาหวานจะมีเกณฑ์ในการวินิจฉัยการเป็นโรคเบาหวานจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การวินิจฉัยโรคเบาหวาน

สภาวะ	กลูโคส 2 ชั่วโมง	กลูโคสอดอาหาร	HbA_{1c}	
หน่วย	mmol/l(mg/dl)	mmol/l(mg/dl)	mmol/mol	DCCT %
ปกติ	<7.8 (<140)	<6.1 (<110)	<42	<6.0
กลูโคสบกพร่องระหว่างอดอาหาร	<7.8 (<140)	≥6.1(≥110) และ<7.0(<126)	42-46	6.0–6.4
ความทนทานต่อกลูโคสบกพร่อง	≥7.8 (≥140)	<7.0 (<126)	42-46	6.0–6.4
เบาหวาน	≥11.1 (≥200)	≥7.0 (≥126)	≥48	≥6.5

ที่มา : WHO (2016)

2.3 แนวทางในการลดระดับน้ำตาลในเลือดสูงของผู้ป่วยโรคเบาหวาน

การรักษาเบาหวานมุ่งเน้น เพื่อลดระดับน้ำตาลในเลือดให้ใกล้เคียงปกติ และป้องกันโรคแทรกซ้อนในระยะยาว ในการรักษาเบาหวานมีหลักการที่สำคัญคือการควบคุมอาหาร และการออกกำลังกาย การรักษาจะไม่ได้ผลหากผู้ป่วยไม่คุมอาหารหรือไม่ออกกำลังกาย ปัจจุบันใช้การรักษาด้วยยาเม็ดลดระดับน้ำตาลในเลือดควบคู่ไปกับการคุมอาหารและออกกำลังกายด้วย

โดยแบ่งยาเม็ดลดระดับน้ำตาลออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ (หาหมอ แหล่งรวมข้อมูลสุขภาพ โรงพยาบาล และแพทย์, 2557) คือ ยาที่เสริมการออกฤทธิ์ของอินซูลิน โดยจะเป็นยาที่เหมาะกับคนที่เป็นเบาหวานประเภท 2 เพราะเนื่องจากอินซูลินที่ไม่มีประสิทธิภาพหรือมีภาวะดื้อต่ออินซูลิน และยาที่เพิ่มการหลังของอินซูลิน ยาประเภทนี้เหมาะกับคนที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 1 เพราะร่างกายไม่สามารถสร้างอินซูลินเองได้

2.3.1 ยารักษาโรคเบาหวาน

2.3.1.1 เสริมการออกฤทธิ์ของอินซูลิน *(Agents Enhancing the Effectiveness of Insulin)* ยาในกลุ่มนี้ไม่ทำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำยาในกลุ่มนี้ได้แก่

1.) เม็ทฟอร์มิน (Metformin) เนื่องจากยานี้มีผลทำให้เบื่ออาหาร ดั้งนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่มีน้ำหนักมาก ยานี้ลดน้ำหนักได้ประมาณ 0.6 กิโลกรัม มีผลดีต่อระดับไขมันในเลือดเพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถลด Triglyceride 10-20% ลด Cholesterol 5-10 % ลด LDL 8% เพิ่ม HDL 2% ทำให้ลด Fasting blood sugar ลงได้ 58 มก.% ลด HbA1cได้ 1.8% หากใช้ร่วมกับ sulfonylurea สามารถลด FPG ได้ 100 มก.% ดังนั้นหากน้ำตาลในเลือดมากกว่า 300มก.%มักไม่ได้ผลจากยารับประทาน

กลไกการออกฤทธิ์ สำหรับกลไกการออกออกฤทธิ์ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่พบว่าการใช้ยาเมทฟอร์มินช่วยทำให้การดูดซึมน้ำตาลจากทางเดินอาหารลดลง ลดการสร้างน้ำตาลจากตับ (decrease glycogenolysis,decrease gluconeogenesis) และทำให้น้ำตาลเข้าเซลล์ดีขึ้น (insulin-stimulated glucose transport in muscle cell)

ผลข้างเคียงของยาตัวนี้จะมีอาการคลื่นไส้อาเจียน ท้องอืด ท้องเสีย ควรแนะนำให้รับประทานยาพร้อมอาหารหรือหลังอาหาร ภาวะเป็นกรดในเลือด (Lactic acidosis) โดยมากพบในผู้ป่วยที่มีปัจจัยเสี่ยง เช่น โรคไต โรคตับ ภาวะติดเชื้อ

โดยทั่วไปจะรับประทานวันละ 2 ครั้งเช้าและเย็น ยาชนิดนี้จะป้องกันน้ำตาลออกจากตับ ผลข้างเคียงของยาจะทำให้เกิดอาการมีก๊าซในท้อง แน่นท้อง เบื่ออาหาร การรับประทานพร้อมอาหารจะลดอาการข้างเคียงของยา สำหรับผู้ที่เป็นโรคตับหรือโรคไตอาจจะเกิดภาวะกรดในเลือด อ่านเรื่อง ยา

2.) ทร็อกลิตาโซน (Troglitazone) สำหรับตลาดยาในประเทศไทยพบว่ายากลุ่มนี้ยังมีจำหน่ายอยู่และถูกบรรจุไว้ในบัญชียาหลักแห่งชาติของเรา โดยจัดอยู่ในหมวดยาควบคุมพิเศษ ทั้งนี้การคัดกรองและเลือกตัวยาสำหรับรัก ษาโรคเบาหวานได้อย่างเหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละบุคคล จะมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นกับการตอบ สนองของร่างกายเมื่อมีการใช้ยานั้นๆ ผู้ป่วย/ผู้บริโภคจึงควรปฏิบัติและรับประทานยาตามคำสั่งแพทย์อย่างเคร่งครัด ไม่ควรหยุดหรือปรับเปลี่ยนขนาดการใช้ด้วยตนเอง

กลไกการออกฤทธิ์ ยากลุ่มไธอะโซลิดีนไดโอนไม่ได้มีกลไกการออกฤทธิ์เพิ่มการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินของตับอ่อน แต่จะกระตุ้นให้ร่างกายตอบสนองต่อฮอร์โมนอินซูลินจากตับอ่อนได้ดีขึ้น ทำให้ร่างกายสามารถนำน้ำตาลในกระแสเลือดไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ ด้วยกลไกดังกล่าวจึงทำให้ยากลุ่มนี้มีฤทธิ์ของการรักษาตามสรรพคุณ

ยานี้ควรรับประทานวันละครั้งให้ตรงเวลา ยานี้จะเพิ่มการตอบสนองของร่างกายต่ออินซูลิน ในส่วนของผลข้างเคียงของยานี้คือบวม และการเกิดหัวใจวายกำเริบ เมื่อรับประทานเดี่ยวๆ ยานี้ไม่ทำให้เกิดภาวะน้ำตาลต่ำ

3.) อะคาร์โบส (Acarbose) เป็นยาสังเคราะห์ที่นำมารักษาโรคเบาหวานประเภทที่ 2 จัดอยู่ในกลุ่มยาแอลฟา-กลูโคซิเดส อินฮิบิเตอร์ (Alpha-glucosidase inhibitor) มีจำหน่ายแพร่หลายในแถบยุโรปและจีนภายใต้ชื่อการค้าว่า “กลูโคเบย์ (Glucobay)”

กลไกการออกฤทธิ์ ในกลไกการออกฤทธิ์โดยตัวยาจะออกฤทธิ์ยับยั้งกลุ่มเอ็นไซม์ในลำไส้เล็กที่มีชื่อว่า Glycoside hydrolases โดยเฉพาะตัวที่ชื่อว่า Alpha-glucosidase รวมถึงเอ็นไซม์จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตับอ่อนที่มีชื่อว่า Alpha-amylase ไม่ให้เปลี่ยนหรือย่อยแป้งหรืออาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่บริโภคเข้าไป โดยไม่ให้เปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กลง ส่งผลให้ลำไส้ดูดซึมน้ำตาลโมเลกุลเล็กกลูโคส (Glucose) เข้าสู่กระแสเลือดได้น้อยลง และช่วยสนับสนุนในการบำบัดอาการเบาหวานประเภทที่ 2 ตามสรรพคุณ

ผลข้างเคียงของยา ยานี้จะมีอาการข้างเคียงทั่วไป เช่น ปวดท้อง มีอาการท้องอืด ท้องเสีย วิงเวียน อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ อาจพบภาวะโลหิตจางด้วยยานี้มีผลยับยั้งการดูดซึมธาตุเหล็กจากระบบทางเดินอาหารได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบอาการทางผิวหนังเช่น ผื่นคันได้อีกด้วย (หาหมอ แหล่งรวมข้อมูลสุขภาพ โรงพยาบาล และแพทย์, 2557)

2.3.1.2 ยาเพิ่มการหลั่งของอินซูลิน (Agents augmentations the supply of Insulin) ยาในกลุ่มนี้เพิ่มการหลั่งของอินซูลิน ได้แก่

1.) ซัลโฟนิลยูเรีย (Sulfonylurea) เป็นกลุ่มยาที่นำมาใช้รักษาโรคเบาหวานประเภท 2 (Diabetes mellitus type 2) ถูกค้นพบโดยคณะนักเคมีนำโดย Marcel Janbon ชาวฝรั่งเศส ผู้ซึ่งกำลังศึกษาฤทธิ์ของยาซัลโฟนาไมด์ (Sulfonamide) ที่ใช้ในการต่อต้านแบคทีเรีย และค้นพบว่าซัลโฟนิลยูเรียซึ่งมีโครงสร้างแกนกลางของโมเลกุลที่ใกล้เคียงกับยาซัลโฟนาไมด์สามารถออกฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดของสัตว์ทดลองได้ จึงได้พัฒนาให้มาเป็นยารักษาเบา หวานในคน

กลไกการออกฤทธิ์ ในกลไกการออกฤทธิ์ของยาซัลโฟนิลยูเรียคือ ตัวยาจะเข้าไปกระตุ้นกลไกการทำงานของเบต้าเซลล์ในตับอ่อนให้หลั่งฮอร์โมนอินซูลินออกมา ทำให้ร่างกายสามารถใช้น้ำตาลในเลือดได้อย่างมีสมดุลมากขึ้น และยังพบว่ายากลุ่มนี้ช่วยลดการสร้างน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ในตับ จากกลไกดังกล่าวจึงทำให้ยากลุ่มนี้มีฤทธิ์รักษาเบาหวานตามสรรพคุณ

ผลข้างเคียงของยา ในยาตัวนี้อาจเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ ระคายเคืองต่อระบบทางเดินอาหาร ปวดศีรษะ มีลักษณะคล้ายอาการแพ้ยา เช่น ขึ้นผื่น มีไข้ หายใจลำบาก โลหิตจาง คลื่นไส้อาเจียน อ่อนเพลีย เกล็ดเลือดต่ำ วิตกกังวล การมองเห็นภาพไม่ชัดเจน หงุดหงิด สับสน หัวใจเต้นช้า ง่วงนอน

2.) รีพาไกลไนด์ (Repaglinide) เป็นยารักษาโรคเบาหวานประเภทที่ 2 และอยู่ในหมวดยาเมกลิทไนด์ (Meglitinides) ห้ามนำยานี้ไปใช้รักษาผู้ป่วยเบาหวานประเภทที่ 1 กลไกการออกฤทธิ์หลักๆของยารีพาไกลไนด์คือ การกระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งฮอร์โมนอินซูลินออกมาในปริมาณที่มากขึ้นและเพียงพอที่จะกระตุ้นให้ร่างกายเผาผลาญน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ในกระแสเลือดได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น

รูปแบบยาแผนปัจจุบันของยารีพาไกลไนด์จะเป็นยาชนิดรับประทาน โดยมีการดูดซึมจากทางระบบเดินอาหารและจะกระจายตัวเข้าสู่กระแสเลือดประมาณ 56% จากนั้นตัวยาจะเข้าจับกับพลาสมาโปรตีนได้มากกว่า 98% ตับจะคอยทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของยานี้อย่างต่อเนื่อง ร่างกายต้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงเป็นอย่างต่ำในการกำจัดยา 50% ออกจากกระแสเลือดโดยผ่านทิ้งไปกับอุจจาระและมีส่วนน้อยที่ขับออกไปทางปัสสาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการออกฤทธิ์ กลไกการออกฤทธิ์ของยารีพาไกลไนด์คือ ตัวยาจะกระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งฮอร์โมนอินซูลินอย่างมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำตาลในกระแสเลือด ส่งผลให้ร่างกายเผาผลาญน้ำตาลและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้เหมือนปกติหรือใกล้เคียงปกติ

ผลข้างเคียงของยา ทำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ คลื่นไส้ ท้องเสียหรือไม่ก็ท้องผูก อาเจียน อาหารไม่ย่อย ไซนัสอักเสบ ปวดหลัง มีผื่นคัน ลมพิษ และตาพร่า

กรณีที่ได้รับยารีพาไกลไนด์เกินขนาดจะพบอาการน้ำตาลในเลือดต่ำอย่างรุนแรง เกิดอาการชัก มีอาการอาจเข้าขั้นโคม่ารวมถึงสูญเสียการทำงานของระบบประสาท หากพบอาการดังกล่าว ต้องรีบนำตัวผู้ป่วยส่งโรงพยาบาลทันที/ฉุกเฉิน

3.) อินซูลิน (Insulin) จัดเป็นสารประเภทฮอร์โมนซึ่งร่างกายผลิตมาจากเซลล์ในตับอ่อน ฮอร์โมนอินซูลินมีหน้าที่ควบคุมกระบวนการเผาผลาญสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ประกอบกับอินซูลินจะเร่งการดูดซึมของน้ำตาลกลูโคส (Glucose) จากกระแสเลือดเข้าสู่กล้ามเนื้อลายและเนื้อ เยื่อไขมัน เมื่อใดก็ตามที่เกิดความผิดปกติของระดับอินซูลินในกระแสเลือด จะทำให้การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดล้มเหลว หรือที่เราเรียกว่า “โรคเบาหวาน” โดยแบ่งโรคได้เป็น 2 ชนิด คือ

โรคเบาหวานชนิด 1 (Type 1 diabetes) ผู้ป่วยเบาหวานกลุ่มนี้จะมีการผลิตฮอร์โมนอินซูลินจากตับอ่อนได้น้อย ทำให้ร่างกายขาดอินซูลิน

โรคเบาหวานชนิด 2 (Type 2 diabetes) ซึ่งเป็นผู้ป่วยเบาหวานประเภทที่ร่างกายตอบสนองต่อฮอร์โมนอินซูลินต่ำ จนทำให้กระบวนการเผาผลาญของสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตและไขมันผิดปกติไปจากข้อมูลข้างต้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้พยายามคิดค้นการสังเคราะห์อินซูลินเพื่อนำมาใช้เป็นประโยชน์ทางการแพทย์ โดยใช้หลักการของพันธุวิศวกรรมเข้ามาช่วยเหลือ จนค้นพบว่า อินซูลินถูกสร้างขึ้นได้โดยใช้แบคทีเรียที่มีชื่อว่า E.Coli (Escherichia coli) และถูกนำออกมาจัดจำหน่ายภายในปี ค.ศ. 1982 (พ.ศ. 2525) มีชื่อทางการค้าว่า “Humulin” นักวิทยาศาสตร์ทางการแพทย์ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์อินซูลินขึ้นมามากมายหลายชื่อการค้า

กลไกการออกฤทธิ์ ยาอินซูลินมีกลไกการออกฤทธิ์โดย ตัวยาจะเข้าจับกับตัวรับในเซลล์ต่างๆที่เรียกว่า อินซูลิน รีเซพเตอร์ (Insulin receptor) ทำให้มีการนำกลูโคสในกระแสเลือดเข้าสู่เซลล์ของร่างกาย เช่น กล้าม เนื้อ ร่างกายจึงสามารถนำกลูโคสมาเผาผลาญและทำให้เกิดพลังงานต่อร่างกายได้

ผลข้างเคียงของยา ทำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ เกิดภาวะดื้อต่ออินซูลิน เกิดการสูญเสียเนื้อเยื่อไขมันใต้ผิวหนัง มีภาวะโพแทส เซียมในร่างกายต่ำ เช่น กล้ามเนื้อเป็นตะคริวหัวใจเต้นผิดปกติ การมองเห็นภาพไม่ชัดเจน

4.) ซิตากลิปติน (Sitagliptin) เป็นยารักษาโรคเบาหวานชนิด 2 (Diabetes mellitus type 2) ถูกออกแบบในรูปยารับประทาน สามารถใช้เป็นลักษณะของยาเดี่ยว หรือใช้ร่วมกับยารักษาโรคเบาหวานตัวอื่นอีก เช่น Metformin หรือ Thiazolidinedione

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการออกฤทธิ์ ยาซิตากลิปตินมีกลไกการออกฤทธิ์ โดยตัวยาจะออกฤทธิ์ต่อกระบวนการเคมีในร่างกาย ส่งผลให้เพิ่มการหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน และยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนกลูคากอน (Glucagon) ซึ่งเป็นฮอร์โมนอีกชนิดหนึ่งที่สร้างจากตับอ่อนเช่นเดียวกับอินซูลิน แต่มีหน้าที่เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด) จากกลไกนี้ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงอยู่ในระดับปกติ และมีฤทธิ์ในการรักษาโรคเบาหวานตามสรรพคุณ

ผลข้างเคียงของยา ยาซิตากลิปตินสามารถก่อให้เกิดผลไม่พึงประสงค์ และผลข้างเคียงดังนี้ เช่น มีอาการน้ำ ตาลในเลือดต่ำ หิว คลื่นไส้วิงเวียน เป็นลม อาจพบภาวะตับอ่อนอักเสบ ส่วนภาวะไตล้ม เหลวและอาการแพ้ยา (หาหมอ แหล่งรวมข้อมูลสุขภาพ โรงพยาบาล และแพทย์, 2557)

2.3.2 การควบคุมอาหาร

ในการควบคุมอาหารของผู้ที่เป็นโรคเบาหวานจะเน้นไปที่การควบคุมอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก โดยค่าดัชนีน้ำตาลนับเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาในการเลือกรับประทานที่ดีต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index, GI) คือ การจัดอันดับความเร็วในการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่กลายให้เป็นกลูโคสในระดับตั้งแต่ 0 ถึง 100 หลังจากรับประทานอาหาร อาหารที่มี GI สูงคืออาหารที่ได้รับการย่อยสลายและดูดซึมได้อย่างรวดเร็วและส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงและเกิดการผันผวนมาก ส่วนอาหารที่มี GI ต่ำคือ อาหารที่รับประทานแล้วมีความผันผวนน้อยในระดับน้ำตาลในเลือดไม่สูง ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการพิจารณาเพื่อหลีกเลี่ยงอาหารที่มีน้ำตาลสูงของผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยมีเกณฑ์ในการตัดสิน ดังนี้ (The University of Sydney, 2017)

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์ในการชี้วัดค่าดัชนีน้ำตาลในอาหาร

ค่าดัชนี	ช่วงของค่าGI
GI ต่ำ	< 56
GI ปานกลาง	56-69
GI สูง	> 70

ที่มา : (The University of Sydney, 2017)

2.3.2.1 ดัชนีน้ำตาลของข้าว

ข้าวแต่ละชนิดให้ค่าดัชนีน้ำตาลแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ขนาดความยาวของเมล็ด พันธุกรรมของเมล็ดข้าว โครงสร้างทางกายภาพและเคมีของข้าว จนไปถึงข้าวที่ผ่านกระบวนการต่างกันก่อนจะมาถึงผู้บริโภค แสดงให้เห็น ดังตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทของข้าวและคุณภาพข้าวสุกตามปริมาณอะไมโลส

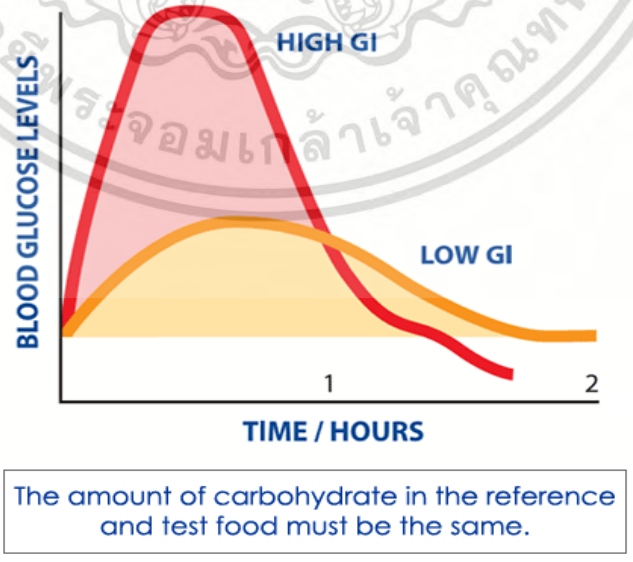
ชนิดของข้าว	ค่าดัชนี	ค่าปานกลาง
ข้าวสวย	สูง	76
ข้าวกล้อง	ปานกลาง	66
ข้าวเหนียว	สูง	87
ข้าวต้ม	สูง	88
ข้าวสวยญี่ปุ่น	สูง	76

ที่มา : (The University of Sydney, 2017)

2.3.2.2 วิธีการวัดค่าดัชนีน้ำตาล

ค่า GI ของอาหารมีผลกระทบที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร ในแง่ของค่าคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนและน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ทางองค์การอนามัยโลกและองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้กล่าวไว้ว่าค่าที่กล่าวมามีความสำคัญทางโภชนาการหรือทางสรีรวิทยาเพียงเล็กน้อย และขอแนะนำให้ลบข้อกำหนดเหล่านี้ออกและแทนที่ด้วยค่าดัชนีน้ำตาล หรือ GI แทน

ตามวิธีมาตรฐานสากล ค่า GI ของอาหารจะถูกกำหนดโดยการนำผู้ทดลองที่มีสุขภาพดี 10 รายขึ้นไปมาให้อาหารโดยอาหารที่ให้จะมีคาร์โบไฮเดรตที่สามารถย่อยได้ 50 กรัม แล้ววัดผลกระทบต่อระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ทดลองในสองชั่วโมงถัดไปแล้วนำมาเทียบค่าดัชนีน้ำตาลกับตัวอย่างอ้างอิง. โดยจะเทียบที่พื้นที่ภายใต้การตอบสนองของน้ำตาลในเลือด 2 ชั่วโมง (glucose AUC) สำหรับอาหารประเภทนี้ (The University of Sydney, 2017)



ภาพที่ 2.5 กราฟระดับน้ำตาลในกระแสเลือด (The University of Sydney, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กรดคลอโรจินิค

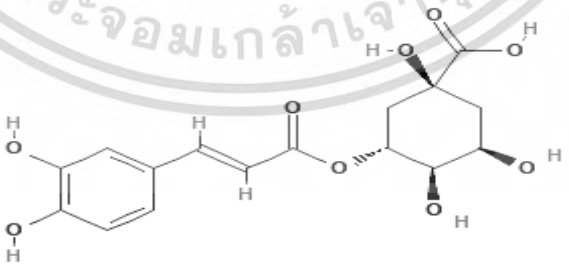
กรดคลอโรจินิคสามารถพบได้มากในเมล็ดกาแฟ โดยกรดคลอโรจินิคเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลิกที่สำคัญในกาแฟที่แยกได้จากใบและผลไม้พืชใบเตี้ย ในเมล็ดกาแฟมีกรดคลอโรจินิคเป็นปริมาณมาก ในงานวิจัยพบว่าปริมาณกรดคลอโรจินิคในถ้วยกาแฟขนาด 200 มิลลิลิตร (7 ออนซ์) พบว่ามีกรดคลอโรจินิคมากถึง 70-350 มิลลิกรัม ในขณะเดียวกันก็พบคาเฟอีนประมาณ 35-175 มิลลิกรัม และสารนี้ยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยในชะลอการปลดปล่อยกลูโคสเข้าไปในกระแสเลือดหลังจากรับประทานอาหาร

ทั้งนี้ผลการวิจัยทางระบาดวิทยายังชี้ให้เห็นว่าการบริโภคกาแฟอาจช่วยป้องกันไม่ให้อักเสบเรื้อรัง (Chronic Inflammation) หลายอย่างเช่นโรคเบาหวานประเภท 2 โรคพาร์คินสันและโรคตับ (โรคตับแข็งและมะเร็งตับ) โดยการอักเสบอาจเกิดจากสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาภายในร่างกายเช่น สารเคมี เกสรดอกไม้ กรดคลลอโรจินิคซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจะทำการจับสารเหล่านี้เช่นเดียวกันกับที่จับกับสารอนุมูลอิสระ

จากการศึกษากลุ่มเป้าหมายในอนาคตส่วนใหญ่ไม่พบว่าการบริโภคกาแฟมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจุบันมีหลักฐานน้อยมากที่การบริโภคกาแฟเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง

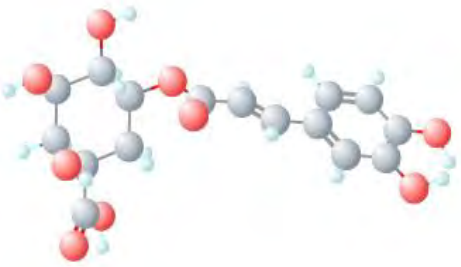
2.4.1 ลักษณะโครงสร้างของกรดคลอโรจินิค

กรดคลอโรจินิค (Chlorogenic acid) หรือ CGA มีสูตรทางเคมีคือ $C_{16}H_{18}O_9$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 354.51 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลว (melting point) อยู่ระหว่าง 205-209 องศาเซลเซียส สามารถละลายน้ำได้ในน้ำเปล่าด้วยความสามารถในการละลายน้ำ 40 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กรดคลอโรจินิคเป็นเอสเตอร์ของกรดคาเฟอีนและกรดควินิค โครงสร้าง 2 มิติ และ 3 มิติของกรดคลอโรจินิคแสดงดังภาพที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ (PubChem, 2004)



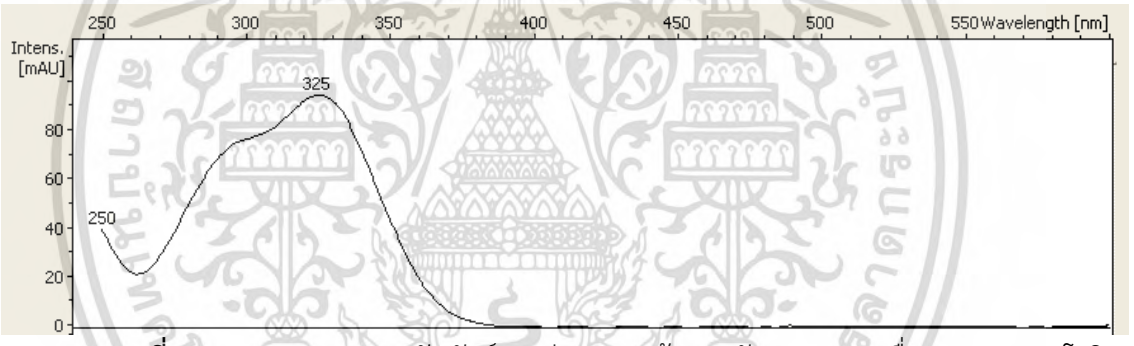
ภาพที่ 2.6 โครงสร้าง 2 มิติของกรดคลอโรจินิค (PubChem, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 โครงสร้าง 3 มิติของกรดคลอโรจินิค (PubChem, 2004)

กรดคลอโรจินิคจะสามารถถูกตรวจพบที่ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตรโดยใช้เครื่องในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่าความเข้มของแสง (UV-vis spectrophotometer) ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืน ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของกรดคลอโรจินิค (NotWith, 2012)

2.4.2 ประโยชน์ของกรดคลอโรจินิค

กรดคลอโรจินิคเป็นสารประกอบฟีนอลที่ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระจะถูกทำลายไปด้วย (Lü et al., 2009)

นอกจากนี้ยังลดการเกิดไกลเคชั่น การเกิดไกลเคชั่น (Glycation) คือ การเกิดการเชื่อมข้ามสาย (Cross-linking) ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกับโมเลกุลของโปรตีนหรือไขมันโดยไม่ผ่านเอ็นไซม์ จะทำให้เกิดการรวมตัวเป็น(formation) สารใหม่ที่ชื่อว่า Advanced Glycation End Products (AGEs) สาร AGEs คำอธิบายนี้ไม่สอดคล้องกับหัวข้อ 2.1.1 ถ้าเป็นคำอธิบายเพิ่มเติมให้อธิบายด้วยว่า Glycation คืออะไรอีกรอบ ตัวนี้เป็นสารที่มีผลร้ายต่อร่างกาย อาทิเช่นการขัดขวางโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับโมเลกุล การเปลี่ยนแปลงการทำงานของเอ็นไซม์ เป็นเหตุทำให้การเผาผลาญภายในร่างกายบกพร่องและยิ่งในผู้ที่เป็นโรคเบาหวานจะมีการสร้างสารตัวนี้มากเป็นพิเศษเนื่องมาจากมีน้ำตาลส่วนเกินในร่างกายมากเกินไป โดยสาร AGEs นี้ก็จะยิ่งทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนในโรคเบาหวานเช่นกัน อาทิเช่น เบาหวานขึ้นจอตา โรคไตจากเบาหวาน โรคเส้นประสาทจากเบาหวาน เส้นเลือดฝอยที่กล้ามเนื้อหัวใจตีบตัน (Singh et al, 2014) โดยกรดคลอโรจินิคจะช่วยลดการเกิดไกลเคชั่นโดยการไปชิงจับตัวกับโปรตีนก่อนโมเลกุลน้ำตาลจะเข้ามาจับ (Bhattacherjee and Datta, 2015).

และยังมีประสิทธิภาพช่วยลดภาวะความดันโลหิต เมื่อร่างกายได้รับกรดคลอโรจินิคจะทำให้ความความดันโลหิตลดลง โดยมีงานวิจัยออกมารับรองเป็นจำนวนมากเป็นโดยเป็นหลักฐานที่เห็นได้ชัดด้วยการวัดความดันเลือด อัตราการเต้นของหัวใจ ดัชนีมวลกาย การตรวจเลือด และการตรวจปัสสาวะ (Watanabe et al., 2006)

กรดคลอโรจินิคสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือด โดยกรดคลอโรจินิคทำหน้าที่เสมือนสารลดภาวะดื้อต่ออินซูลิน (Insulin sensitizer) ซึ่งจะทำให้ออกฤทธิ์โดยการยับยั้งการสร้างกลูโคสจากตับเป็นหลักนอกจากนี้ยังช่วยให้การออกฤทธิ์ของอินซูลินที่กล้ามเนื้อดีขึ้นด้วย ทั้งนี้ยังพบว่าระดับพลาสม่าของอินซูลินก็เพิ่มขึ้นรวมถึงความเข้มข้นของโปรตีนและดีเอ็นเอในตับเพิ่มขึ้น (Meng et al., 2013)

นอกจากนี้ยังเป็นตัวยับยั้งเอ็นไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α-Glucosidase Inhibiter) เอ็นไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ทำหน้าที่ในการย่อยแป้ง(starch)ในลำไส้เล็ก กรดคลอโรจินิคจะทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ทำให้เอ็นไซม์นี้ย่อยแป้งได้น้อยลงส่งผลต่อเนื่องกับระดับน้ำตาลในกระแสเลือดไม่เพิ่มขึ้นหรือเพิ่มได้แค่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Meng et al., 2013)

กรดคลอโรจินิคช่วยในระบบการจำและระบบประสาทของผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ กรดคลอโรจินิคสามารถยับยั้งฤทธิ์การทำงานของเอ็นไซม์ AChE และ BChE ซึ่งเอ็นไซม์2ตัวนี่จะทำหน้าที่เป็นตัวสลายสารสื่อประสาทที่ชื่อว่า Acetylcholine โดยเฉพาะสารเคมีเอซีเฮซอีไอประเภทยับยั้งแบบผันกลับได้ จะถูกนำมาใช้รักษาอาการอัลไซเมอร์ (Čolović et al., 2013)

และยังช่วยในระบบเผาผลาญไขมัน กรดคลอโรจินิคช่วยในการเผาผลาญไขมันโดยมีฤทธิ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ (Strengthen) ของเอ็นไซม์ที่ชื่อว่า Carnitine palmitoyl transferase (CPT) ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ในการจำกัดความเร็วในการอ็อกซิเดชั่นของกรดไขมัน (Meng et al., 2013)

2.5 ข้าวและการปรับปรุงคุณภาพข้าว

2.5.1 การปรับปรุงคุณภาพข้าว

2.5.1.1 การอัดด้วยความร้อน (Hot extrusion) การอัดหรือรีดด้วยความร้อนจะทำโดยจะทำได้โดยนำแป้งข้าวผสมวิตามินหรือสารที่มีประโยชน์อื่นๆ ผ่านเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวและจะถูกอัดลงในแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างหรือโครงสร้างเหมือนเมล็ดข้าว โดยกระบวนการนี้จะใช้อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง (70-110 องศาเซลเซียส) ส่งผลทำให้ข้าวที่ผ่านกระบวนการนี้เกิดการสุกเป็นบางส่วนและจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปลักษณ์ภายนอกใกล้เคียงกับข้าวปกติ โดยที่ส่วนใหญ่มักจะนำข้าวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพนี้ผสมรวมเข้ากับข้าวปกติในอัตราส่วนข้าวที่ถูกปรับปรุงคุณภาพ:ข้าวธรรมดา เท่ากับ 1:200

2.5.1.2 การอัดด้วยความเย็น (Cold extrusion) การอัดหรือรีดด้วยความเย็นจะมีขั้นตอนในการดำเนินการเดียวกันกับการอัดหรือรีดแบบร้อนทุกอย่างแต่จะใช้อุณหภูมิที่เย็นกว่า (70 องศาเซลเซียส) เมื่อใช้อุณหภูมิที่ต่ำลงจะทำให้ข้าวไม่เกิดการสุกและมีลักษณะขาวขุ่นจึงทำให้ง่ายต่อการคัดแยกระหว่างข้าวธรรมดากับข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีนี้ โดยมีอัตราส่วนในการผสมเช่นเดียวกับการปรับปรุงคุณภาพข้าวด้วยการรีดร้อนคือ ข้าวที่ปรับปรุงคุณภาพ: ข้าวธรรมดา เท่ากับ 1:200

2.5.1.3 การเคลือบ (Coating) เริ่มจากการนำสารที่มีประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณภาพข้าวเช่นวิตามินมาผสมกับแว็กซ์ (Waxes) หรือ กัม (Gum) แล้วจะนำส่วนผสมเหล่านี้มาทำการสเปรย์พ่นให้ทั่วเมล็ดข้าวโดยจะทำหลายๆชั้น และนำไปผสมรวมกับข้าวปกติในอัตราส่วน ข้าวที่ถูกปรับปรุงคุณภาพ:ข้าวธรรมดา เท่ากับ 1:200

2.5.1.4 การเคลือบด้วยละออง (Dusting) จะเป็นการเคลือบข้าวด้วยผงของวิตามินหรือสารที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพข้าว โดยผงของวิตามินจะยึดติดที่ผิวของข้าวด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) ดังนั้นจึงทำให้ผงวิตามินหลุดออกได้หากผ่านการซาวข้าว

2.5.1.5 กระบวนการทำข้าวนึ่ง (Parboiling process) กระบวนการทำข้าวนึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนคือการแช่น้ำ การนึ่ง และการอบลดความชื้น โดยการแช่จะทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ระหว่างขั้นตอนนี้วิตามินในชั้นรำจะเกิดการละลายน้ำ และในขั้นตอนการนึ่งจะนึ่งที่อุณหภูมิสูง (70-110 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้แป้งภายในข้าวเปลือกเกิดการเจลาติไนซ์โดยกระบวนการเจลาติไนเซชั่นเกิดขึ้นได้เมื่อแป้งสัมผัสกับน้ำและความร้อน และเมื่อน้ำที่มีวิตามินและแร่ธาตุจากชั้นรำสัมผัสกับแป้งในสภาวะที่มีความร้อนเกินอุณหภูมิเจลาติไนซ์ของแป้งนั้นจะทำให้แป้งจับตัวกับวิตามินและแร่ธาตุ หลังจากนั้นจะทำการอบเพื่อลดความชื้นเพื่อเก็บรักษา

2.5.2 ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากข้าว

2.5.2.1 ข้าวหุงสุกเร็ว หรือ ข้าวกึ่งสำเร็จรูป (Quick cooking rice or instant rice) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาหุงต้มหรือคืนรูปสั้นๆ ด้วยวิธีที่ไม่ยุ่งยาก เมื่อต้องการบริโภคหลังจากคืนรูปแล้ว ผลิตภัณฑ์ยังคงมีรสชาติ กลิ่น และเนื้อสัมผัส ใกล้เคียงกับข้าวที่หุงปกติ สามารถเก็บไว้ได้นาน ผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีหลายรูปแบบมากมาย เช่น

1. Cup rice เป็นการคืนรูปโดยเติมน้ำร้อนหรือน้ำเดือดลงในถ้วย แล้วตั้งทิ้งไว้ 1-5 นาที ก็จะได้ผลิตภัณฑ์คืนรูปพร้อมบริโภค
2. Standing rice เป็นการคืนรูปโดยการต้มน้ำให้เดือด ใส่ข้าวกึ่งสำเร็จรูปคนให้เข้ากัน แล้วลดความร้อน ตั้งทิ้งไว้ 5-7 นาที ก็จะนำมาบริโภคได้
3. Simmering rice เป็นการต้มน้ำและข้าวกึ่งสำเร็จรูปด้วยกัน แล้วจึงลดความร้อนทิ้งไว้ให้ระอุ 5-10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Boil in bag เป็นการบรรจุข้าวกึ่งสำเร็จรูปในถุงที่มีรูพรุน ต้มในน้ำเดือด นาน 10 นาที จะได้ข้าวพร้อมบริโภค

5. Microwave เป็นการคืนรูปโดยใส่ข้าวและน้ำในชามหรือถ้วย แล้วต้มในเตาไมโครเวฟ นาน 5-10 นาที จะได้ข้าวพร้อมบริโภค

โดยศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว ได้มีการทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยสามารถทำการผลิตได้จากข้าวกล้องและข้าวสาร ที่มีปริมาณอมิโลสต่างๆได้ เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1, กข 23 และ เหลืองประทิว 123 เป็นต้น โดยใช้เทคนิคการลดความชื้นด้วยเครื่อง Fluid bed dryer ใช้เวลาคืนรูป โดยแช่น้ำร้อนจัดนาน 4-5 นาที ในกรณีข้าวสาร และ 7-10 นาที ในกรณีข้าวกล้อง มีขบวนการผลิต โดยหุงต้มข้าวให้สุกในน้ำเดือดหรือน้ำสุก จากนั้นล้างข้าวสุกและแช่แข็ง ตามด้วยละลายน้ำแข็ง และลดความชื้นด้วยเครื่อง Fluid bed dryer จะได้ข้าวกึ่งสำเร็จรูป ทำการปรุงรสข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยเติมผลิตภัณฑ์แห้ง คือ เนื้อสัตว์แห้ง เช่น เนื้อไก่ เนื้อหมู หรือ กุ้ง ส่วนผักอบแห้ง ได้แก่ ถั่วฝักยาว แครอท ข้าวโพด และ ต้นหอม สำหรับสารปรุงรสใช้น้ำตาล เกลือ พริกไทย น้ำมันพืช และ กระเทียมเจียว เมื่อทำการคืนรูป โดยเติมน้ำร้อนจัดในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะได้ข้าวปรุงรสพร้อมรับประทาน (องค์ความรู้เรื่องข้าว, 2561)

2.5.2.2 ข้าวบรรจุกระป๋อง (Canned rice) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องชนิดหนึ่งที่สามารถเก็บไว้ได้นาน เช่นเดียวกับอาหารกระป๋องทั่วไป ได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตข้าวสวยบรรจุกระป๋อง โดยนำข้าวไปแช่ในสารละลายค่อนข้างเป็นกรด (pH 5.0-5.5) และแช่ข้าวที่สุกบางส่วนใน surfactant ระยะเวลาสั้นๆ เพื่อลดความเหนียวและการเกาะติดกันของข้าวสวย สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่ใช้อาจเป็นน้ำมัน หรือสารละลายน้ำมัน ทางศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว ได้มีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิบรรจุกระป๋อง โดยไม่มีการใช้สารเคมีใดๆ มีการใช้กระป๋องพร้อมฝาที่เคลือบแลคเกอร์ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.27 นิ้ว สูง 1.80 นิ้ว มีขบวนการผลิต ดังนี้ ทำการชั่งข้าวสารหอมมะลิ 75 กรัม ล้างน้ำ 2 ครั้ง นำข้าวใส่กระป๋อง เติมน้ำในปริมาณ 1.2 เท่า ของน้ำหนักข้าว จากนั้นนำไปนึ่งในลัง หรือในไอน้ำเดือดนาน 14 นาที ปิดฝากระป๋องทันที แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 12 นาที (องค์ความรู้เรื่องข้าว, 2561)

2.5.2.3 ข้าวบรรจุในภาชนะชนิดอ่อนตัว (Rice in retort pouch) ภาชนะชนิดอ่อนตัว (retort pouch) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่น สามารถปิดผนึกด้วยความร้อน และทนต่ออุณหภูมิสูงถึง 121 องศาเซลเซียส. ดังนั้น จึงสามารถนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทกรดต่ำ แทนกระป๋องและขวดแก้ว ผลิตภัณฑ์ข้าวสวยใน retort pouch นี้เป็นที่นิยมในตลาดญี่ปุ่น ภาชนะบรรจุที่ใช้ ประกอบด้วย วัสดุ3ชั้น ลามิเนต (laminate) ให้ติดกันของ โพลีเอสเตอร์ (polyester), ฟอยด์อลูมิเนียม (aluminum foil) และ โพลีโพพีลีน (polypropylene) โดยมีโพลีเอสเตอร์ (polyester) ทำหน้าที่ป้องกันการขูดขีด คงทนและอ่อนตัวอยู่ชั้นนอกสุด มีความหนา 0.0005 นิ้ว ชั้นกลางเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอยด์อลูมิเนียมมีความหนา 0.00035-0.0007 นิ้ว จะช่วยป้องกันแสงและการซึมผ่านของน้ำ ออกซิเจน สำหรับชั้นโพลีโพพีลีน ที่อยู่ชั้นในสุดมีคุณสมบัติไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร จึงเหมาะสมเป็นส่วนที่สัมผัสกับอาหาร ภาชนะบรรจุนี้สามารถใช้งานกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ในภาชนะชนิดอ่อนตัวนี้มีอายุการเก็บ (shelf life) นาน 6 เดือน เมื่อต้องการบริโภคจึงนำถุงภาชนะชนิดอ่อนตัวนี้แช่ในน้ำร้อนนาน 10-15 นาที หรือเทอาหารออกจากบรรจุภัณฑ์ใส่จานอุ่นในเตาไมโครเวฟ 1-2 นาที (**องค์ความรู้เรื่องข้าว, 2561**)

2.5.2.4 ข้าวแช่เยือกแข็ง (Frozen rice) การแช่เยือกแข็ง เป็นการถนอมอาหารวิธีหนึ่งที่ผู้บริโภคต้องการลักษณะอาหารที่เหมือนเดิม พร้อมทั้งคงคุณค่าทางอาหารและรสชาติ สะดวกรวดเร็วในการเตรียม จึงทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวแช่เยือกแข็ง โดยมักแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบลมเป่า (air-blast freezer) หรือเครื่องแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed freezer) แล้วเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิเยือกแข็งที่ -23.3 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นานเป็นปี เมื่อนำมาคืนรูปด้วยการอุ่นให้ร้อนอีกครั้ง จะมีสภาพเหมือนข้าวหุงสุกใหม่ สามารถผลิตได้ทั้งข้าวขาว และข้าวกล้อง (**กรมการข้าว, 2561**)

2.5.2.5 ข้าวเสริมโภชนาการหรือข้าวอนามัย (Enriched Rice) การบริโภคข้าวสารที่ทำการขัดสีจนขาว ซึ่งวิตามินและเกลือแร่ต่างๆ ส่วนใหญ่ถูกขัดออกจนเกือบหมด ดังนั้นจึงมีการผลิตข้าวเสริมวิตามินและเกลือแร่เพื่อชดเชยส่วนที่ขาดหายไป หรือเพิ่มเติมเพื่อให้มีปริมาณมากขึ้น เช่น มีการเติมวิตามิน ไทอะมิน (Thiamin), ไนอะซิน (Niacin) หรือสารละลายน้ำอื่นๆ (**กรมการข้าว, 2561**) โดยสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่นการผสมข้าวเสริมโภชนการกับข้าวขาว การผสมกับผงสารอาหาร การสเปรย์เคลือบที่ผิวเมล็ดข้าว การแช่ข้าวในสารสำคัญ และการผลิตอาหารโภชนการเลียนแบบเมล็ดข้าว เป็นต้

2.5.2.6 ข้าวกล้องงอก (Germinated brown rice) ข้าวกล้องงอก เป็นข้าวกล้องที่ผ่านการแช่น้ำทำให้งอก โดยมีส่วนของคัพภะ หรือจมูกข้าวงอกยาวออกมาประมาณ 0.5-1.0 มิลลิเมตร พบการเพิ่มขึ้นของสารชีวกิจกรรม เช่น สารแกมม่าอะมิโนบิวทิริคแอซิค (gamma-aminobutynic acid, GABA) สารประกอบฟีโนลิก (phenolic compound) แกมมาออริซานอล (gamma oryzanol) กรดเฟอร์รูลิก (ferulic acid) ใยอาหาร อินโนซิทอล (inositol) กรดไฟติก (phytic acid) โทโคไตรอีนอล (tocotrienols) แมกซีเนียม โพแทสเซียม และสังกะสี ซึ่งข้าวกล้องที่นำมาทำให้งอกแล้วนั้นมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าในข้าวกล้องปกติ โดยเฉพาะปริมาณ GABA พบว่ามีมากกว่าในข้าวกล้องถึง 10 เท่า และยังผลิตกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ หรือสร้างได้ คือ ไนอะซีน (niacin) และไลซีน (lyzine) เพิ่มขึ้น 4 เท่า ซึ่งกรดอะมิโนนี้ช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย รวมทั้งมี dietary fiber เพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวกล้องปกติ (**กรมการข้าว, 2561**)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.7 ข้าวนึ่ง (Parboiled rice) นอกจากจะเป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพการสีของข้าวแล้วนั้นยังถือว่าเป็นกระบวนการเพิ่มคุณค่าทางอาหารของเมล็ดข้าวอีกด้วย โดยมีขั้นตอนผลิตคร่าวๆดังนี้ ทำการแช่เมล็ดข้าวเปลือก เพื่อเพิ่มความชื้นในเมล็ดก่อนนึ่ง ซึ่งวิตามินและเกลือแร่บางส่วนละลายน้ำ แล้วแทรกเข้าไปภายในเมล็ดและคงอยู่ในเมล็ดถึงแม้ผิวนอกถูกขัดออกไป ในปัจจุบัน ระบบการทำข้าวนึ่งสามารถลดเวลาลง โดยแช่ข้าวเปลือกในน้ำร้อนและนึ่งในระบบเพิ่มความดัน ทำให้ข้าวนึ่งคุณภาพดีขึ้น ไม่มีกลิ่น และควบคุมความเข้มของสีตามความต้องการของตลาดผู้ซื้อ และเนื่องจากคนไทยไม่นิยมบริโภคข้าวนึ่ง การผลิตข้าวนึ่ง จึงมุ่งเน้นเฉพาะเพื่อการส่งออก ผู้บริโภคที่นิยม ข้าวกึ่ง คือ อินเดีย ปากีสถาน ตะวันออกกลางและ แอฟริกา ข้าวที่เหมาะสมสำหรับผลิตข้าวนึ่งควรเป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (มากกว่า 25%) วิธีเช่นเดียวกับการบริโภคข้าวขาว คือ นำเมล็ดมาหุงต้ม และบริโภคกับอาหารหรือกับข้าวอื่นๆหรืออาจนำมาทำข้าวปรุงรส (กรมการข้าว, 2561)

จากองค์ความรู้ที่ได้กล่าวมาในบทนี้จะนำไปสู่วิธีและขั้นตอนการทดลองเพื่อผลิตข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคเพื่ออาหารทางเลือกของผู้ป่วยโรคเบาหวาน หรือบุคคลทั่วไปที่ต้องการควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือด โดยแนวทางในการวางแผนการทดลองและวิธีการทดลองมีแสดงในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การทดลอง

ในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับเรื่องวิธีกำเนินการทดลองและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้รวมถึงวิธีการวางแผนการทดลองตั้งแต่ข้าวเปลือกธรรมดา (หอมมะลิ 105) จนเป็นข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคด้วยกรรมวิธีการทำนึ่งข้าวเปลือก ตลอดจนการตรวจหาปริมาณสารกรดคลอโรจินิคภายในเมล็ดข้าว เพื่อศึกษาแต่ละสภาวะว่าสภาวะใดเหมาะสมที่สุดและแต่ละสภาวะแตกต่างกันอย่างไร รวมถึงการทดสอบระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคว่ามีการตอบสนองต่อระดับน้ำตาลในเลือดอย่างไร ซึ่งเป็นการจำลองการรับประทานอาหารในชีวิตจริง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ Memmert รุ่น WNB29, Germany แสดงในภาพที่ 3.1 เป็นอุปกรณ์ที่จะใช้ในการแช่ข้าวและนึ่งข้าว เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิในการแช่ให้คงที่ได้ เพื่อให้เหมาะแก่การทดลอง และเพื่อเพิ่มความชื้นในเมล็ดข้าวให้อยู่ที่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นความชื้นฐานเปียก และเป็นการทำให้เกิดเจลาติไนซ์เซชั่นในขั้นตอนการนึ่ง โดยเครื่องนี้จะใช้ในการทดลองที่ 3.2.1 และ 3.2.2

ภาพที่ 3.1 อ่างควบคุมอุณหภูมิ Memmert รุ่น WNB29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตู้อบลมร้อน Memmert รุ่น UF260, Germany สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงสุดที่ 300 องศาเซลเซียสแสดงในภาพที่ 3.2 เป็นอุปกรณ์ที่จะใช้ในการลดความชื้นข้าวนึ่งให้อยู่ในระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการจัดเก็บที่ 12-14 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก โดยเครื่องนี้จะใช้ในการทดลอง 3.2.3

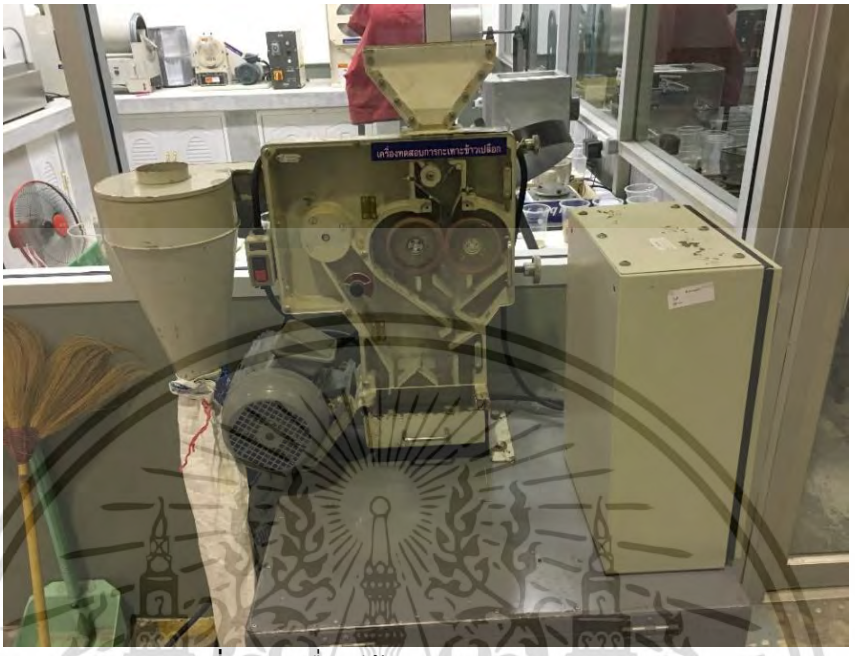
ภาพที่ 3.2 ตู้อบลมร้อน Memmert รุ่น UF260, Germany

3. เครื่องวัดความชื้นระบบตัวเลข Moisture meter TA-5, Japan แสดงในภาพที่ 3.3 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยสามารถวัดได้ทั้งข้าวเปลือกและข้าวสาร โดยจะใช้วัดในขั้นตอนก่อนนำข้าวเปลือกไปสู่กระบวนการสีในขั้นตอนที่ 3.2.4

ภาพที่ 3.3 เครื่องวัดความชื้น รุ่น TA-5, Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องสีข้าวเปลือก SATAKE HUSK TESTER รุ่น THU, Japan แสดงดังภาพที่ 3.4 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการกะเทาะข้าวเปลือกเพื่อให้ได้เป็นข้าวกล้อง โดยจะใช้ในการทดลองที่ 3.2.4



ภาพที่ 3.4 เครื่องสีข้าว Satake รุ่น THU, Japan

5. เครื่องทดสอบการคัดขนาดเมล็ดข้าว SATAKE รุ่น TWSB, Japan แสดงดังภาพที่ 3.5 โดยอุปกรณ์นี้จะใช้ในขั้นตอน 3.2.5 เพื่อคัดแยกขนาดเมล็ดข้าวที่ผ่านจากกระบวนการสีในขั้นตอนที่ 3.2.2.1

ภาพที่ 3.5 เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว SATAKE รุ่น TWSB, Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เครื่องปั่นแยกสาร Labnet รุ่น Spectrafuge 7M Microcentrifuge, USA แสดงดังภาพที่ 3.6 โดยอุปกรณ์นี้จะใช้ในขั้นตอน 3.2.8 เพื่อใช้ในการแยกตะกอนออกจากสารละลาย

ภาพ 3.6 เครื่องปั่นแยกสาร Labnet รุ่น Spectrafuge 7M, USA

7. เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer รุ่น GENESYS 10S UV-vis, Thermo, USA แสดงดังภาพที่ 3.7 โดยอุปกรณ์นี้จะใช้ในการสร้างกราฟมาตราฐานและตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายกรดคลอโรจินิค โดยจะใช้ในขั้นตอน 3.2.6 และ 3.2.9

ภาพที่ 3.7 เครื่อง UV-VIS spectrophotometer Thermo รุ่น GENESYS 10S, USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เครื่องตรวจระดับน้ำตาลในเลือด แถบเจาะเลือด และอุปกรณ์เจาะเลือด ACCU-CHEK รุ่น Performa แสดงดังภาพที่ 3.8 โดยอุปกรณ์นี้จะใช้ในการหาระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในกระแสเลือด โดยจะใช้ในขั้นตอนที่ 3.2.10-3.2.12

ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือด แถบเจาะเลือด และอุปกรณ์เจาะเลือด ACCU-CHEK รุ่น Performa

9. ข้าวอ้างอิง Uncle Ben’s Long grain, New Zealand ที่มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 56 (Foster-Powell et al., 2002) เป็นวัสดุที่จะใช้ในการทดสอบในขั้นตอนที่ 3.2.10-3.2.12 โดยจะใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในเปรียบเทียบเพื่อศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค แสดงดังภาพที่ 3.9

ภาพที่ 3.9 ข้าวอ้างอิง Uncle Ben’s Long grain, New Zealand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

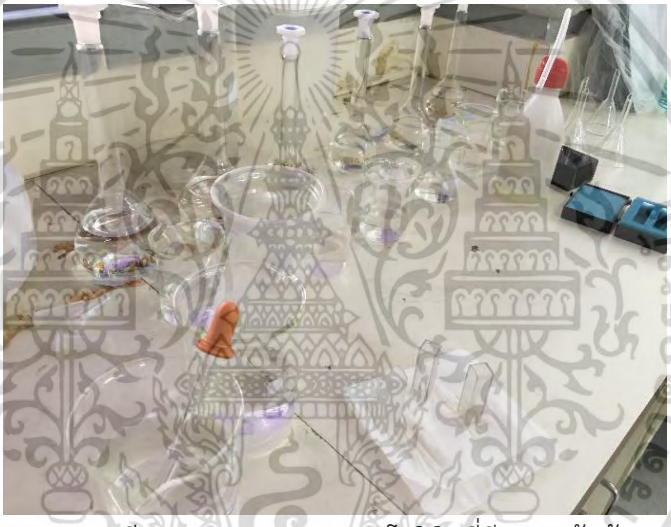
3.2 การเตรียมตัวอย่างและสารละลายที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างข้าว

ข้าวที่ได้รับเป็นข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เพาะปลูกในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ โดยทำการเก็บเกี่ยวในปีการเก็บเกี่ยว 2559 ก่อนการทดลองข้าวเปลือกได้ถูกทำความสะอาดด้วยเพื่อคัดแยกวัสดุที่ไม่ใช่ข้าวเปลือกที่ต้องการออก เช่น แกลบ ฟาง ฝุ่น วัชพืช ข้าวลีบ

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างสารละลาย

กรดคลอโรจินิค (Cas No.327-97-9) ซื้อมาจาก บริษัท ซีอาน เนเชอรัล ฟิลด์ จำกัด ประเทศจีน ที่ผลิตในปี 2559 นำมาเตรียมสารละลายเพื่อใช้สำหรับสร้างกราฟมาตราฐาน โดยเริ่มจากการตวงกรดคลอโรจินิคด้วยช้อนตวงเพื่อทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง เมื่อทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว จะนำกรดคลอโรจินิคดังกล่าวมาละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) เพื่อทำเป็นสารละลายกรดคลอโรจินิคที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้

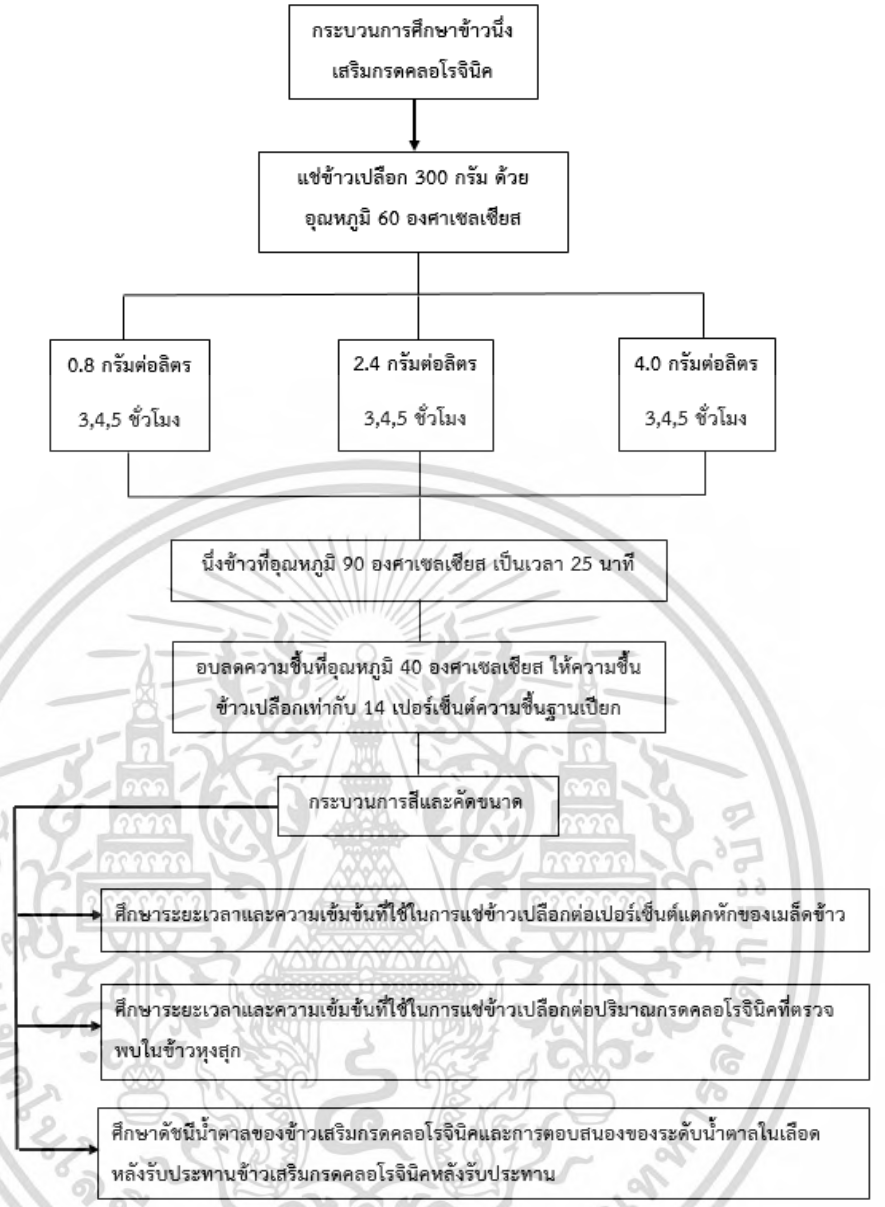


ภาพที่ 3.10 การเตรียมสารละลายกรดคลอโรจินิคที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

3.3 แผนการทดลอง

ในการทดลองนี้จะเป็นการใช้กระบวนการทำข้าวนึ่งในการเสริมกรดคลอโรจินิคเข้าสู่เมล็ดข้าว โดยกระบวนการนี้จะเริ่มจากการนำข้าวเปลือก 300 กรัม มาแช่ด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคที่ความเข้มข้น 0.8 2.4 และ 4.0 กรัมต่อลิตรโดยขั้นตอนการเตรียมสารละลายแสดงดังหัวข้อที่ 3.2 และใช้เวลาแช่ข้าวเปลือกที่ระยะเวลา 3 4 และ 5 ชั่วโมง ในอ่างควบคุมอุณหภูมิโดยกำหนดให้คงที่ที่ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการแช่มาทำการนึ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 25 นาทีและเข้าสู่ในขั้นตอนถัดไปคือการอบลดความชื้นโดยจะอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนข้าวเปลือกมีความชื้นเท่ากับ 14 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก แสดงดังภาพที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 แผนการทดลอง

เมื่อถึงขั้นตอนนี้เป็นการสิ้นสุดกระบวนการเสริมกรดคลอโรจินิคโดยผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่ง หลังจากนั้นจะนำเอาข้าวเปลือกเสริมกรดคลอโรจินิคไปสีข้าวเปลือกและคัดขนาดเมล็ด เพื่อศึกษาว่าปัจจัยระยะเวลาและความเข้มข้นในการแช่ข้าวเปลือกมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังการสีข้าวหรือไม่ หลังจากดำเนินงานในขั้นตอนนี้สำเร็จแล้วจะทำให้ได้ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคที่ได้ ไปศึกษาว่าปัจจัยระยะเวลาและความเข้มข้นในการแช่ข้าวเปลือกมีผลต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในเมล็ดข้าวหุงสุขหรือไม่ และจะศึกษาต่อในเรื่องของดัชนีน้ำตาลของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคและการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหลังประทาน

สำหรับกระบวนการทำข้าวนึ่งเพื่อใช้ตลอดการทดลองมีขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนการแช่ข้าว ขั้นตอนการทำนึ่ง และขั้นตอนการทำแห้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การแช่ข้าวเปลือก (Soaking)

ในขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือกจะเริ่มจากการนำข้าวเปลือก 300 กรัม ไปแช่ในบีกเกอร์ที่มีสารละลายกรดคลอโรจินิค ที่ความเข้มข้น 0.8 2.4 และ 4.0 กรัมต่อลิตร เพื่อจะนำไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 4 และ 5 ชั่วโมง

ก ข

ภาพที่ 3.12 การชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก (ก) และการแช่ข้าวเปลือกด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Germany) (ข)

3.2.2 การนึ่งข้าวเปลือก (Steaming)

ในขั้นตอนการนึ่งข้าวเปลือกจะนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการแช่ด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคมาทำการนึ่งด้วยตะแกรงที่วางสูงเหนือน้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยจะทำการนึ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที

ภาพที่ 3.13 การนึ่งข้าวในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การลดความชื้นข้าวเปลือกเพื่อการจัดเก็บ (Drying)

ในขั้นตอนการลดความชื้นข้าวเปลือกเพื่อจัดเก็บ จะนำข้าวเปลือกที่เสร็จสิ้นจากกระบวนการนึ่งข้าวเปลือกมาใส่ในตู้อบลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิอบลดความชื้นที่ 40 องศาเซลเซียส และจะอบจนกว่าความชื้นของข้าวเปลือกอยู่ที่ประมาณ 12-14 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก โดยข้าวเปลือกจะถูกวัดด้วยเครื่องวัดความชื้น Moisture Meter TA-5, Japan ก่อนนำข้าวเปลือกเข้าสู่กระบวนการสี ก็จะเป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการเพิ่มกรดคลอโรจินิคลงในเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง

ก ข

ภาพที่ 3.14 รูปแบบในการนำข้าวเปลือกเข้าตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany) (ก) และการวัดความชื้นของข้าวเปลือกหลังการลดความชื้น (Moisture meter TA-5, Japan) (ข)

เมื่อทำการลดความชื้นจากขั้นตอนก่อนจนได้ความชื้นที่ต้องการแล้ว จะนำข้าวที่ถูกเสริมด้วยกรดคลอโรจินิคมาทำการสีข้าวเปลือกด้วยเครื่องสีข้าวและคัดขนาดเพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวของข้าวนึ่งในแต่ละปัจจัยและระดับต่างๆ โดยมีรายละเอียดต่างๆ ในขั้นตอนดังนี้

3.2.4 กระบวนการสีข้าว

เมื่อทำการลดความชื้นจากขั้นตอนก่อนจนได้ความชื้นที่ต้องการแล้ว จะนำข้าวที่ถูกเสริมด้วยกรดคลอโรจินิคมาทำการสีข้าวเปลือกด้วยเครื่องสีข้าวเปลือก โดยปรับลูกยางคู่ที่สีข้าวเปลือกให้ห่างกันประมาณ 1 มิลลิเมตร ด้วยฟีลเลอร์เกจ (Feeler gauge) โดยใช้เวลาในการสีข้าวเปลือกเป็นระยะเวลา 120 วินาที และจากนั้นจะนำข้าวเปลือกที่สีเป็นข้าวกล้องไปสู่ขั้นตอนการคัดขนาด

3.2.5 กระบวนการคัดขนาดเมล็ดข้าว

ในขั้นตอนนี้จะนำข้าวกล้องที่ได้จากกระบวนการสีเปลือกข้าวออก มาทำการแยกข้าวเต็มเมล็ดออกจากข้าวหักด้วยเครื่องทดสอบการคัดขนาดเมล็ดข้าว ด้วยตะแกรงหลุมเบอร์ 6 โดยจะคัดเอาเฉพาะข้าวเต็มเมล็ดเท่านั้น แล้วนำข้าวที่คัดขนาดแล้วมาชั่งน้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง พร้อมจดค่าเพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แตกหักโดยสูตรที่ใช้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์แตกหักหลังการสีข้าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

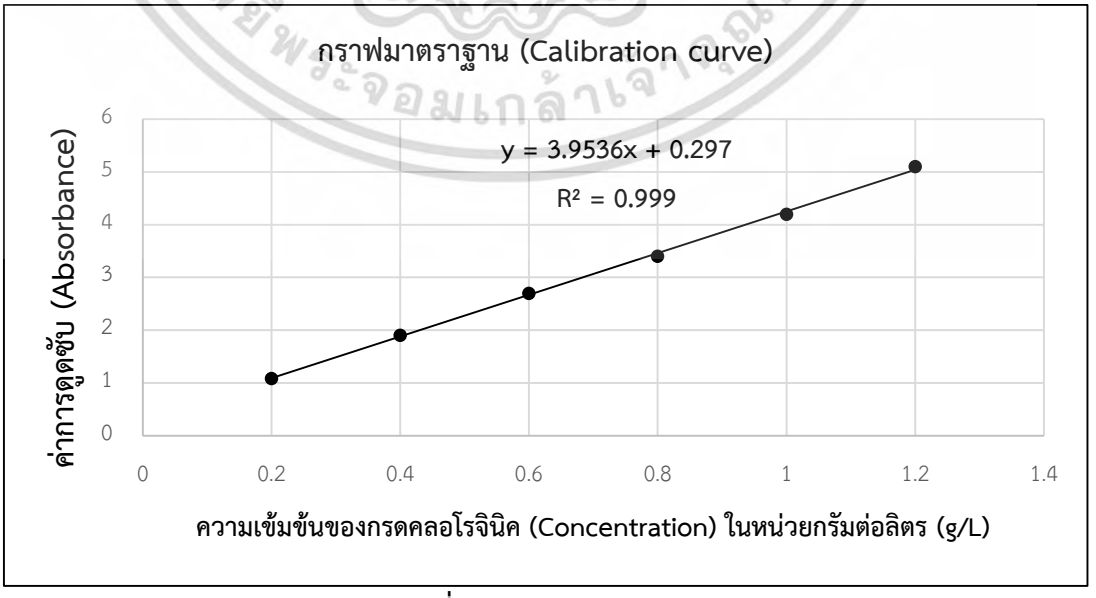
$$\frac{\text{น้ำหนักของข้าวหลังกระบวนการสีข้าว} - \text{น้ำหนักของข้าวหลังกระบวนการคัดขนาดเมล็ดข้าว}}{\text{น้ำหนักของข้าวหลังกระบวนการสีข้าว}} \times 100$$

อันเนื่องมาจากน้ำหนักของข้าวหลังกระบวนการสีข้าว (น้ำหนักของข้าวเต็มเมล็ด+น้ำหนักของข้าวหัก) ในแต่ละสภาวะการทดลองมีค่าไม่เท่ากัน จึงไม่ควรพิจารณาที่น้ำหนักของข้าวเปลือก 300 กรัม ดังนั้นจึงเริ่มพิจารณาที่น้ำหนักของเมล็ดข้าวหลังสีข้าว และในส่วนน้ำหนักของข้าวหลังกระบวนการคัดขนาดจะเป็นน้ำหนักของเมล็ดข้าวที่เต็มเมล็ด เมื่อนำน้ำหนักของข้าวหลังกระบวนการสีข้าวมาหักล้างด้วยน้ำหนักของข้าวหลังการคัดขนาดเมล็ดข้าวจะทำให้ได้น้ำหนักของเมล็ดข้าวที่แตกหักส่วนด้วยน้ำหนักของข้าวเริ่มต้นคือน้ำหนักของข้าวหลังกระบวนการสีข้าว จะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว

หลังสิ้นสุดกระบวนกระบวนการสีข้าวและคัดขนาดจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ในการศึกษาปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคสามารถทำได้โดยขั้นตอนต่อไปนี้

3.2.6 การเตรียมกราฟมาตราฐาน

ในการสร้างกราฟมาตราฐาน สร้างเพื่อพยากรณ์ความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค โดยเริ่มจากการเตรียมสารละลายกรดคลอโรจินิคที่ความเข้มข้น 0.0 (น้ำกลั่น), 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 กรัมต่อลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) เพื่อนำมาตรวจหาค่าดูดซับ (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร (ความยาวคลื่นที่สารกรดคลอโรจินิคที่สามารถตรวจพบ) โดยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer เมื่อได้ค่าการดูดซับแล้วจะนำไปพล็อตลงไปในกราฟตามระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดคลอโรจินิคที่เตรียมไว้ เพื่อสร้างเป็นกราฟมาตราฐานโดยมีค่าความเข้มข้นอยู่ที่แกน X และค่าการดูดซับอยู่ที่แกน Y แสดงดังรูปที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 กราฟมาตราฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการสร้างกราฟมาตราฐานจะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) ต้องมากกว่า 0.996 ซึ่งในการทดลองได้ค่า R-squared เท่ากับ 0.999 จึงสามารถนำไปใช้ได้โดยมีสมการถดถอยดังนี้

$$Y = 3.9536X + 0.297$$

3.2.7 การเตรียมตัวอย่างข้าวหุงสุก

เมื่อได้กราฟมาตราฐานและสมการถดถอยแล้วจะเริ่มการเตรียมตัวอย่างข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก โดยเริ่มจากหุงข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคด้วยการนำตัวอย่างข้าวในทุกสภาวะการทดลองมาอย่างละ 10 กรัม เพื่อหุงด้วยบีกเกอร์ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ในอัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2.5 ด้วยอุณหภูมิในการหุงข้าวเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 45 นาที แสดงดังภาพที่ 3.18

ก ข

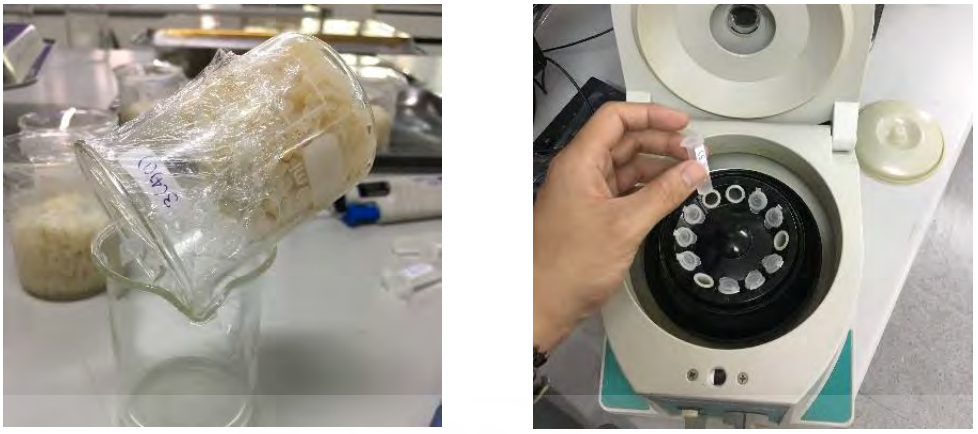
ภาพที่ 3.16 การเตรียมอัตราส่วนข้าวต่อน้ำสำหรับการหุงสุก (ก) และการหุงข้าวตัวอย่างในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (ข)

ในขั้นตอนต่อไปจะนำข้าว 10 กรัม ที่หุงสุกแล้วมาเติมน้ำกลั่นปริมาณ 20 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร เพื่อแช่ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคที่หุงสุก เพื่อให้ความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคภายในเมล็ดข้าวและภายนอกเมล็ดข้าวเท่ากันหรืออยู่ในสภาวะสมดุล โดยจะใช้เวลาในการแช่ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นน้ำกลั่นที่ใช้ในการแช่ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกจะกลายเป็นสารละลายของกรดคลอโรจินิคที่ไม่ทราบความเข้มข้น เพื่อที่จะหาความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคที่ละลายออกมาสมดุลสู่น้ำกลั่นจะทำได้ในขั้นตอนถัดไป

3.2.8 การทดสอบเพื่อหาความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหุงสุก

ในขั้นตอนนี้สารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคจะมีลักษณะขุ่น จึงมีความจำเป็นต้องนำสารดังกล่าวมาปั่นแยกสาร ก่อนที่จะนำไปหาค่าการดูดซับจากเครื่อง UV-VIS spectrophotometer โดยจะปั่นแยกตะกอนออกด้วยเครื่องปั่นแยกสารความเร็วสูงที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แสดงดังภาพที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก ข

ภาพที่ 3.17 การคัดน้ำข้าวที่ได้หลังจากการแช่ข้าวนาน 12 ชั่วโมง (ก) และการนำน้ำข้าวที่ได้จากการแช่มาบรรจุลงเครื่องปั่นแยกสาร (Labnet รุ่น Spectrafuge 7M Microcentrifuge, USA) (ข)

หลังจากผ่านกระบวนการปั่นแยกสารแล้ว จะปิเปตต์ (Pipette) สารละลายที่ปั่นดังกล่าวไปหาค่าดูดซับด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 3.18 เมื่อได้ค่าการดูดซับของข้าวที่ใช้ในการแช่ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกแล้วก็จะแทนค่าในสมการถดถอย (Y = 3.9536X +0.297) จากกราฟมาตราฐานที่ได้เตรียมไว้ เพื่อจะทราบได้ค่าความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวของแต่ละสภาวะที่ใช้ในการทดลอง เมื่อได้ค่าความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวแล้วก็จะสามารถคำนวณปริมาณกรดคลอโรจินิคของข้าวในขั้นตอนต่อไปได้

ก ข

ภาพที่ 3.18 คิวเวทท์แบบควอตซ์ (Quartz cuvette) (ก) และการนำน้ำข้าวที่ได้จากการปั่นแยกสารมาบรรจุลงเครื่อง UV-VIS spectrophotometer (GENESYS 10S UV-vis, Thermo, USA) (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.9 การคำนวณปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหุงสุก

เมื่อทราบค่าความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคจากขั้นตอนก่อนหน้าแล้ว จะนำค่าความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวมาคำนวณเป็นปริมาณกรดคลอโรจินิคที่อยู่ในเมล็ดข้าวโดยพิจารณาจากปริมาณข้าวที่ใช้ ยกตัวอย่างเช่น ค่าความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคในสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกเท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสังเกตุในขั้นตอนการแช่ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกที่เข้าสู่สภาวะสมดุลความเข้มข้นภายในเมล็ดข้าวและภายนอกที่เป็นสารละลายที่ใช้แช่ข้าวหุงสุกจะมีค่าเท่ากันจึงทำการคูณด้วย 2 ต่อมาจะนำเทียบกับปริมาตรที่ใช้แช่ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกคือ 20 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร จึงคูณด้วย 20 และหารด้วย 1000 เพราะต้องการจะเปลี่ยนหน่วยจากลูกบาศซ์เซ็นติเมตรเป็น 1 ลิตร เมื่อถึงขั้นตอนนี้ ก็สามารถที่จะรู้ได้ว่าตัวอย่างข้าวที่นำมาทดสอบ 10 กรัม มีปริมาณกรดคลอโรจินิคเท่าใด และจะนำไปคำนวณต่อว่าในกรณีของข้าว 267 กรัม (ปริมาณเฉลี่ยที่มนุษย์รับประทานใน 1 วัน) จะมีปริมาณกรดคลอโรจินิคเท่าใดแล้วจึงคูณด้วย 26.7 ก็จะได้ปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าว 267 กรัม โดยแสดงสมการการคำนวณของตัวอย่างดังนี้

$$\text{ปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าว 267 กรัม} = \frac{30\text{mg}}{\text{L}} \times 2 \times 20\text{cm}^2 \times \frac{1\text{ L}}{1000\text{ cm}^2} \times 26.7 = 32.04\text{ mg}$$

เมื่อทราบปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคไปทดสอบการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือด และศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค โดยจะมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

3.2.10 การเตรียมตัวตัวอย่างทดสอบและการรับประทานข้าวตัวอย่าง

3.3.10.1 การหุงข้าว

การเตรียมตัวอย่างข้าวจะเตรียมขึ้นในตอนเช้าของวันทดสอบ โดยทดสอบข้าวทุกชนิดได้แก่ ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ข้าวนึ่ง ข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวน และข้าวอ้างอิง โดยจะสุ่มเลือกชนิดของข้าวในแต่ละวันที่ทำการทดลองมาวันละ 1 ชนิด แต่ละชนิดจะใช้ปริมาณที่เท่ากันคือ 50 กรัม เพื่อหุงด้วยอัตราส่วนข้าว : น้ำ เท่ากับ 1 : 2.5 และใช้อุณหภูมิในการหุงเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 45 นาที และรับประทานคู่กับไข่ไก่เบอร์ 3 จำนวน 2 ฟอง ที่ถูกทอดในกระทะด้วยเนย 5 กรัม และเกลือ 1 ช้อนโต๊ะ เพื่อเสริมรสชาติให้ผู้เข้าร่วมการทดสอบและจะมีน้ำดื่มให้แก่ผู้เข้าร่วมการทดสอบปริมาณ 250 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิห้อง เพื่อความง่ายในการกลืนและย่อยของอาหารที่รับประทาน

3.3.10.2 การทดสอบการรับประทานข้าว

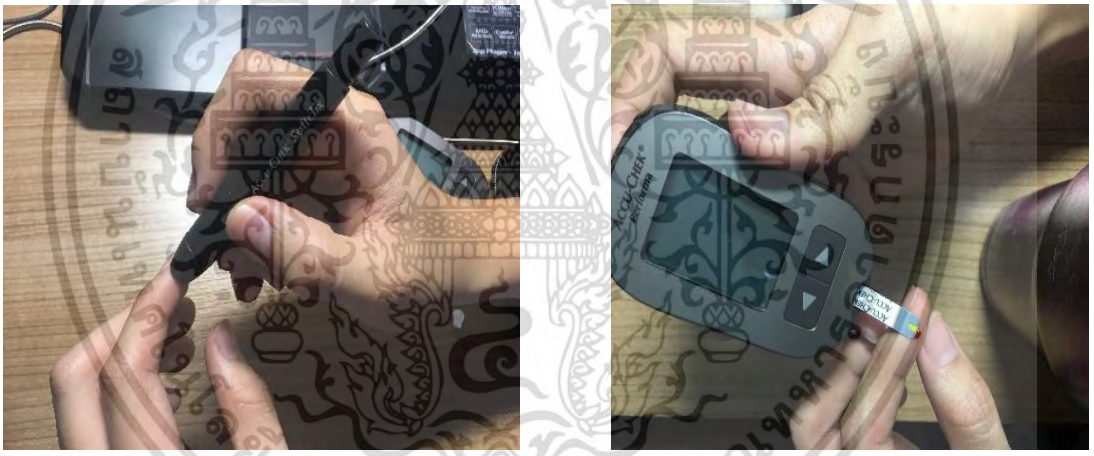
การทดสอบเริ่มทำในเวลาเช้าของวันทดลอง โดยเริ่มจากการเปิดรับอาสาสมัครทั้งหมด 10 คน เป็นเพศชาย 5 คน และเพศหญิง 5 คน ที่ได้รับการอดอาหารขั้นต่ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเข้ารับการทดสอบในการศึกษานี้ โดยผู้เข้าร่วมการทดสอบจะต้องรับประทานข้าวตัวอย่างให้หมดภายใน 15 นาที ในส่วนของสถานที่ที่ใช้ในการเข้าร่วมการทดสอบได้เลือกที่นั่งรับประทานตามที่ตนเองรู้สึกสบาย แต่จะไม่ได้รับอนุญาตให้ลุกขึ้นจากที่นั่ง

3.2.11 การทดสอบเพื่อวัดการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทาน

การวัดระดับน้ำตาลในเลือดในการทดลองครั้งนี้เริ่มจากการคัดเลือกคนที่มีสุขภาพดี 10 คน จากอาสาสมัคร โดยแบ่งเป็นผู้ชาย 5 คน และผู้หญิง 5 คน ที่ได้ผ่านการอดอาหารขั้นต่ำ 8 ชั่วโมง เพื่อเข้าร่วมทดสอบการตอบสนองของน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวทั้งสองขนิด (Fasting blood glucose) โดยใช้เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือดวัดที่ปลายนิ้ว (Finger prick method) และการเจาะเลือดทำได้โดยอุปกรณ์เจาะเลือด (Lancet device) แสดงดังภาพที่ 3.19 ก. และจะเปลี่ยนเข็มเจาะเลือดอนามัยทุกครั้งที่ทำการเจาะเลือด เมื่อทำการเจาะเลือดแล้วนำเลือดบรรจุลงแถบเจาะเลือด (Test strip) ที่เสียบอยู่ในเครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือด แสดงดังภาพที่ 3.19 ข. แล้วรอผลการตรวจจากเครื่องเพื่อวัดค่าการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดโดยจะมีการวัดทั้งก่อนรับประทานและหลังรับประทานตัวอย่างข้าว



ก ข

ภาพที่ 3.19 การเจาะเลือดด้วยอุปกรณ์เจาะเลือด (ก) และการนำเลือดบรรจุลงในแถบเจาะเลือดที่อยู่ในเครื่องตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด (ข)

โดยการวัดระดับน้ำตาลในกระแสเลือดก่อนรับประทานตัวอย่างข้าวจะทำการวัด 2 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะวัดห่างกัน 30 นาทีแล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อกำหนดให้เป็นค่าเริ่มต้น (Baseline) ในการศึกษาระดับน้ำตาลที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการรับประทานข้าวตัวอย่าง

และในการวัดระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวแต่ละชนิดจะใช้เวลาในการวัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยเริ่มวัดหลังจากรับประทานอาหารแล้วที่เวลา 15, 30, 45, 60, 90, 120 นาที เพื่อนำมาสร้างกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดและนำค่าการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานและระยะเวลาต่างๆ ที่เจาะเลือดมาสร้างเป็นกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.12 การทดสอบค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index test)

ในการคำนวณหาค่าดัชนีน้ำตาลได้อาศัยตามหลักการคำนวณตามมาตราฐานสากล (International standard) ISO 26642:2010 ระบุว่าการทดสอบเพื่อคำนวณหาค่าดัชนีน้ำตาลทำได้โดยการนำมนุษย์ที่มีสุขภาพดีจำนวน 10 คน หรือมากกว่ามาเข้ารับการทดสอบโดยก่อนเข้ารับการทดสอบ ผู้ทดสอบต้องอดอาหารขั้นต่ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง และเมื่อเริ่มต้นทดสอบผู้ทดสอบจะถูกเจาะเลือดเพื่อหาความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดก่อนรับประทานตัวอย่างที่ต้องการทดสอบโดยกำหนดให้เป็นค่าเริ่มต้น (Baseline) หลังจากนั้นจะให้ผู้เข้าร่วมการทดสอบรับประทานตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ โดยปริมาณที่ใช้ทดสอบทั่วไปคือ 50 กรัม

หลังจากรับประทานตัวอย่างที่ต้องการทดสอบแล้วผู้ทดสอบจะถูกเจาะเลือดหลังรับประทานตัวอย่างที่ต้องการทดสอบจำนวน 6 ครั้งหรือมากกว่าภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง และจะนำผลความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดที่ตอบสนอง (Blood glucose response) ที่ได้จากการเจาะเลือดมาสร้างกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลหลังรับประทานตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยให้ระยะเวลาที่ทำการเจาะเลือดผู้เข้าทดสอบตั้งอยู่ที่แกน X และระดับน้ำตาลในเลือดที่ตอบสนองอยู่ที่แกน Y เมื่อได้กราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วจะทำการหาค่าพื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานตัวอย่าง และนำมาเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ของตัวอย่างอ้างอิง (Reference) เพื่อทราบค่าดัชนีน้ำตาลของตัวอย่างที่ทดสอบ โดยการสร้างกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ของตัวอย่างอ้างอิงจะมีวิธีในการทดลองเหมือนตัวอย่างที่ต้องการทดสอบค่าดัชนีน้ำตาลทุกประการ

สำหรับในการทดสอบในงานวิจัยนี้จะเป็นการวัดค่าการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดพร้อมสร้างกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานเป็นเวลา 2 ชั่วโมงของข้าวทั้ง 4 ชนิด โดยจะทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้าว 3 ชนิดแรกคือ ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ข้าวนึ่ง และข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ เนื่องจากเป็นข้าวที่มาจากแหล่งที่มาเดียวกันแต่มีผ่านกระบวนการต่างกัน จึงต้องการจะศึกษาระดับน้ำตาลในเลือดที่ตอบสนองหลังรับประทานของข้าวทั้ง 3 ชนิดนี้ว่าแตกต่างกันหรือไม่ และจะนำพื้นที่ใต้กราฟของข้าวทั้ง 3 ชนิดนี้มาเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของข้าวชนิดสุดท้ายคือข้าวอ้างอิงที่มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 56 (Uncle Ben’s Long grain rice, New Zealand) เพื่อจะได้ทราบค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทั้ง 3 ชนิดนี้

หลังจากได้กราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดจากขั้นตอนที่ 3.3.11 แล้วจะเริ่มคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดทำได้โดยใช้โปรแกรม Excel ในการคำนวณโดยกราฟจะแบ่งออกเป็น 6 พื้นที่ตามจำนวนครั้งที่ได้ทำการเจาะเลือด เมื่อทราบพื้นที่ใต้กราฟของการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวทั้ง 3 ชนิดแล้ว (ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ข้าวนึ่ง และข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ) จะนำไปเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวอ้างอิง (Uncle Ben's Long grain rice, New Zealand) ก็จะทำให้ทราบค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวตัวอย่างที่ใช้ทดสอบได้

โดยยกตัวอย่างการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟเพื่อหาค่าดัชนีน้ำตาลได้ดังนี้ พื้นที่ใต้กราฟของการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคเท่ากับ 100 ตารางหน่วย เมื่อเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวอ้างอิงเท่ากับ 200 ตารางหน่วย โดยข้าวอ้างอิงมีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 48 ดังนั้นข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคที่มีพื้นที่ใต้กราฟของการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคเท่ากับ 100 ตาราง ก็จะมีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 24

3.4 ค่าชี้ผลในการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการทดสอบข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคตั้งแต่กระบวนการผลิตข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตจะเป็นการวิเคราะห์ปริมาณกรดคลอโรจินิคภายในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ตลอดจนนำข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคไปใช้ในการรับประทาน โดยค่าชี้ผลในการทดลองจะแสดงถึงเกณฑ์ในการวัดว่าข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคที่ผลิตมีคุณภาพในด้านต่างๆ แสดงให้เห็นเป็นหัวข้อหลักๆ ทั้ง 3 หัวข้อแสดงดังนี้

3.4.1 การศึกษาเปอร์เซ็นต์แตกหักของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค

ในกระบวนการศึกษาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคจะศึกษาที่สภาวะต่างๆ เพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวหลังสีข้าว โดยเริ่มที่ปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่แต่ละระดับความเข้มข้นคือ 0.8 2.4 และ 4.0 กรัมต่อลิตร มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักหรือไม่ พร้อมศึกษาว่าปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่แต่ละระดับเวลาในการแช่คือ 3 4 และ 5 ชั่วโมง มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักหรือไม่ และสภาวะใดในการผลิตข้าวเสริมกรดคลอริจินิคมีเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวน้อยที่สุด โดยกระบวนการทำข้าวนึ่งเพื่อเสริมกรดคลอโรจินิคทำได้โดยขั้นตอน 3.2.1-3.2.3 และในกระบวนการหาเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวสามารถทำได้ในขั้นตอน 3.2.4-3.2.5

3.4.2 การศึกษาปริมาณกรดคลอโรจินิคที่พบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก

ในกระบวนการศึกษาปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคจะเป็นการศึกษาข้าวที่สภาวะต่างๆ เพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก โดยเริ่มที่ปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่แต่ละระดับความเข้มข้นคือ 0.8 2.4 และ 4.0 กรัมต่อลิตร มีผลต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกหรือไม่ พร้อมศึกษาว่าปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่แต่ละระดับเวลาในการแช่คือ 3, 4 และ 5 ชั่วโมง มีผลต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกหรือไม่ และสภาวะใดในการผลิตมีปริมาณกรดคลอโรจินิคใกล้เคียงปริมาณแนะนำในการบริโภคกรดคลอโรจินิคใน 1 วัน มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคและการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค

ในการศึกษานี้จะเป็นการนำข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาในขั้นตอนที่ 3.4.1 และ 3.4.2 เพื่อนำมาศึกษาระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค โดยจะศึกษาควบคู่กับข้าวชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมกรดคลอโรจินิคลงในเมล็ดข้าวว่ามีความแตกต่างจากข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเสริมกรดคลอโรจินิคในเรื่องการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานหรือไม่ โดยการทดสอบจะทดสอบด้วยข้าว 4 ชนิด คือ 1. ข้าวที่ผ่านกระบวนการเสริมกรดคลอโรจินิค (เป็นข้าวที่ถูกเสริมด้วยกรดคลอโรจินิคผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่งที่ได้จากสภาวะการทดลองที่นำข้าวเปลือกผ่านกระบวนการแช่ด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคที่ความเข้มข้น 4.0 กรัมต่อลิตรและแช่เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง) 2. ข้าวนึ่ง (เป็นข้าวที่นำมาผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่งโดยในขั้นตอนการแช่จะแช่ด้วยน้ำเปล่าเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง) 3. ข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ (เป็นข้าวเปลือกที่มาจากกระสอบเดียวกันกับข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคและข้าวนึ่งที่ผ่านกระบวนการสีและคัดขนาดเท่านั้น) 4.ข้าวอ้างอิง (เป็นข้าวที่จะใช้เปรียบเทียบค่าดัชนีน้ำตาล เนื่องจากเป็นข้าวที่ทราบค่าดัชนีน้ำตาล) เมื่อได้การตอบสนองขิงระดับน้ำตาลในเลือดในข้าวแต่ละชนิดแล้วจะนำไปศึกษาต่อในเรื่องของค่าดัชนีน้ำตาลในข้าวแต่ละชนิด

3.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ในกระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 16.0 โดยจะทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 (ทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD)

ในการศึกษาในหัวข้อที่ 3.4.1 (ศึกษาเปอร์เซ็นต์แตกหักของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคที่สภาวะต่างๆ) และ 3.4.2 (ปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกที่สภาวะต่างๆ) จะเป็นการวิเคราะห์ทางสถิติแบบความแปรปรวน 2 ทาง (Two-way Analysis of variance, Two-way ANOVA) เพื่อศึกษาว่าปัจจัยทั้งสองปัจจัยได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัยหรือไม่ในการศึกษาที่ 3.4.1 และ 3.4.2 หรือไม่ (Interaction effect) และศึกษาอิทธิพลหลัก (Main effect) ของทั้งสองปัจจัยได้แก่ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกมีผลต่อในการศึกษาที่ 3.4.1 และ 3.4.2 หรือไม่

และในส่วนของการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับในการศึกษาในหัวข้อที่ 3.4.3 (ศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลและการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค) จะเป็นการวิเคราะห์ทางสถิติแบบทางเดียว (One-way Analysis of variance, One-way ANOVA) เพื่อศึกษาว่าข้าวทั้ง 4 ชนิด (ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ข้าวนึ่ง ข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ ละข้าวอ้างอิง) มีความแตกต่างกันในเรื่องของการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันหรือไม่ และศึกษาพื้นที่ใต้กราฟของกราฟระดับน้ำตาลในกระแสเลือดที่ตอบสนองหลังรับประทานเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงหรือไม่

3.5.1 การกำหนดสมมติฐานเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในการศึกษาเปอร์เซ็นต์แตกหักของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค

ในการเริ่มต้นการวิเคราะห์จะเริ่มจากการกำหนดสมมติฐาน (Hypothesis) โดยกำหนดให้ H_0 (Null Hypothesis) คือ สมมติฐานหลัก และ H_a (Alternative Hypothesis) คือ สมมติฐานรอง

โดยจะเริ่มจากการสมมติฐานของการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัย (ความเข้มข้นของสารละลายและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก) ในการศึกษาเรื่องเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค (Interaction effect) ดังนี้

H_0: ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัย

H_a: มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัย

โดยในการเลือกใช้สมมติฐานนั้นจะพิจารณาจากค่า Sig. (Significance level, ระดับนัยสำคัญทางสถิติ) ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS หากได้ค่า Sig. > 0.05 (มากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด) จะเลือกใช้สมมติฐานหลัก (H_0, Null Hypothesis) ในการสรุปผลการทดลอง แต่หากได้ค่า Sig. ≤ 0.05 จะเลือกใช้สมมติฐานรอง (H_a, Alternative Hypothesis) ในการสรุปผลการทดลอง

และในส่วนอิทธิพลหลักของปัจจัยความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก (Main effect) จะกำหนดสมมติฐานได้ว่า

H_0: เปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวเปลือกที่ถูกแช่ด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคที่ความเข้มข้น 3 ระดับ (0.8, 2.4 และ 4.0 กรัมต่อลิตร) ไม่แตกต่างกัน

H_a: เปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวเปลือกที่ถูกแช่ด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคที่ความเข้มข้น 3 ระดับ (0.8, 2.4 และ 4.0 กรัมต่อลิตร) มีอย่างน้อยสองระดับที่แตกต่างกัน

และในส่วนอิทธพลหลังของปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก (Main effect) จะกำหนดสมมติฐานได้ดังนี้

H_0: เปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวเปลือกที่ถูกแช่ที่ระดับเวลาในการแช่ 3 ระดับ (3, 4 และ 5 ชั่วโมง) ไม่แตกต่างกันที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก

H_a: เปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวเปลือกที่ถูกแช่ที่ระดับเวลาในการแช่ 3 ระดับ (3, 4 และ 5 ชั่วโมง) มีอย่างน้อยสองระดับที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การกำหนดสมมติฐานเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในการศึกษาปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก

โดยจะเริ่มจากการสมมติฐานของการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัย (ความเข้มข้นของสารละลายและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก) ในการศึกษาปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก (Interaction effect) ดังนี้

H_0: ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัย

H_a: มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัย

และในส่วนอิทธิพลหลักของปัจจัยความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก (Main effect) จะกำหนดสมมติฐานได้ดังนี้

H_0: ปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกที่ได้จากข้าวเปลือกที่ถูกแช่ด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคที่ความเข้มข้น 3 ระดับ (0.8, 2.4 และ 4.0 กรัมต่อลิตร) ไม่แตกต่างกัน

H_a: ปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกที่ได้จากข้าวเปลือกที่ถูกแช่ด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคที่ความเข้มข้น 3 ระดับ (0.8, 2.4 และ 4.0 กรัมต่อลิตร) มีอย่างน้อยสองระดับที่แตกต่างกัน

และในส่วนอิทธิพลหลักของปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก (Main effect) จะกำหนดสมมติฐานได้ดังนี้

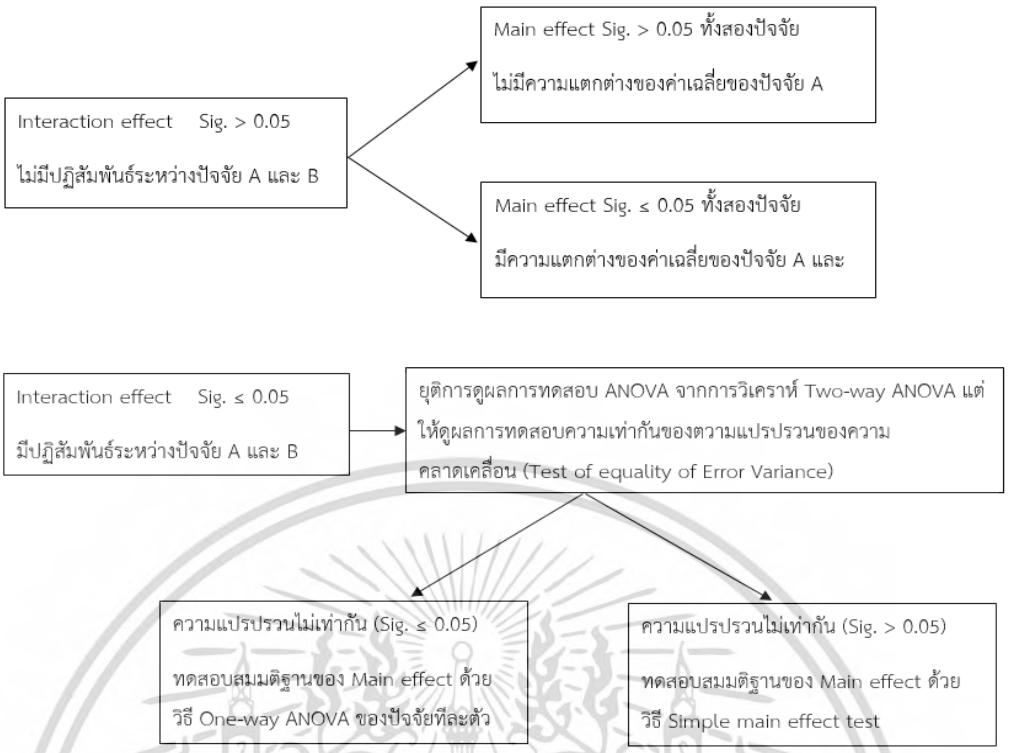
H_0: ปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกที่ได้จากข้าวเปลือกที่ถูกแช่ที่ระดับเวลาในการแช่ 3 ระดับ (3, 4 และ 5 ชั่วโมง) ไม่แตกต่างกันที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก

H_a: ปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกที่ได้จากข้าวเปลือกที่ถูกแช่ที่ระดับเวลาในการแช่ 3 ระดับ (3, 4 และ 5 ชั่วโมง) มีอย่างน้อยสองระดับที่แตกต่างกัน

เมื่อกำหนดสมมติฐานเสร็จแล้วจะเริ่มกระบวนการการทดสอบทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์จากข้อมูลที่เก็บจากการทดลองในแต่ละปัจจัย แล้วจะปรากฏผลการวิเคราะห์เป็นค่า Sig. ของอิทธิพลหลักในแต่ละปัจจัย (Main effect) และ อิทธิพลร่วม (Interaction effect) หลังจากนั้นจะพิจารณาค่า Sig. ในการเลือกสมมติฐานเพื่อสรุปผลการทดลอง

โดยในการทดสอบแบบความแปรปรวนสองทางจะมีแนวทางและขั้นตอนในการดำเนินการวิเคราะห์ดังภาพที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.20 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์แบบความแปรปรวนสองทาง (Two-way Analysis of variance, 2-way ANOVA) (จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ, 2560)

จากภาพที่ 3.19 หลังจากโปรแกรม SPSS วิเคราะห์ค่า Sig. ออกมาแล้วจะเริ่มพิจารณาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย (Interaction effect) ถ้าหากค่า Sig. > 0.05 แสดงว่ายอมรับ H_0 และจะสรุปว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย และสามารถนำค่า Sig. จากการวิเคราะห์แบบความแปรปรวนสองทางมาพิจารณาอิทธิพลหลัก (main effect) ในแต่ละปัจจัยได้ทันที

แต่หากโปรแกรม SPSS วิเคราะห์ค่า Sig. ≤ 0.05 แสดงว่ายอบรับ H_a และจะสรุปว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย หลังจากนั้นจะยุติการดูผลจากการทดสอบจากการวิเคราะห์แบบความแปรปรวนสองทาง แล้วจะมาพิจารณาที่ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (Test of Equality of Error Variance) โดยมีสมมติฐานดังฐานดังนี้

H_0: ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากัน

H_a: ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เท่ากัน

ในกรณีที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากันจะทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลหลัก (Main effect) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ทีละปัจจัย

และในกรณีที่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เท่ากันจะทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลหลัก (Main effect) ด้วยวิธี Simple main effect test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การกำหนดสมมติฐานเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคและการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค

ในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยตัวแปรต้นคือชนิดของข้าว และตัวแปรตามคือการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทาน โดยสามารถกำหนดสมมติฐานได้ดังนี้

H_0: การตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานของข้าวทั้ง 3 ชนิด (ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ข้าวนึ่ง และข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ) เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน

H_a: การตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานของข้าวทั้ง 3 ชนิด (ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ข้าวนึ่ง และข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ) เป็นระยะเวลา 2ชั่วโมง มีชนิดขิงข้าวอย่างน้อยสองชนิดที่แตกต่างกัน

และในการทดสอบพื้นที่ใต้กราฟโดยกำหนดให้ตัวแปรตามคือพื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทาน โดยสามารถกำหนดสมมติฐานได้ดังนี้

H_0: พื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานของข้าวทั้ง 3 ชนิด (ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ข้าวนึ่ง และข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ) เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน

H_a: พื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานของข้าวทั้ง 3 ชนิด (ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ข้าวนึ่ง และข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ) เป็นระยะเวลา 2ชั่วโมง มีชนิดขิงข้าวอย่างน้อยสองชนิดที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

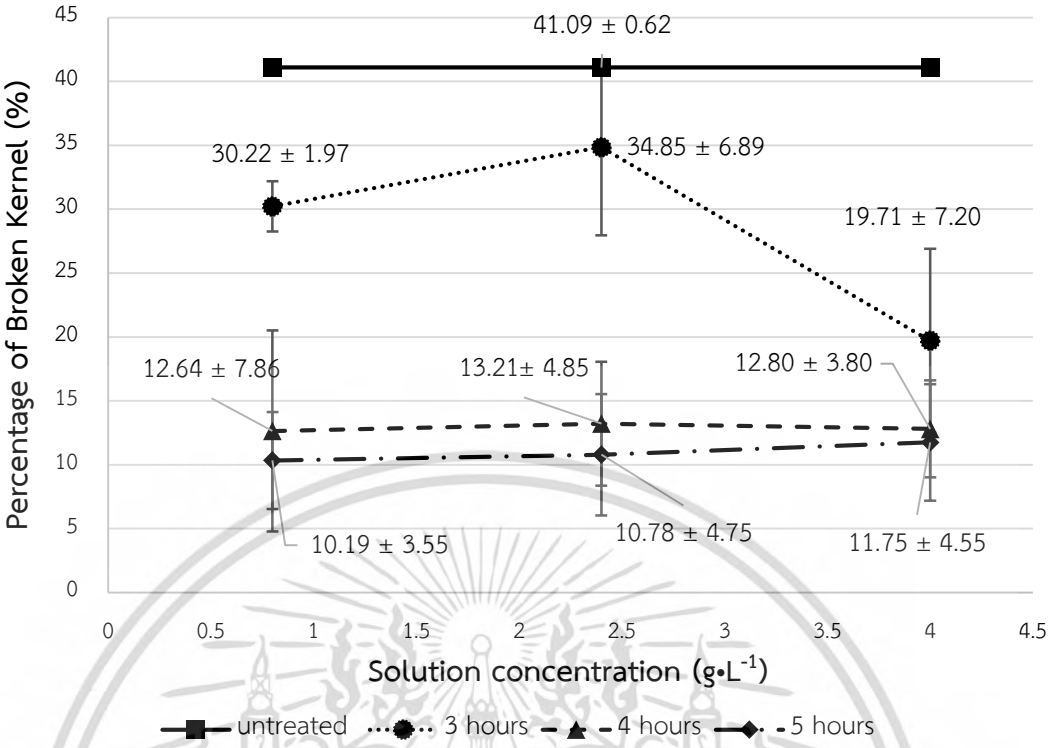
บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะพูดถึงผลการทดลองของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค ที่สภาวะแตกต่างกันในแต่ละปัจจัยต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว และ ปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบ ตลอดจนผลของการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดหลังจากรับประทานข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค เมื่อเทียบกับข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทำนึ่ง และข้าวจากการเก็บข้อมูลจากการดำเนินการวิจัยในบทที่ 3 โดยจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน 1.) การศึกษาระยะเวลาและความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว 2.) การศึกษาระยะเวลาและความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหุงสุก 3.) การศึกษาการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวตัวอย่าง แสดงในหัวข้อย่อยที่ 4.1-4.3 ตามลำดับ

4.1 ผลของการศึกษาระดับเวลาและความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว

จากการทดลองและการทดสอบทางสถิติแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (2-way Analysis of variance, 2-way ANOVA) แสดงดังภาคผนวก ง.1 พบว่าค่า Sig. ของอิทธิพลร่วม (Interaction effect) เท่ากับ 0.012 ดังนั้นจึงสรุปผลตามสมมติฐานรอง (H_A, Alternative Hypothesis) ได้ว่าปัจจัยทั้งสองทางมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันระหว่างปัจจัยระยะเวลาในการแช่ (Soaking time) กับปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ (Concentration's solution) ต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว เมื่อดูค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (Test of Equality of Error Variance) ที่แสดงดังตาราง ง.2 ในภาคผนวก ค่า Sig.=0.621 ดังนั้นจึงสรุปผลตามสมมติฐานหลัก (H_0, Null Hypothesis) ได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเท่ากัน จึงอธิบายผลการทดลองของอิทธิพลหลัก (Main effect) ของแต่ละปัจจัยด้วยวิธี Simple main effect test ซึ่งประกอบไปด้วย 1.) ปัจจัยระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับความเข้มข้นของสารละลายต่อเปอร์เซ็นแตกหักของเมล็ดข้าว และ 2.) ปัจจัยระดับความเข้มข้นของสารละลายในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกต่อเปอร์เซ็นแตกหักของเมล็ดข้าว โดยจะแสดงดังหัวข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 ตามลำดับ และภาพรวมของผลการทดลองที่ 4.1 จะแสดงเป็นกราฟดังภาพที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการแช่ (Soaking time) และความเข้มข้นของสารละลาย (Solution concentration) ที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว (Percentage of Broken Kernel, %)

4.1.1 ผลของระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับความเข้มข้นของสารละลายต่อเปอร์เซ็นแตกหักของเมล็ดข้าว

ในส่วนของผลอิทธิพลหลัก (Main effect) ของปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับของปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆ แสดงในภาคผนวกตาราง ง.3 โดยในระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือก 3 ชั่วโมง (Sig.=0.00) และ 4 ชั่วโมง (Sig=0.00) ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว แต่ที่ระยะเวลาในการแช่เวลา 5 ชั่วโมง (Sig=0.05) ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวที่ระดับนัยสาคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05

โดยเมื่อเปรียบเทียบระดับเวลาในการแช่ 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง มีความแตกต่างในเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว แต่ที่ระยะเวลาในการแช่ในชั่วโมงที่ 4 ไม่มีความแตกต่างจากชั่วโมงที่ 5 ที่ระดับนัยสาคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 โดยการแตกหักของเมล็ดข้าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการแช่ข้าวเปลือกมากขึ้น จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการแช่ข้าวเปลือก 3 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวสูงสุด และเวลาในการแช่ข้าวเปลือก 5 ชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวต่ำที่สุดที่ โดยแสดงตารางการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวที่แตกต่างกันดังตารางที่ 4.1 และ ตาราง ง.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกที่แตกต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว

ระยะเวลาใน	ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อลิตร)		
การแช่ข้าว	0.8	2.4	4.0
3 ชั่วโมง	30.22±12.49[a]	34.73±9.75[a]	19.71±10.16[a]
4 ชั่วโมง	12.64±7.89[b]	13.22±6.58[b]	12.80±5.36[ab]
5 ชั่วโมง	10.34±3.79[b]	10.78±4.75[b]	11.75±4.55[b]

*ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

4.1.2 ผลของระดับความเข้มข้นของสารละลายในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกต่อเปอร์เซ็นแตกหักของเมล็ดข้าว

ในส่วนของของอิทธิพลหลัก (Main effect) ของปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับของปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก แสดงดังตารางในภาคผนวก ง.4 พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ 0.8 กรัมต่อลิตร (Sig. =0.00) มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว แต่ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ 2.4 กรัมต่อลิตร (Sig. =0.985) และ 4.0 กรัมต่อลิตร (Sig. =0.899) ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 โดยแสดงตารางการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่แตกต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว

ระดับความเข้มข้นของสารละลาย	ระยะเวลาในการแช่ข้าว (ชั่วโมง)		
กรดคลอโรจินิค (กรัมต่อลิตร)	3	4	5
0.8	30.22±12.49[a]	12.64±7.89[a]	10.34±3.79[a]
2.4	34.73±9.75[a]	13.22±6.58[a]	10.78±4.75[a]
4.0	19.71±10.16[b]	12.80±5.36[a]	11.75±4.55[a]

*ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

จากตารางที่ 4.2 หากพิจารณาแค่ที่สภาวะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกที่ 3 ชั่วโมง จะพบว่าความเข้มข้นมีผลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 โดยที่ข้าวเปลือกที่แช่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายที่มีระดับความเข้มข้น 4.0 กรัมต่อลิตร มีค่าเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวแตกต่างจากข้าวที่แช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.8 และ 2.4 กรัมต่อลิตร

แต่ในภาพรวมของการทดลองที่ 4.1.1 และ 4.1.2 โดยวิเคราะห์จากตาราง ง.1 ในบทภาคผนวก พบว่าระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือก (Sig.=0.00) มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว แต่ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก (Sig=0.056) ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว

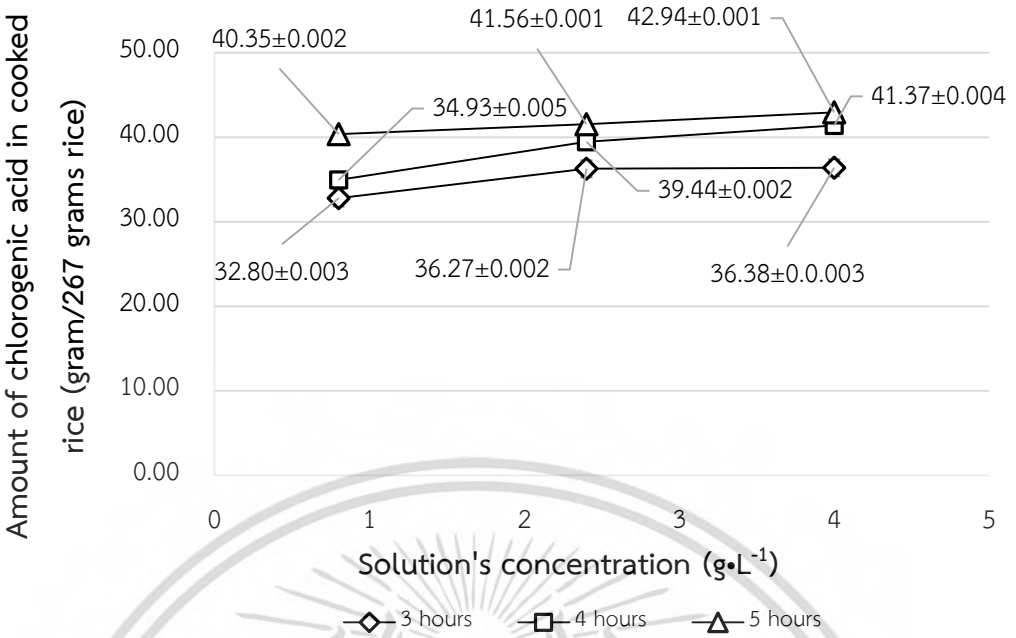
4.2 ผลของการศึกษาระดับเวลาและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก

จากการทดลองและการทดสอบทางสถิติแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (2-way ANOVA) แสดงดังภาคผนวก ตาราง ง.7 พบว่าค่า Sig. ของอิทธิพลร่วม (Interaction effect) มีค่าเท่ากับ 0.00 ดังนั้นจึงสรุปผลตามสมมติฐานรอง (H_A, Alternative Hypothesis) ได้ว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันระหว่างปัจจัยระยะเวลาในการแช่ (Soaking time) กับปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ (Concentration's solution) ต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก และเมื่อดูค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (Test of Equality of Error Variance) จากตาราง ง.8 ในภาคผนวก พบว่ามีค่า Sig.=0.138 ดังนั้นจึงสรุปผลตามสมมติฐานหลัก (H_0, Null Hypothesis) ได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของความแปรปรวนเท่ามีค่าเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จึงอธิบายผลการทดลองของอิทธิพลหลัก (Main effect) ของแต่ละปัจจัยด้วยวิธี Simple main effect test ซึ่งประกอบไปด้วย 1.) ปัจจัยระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับความเข้มข้นของสารละลายต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก และ 2.) ปัจจัยระดับความเข้มข้นของสารละลายในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก และภาพรวมของผลการทดลองที่ 4.2 จะแสดงเป็นกราฟดังภาพที่ 4.2

โดยในการทดสอบนี้จะใช้ปริมาณข้าวที่คนปกติรับประทานเฉลี่ยใน 1 วัน จะมีค่าประมาณ 267 กรัม จึงเทียบปริมาณกรดคลอโรจินิคในปริมาณข้าวที่รับประทานภายใน 1 วัน (267 กรัม) เพื่อที่จะได้เทียบว่าปริมาณกรดคลอโรจินิคในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคสำหรับ 1 วันมีปริมาณมากไปหรือน้อยไปเมื่อนำไปเทียบกับปริมาณแนะนำของกรดคลอโรจินิคที่ร่างกายควรได้รับ 120 มิลลิกรัมในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา (Soaking time) และความเข้มข้นของสารละลาย (Solution's concentration) ที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่อความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในเมล็ดข้าวหุง 267 กรัม (ปริมาณเฉลี่ยที่ต้องรับประทานข้าวใน 1 วัน)

4.2.1 ผลของระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับความเข้มข้นของสารละลายต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่พบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก

ผลการทดลองพบว่าอิทธิพลหลัก (Main effect) ของปัจจัยระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก แสดงในภาคผนวกตาราง ง.9 พบว่าปัจจัยระยะเวลาในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกมีความแตกต่างกัน (Sig=0.00) ต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่พบในข้าว 267 กรัม โดยความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจะแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารละลายกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหุงสุก 267 กรัม

ระยะเวลาในการแช่ข้าว	ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อลิตร)		
	0.8	2.4	4.0
3 ชั่วโมง	32.80±0.15^{c}	36.27±0.10^{c}	36.38±0.10^{c}
4 ชั่วโมง	34.93±0.20^{b}	39.44±0.15^{b}	41.37±0.05^{b}
5 ชั่วโมง	40.35±0.20^{a}	41.56±0.20^{a}	42.94±0.15^{a}

*ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 ปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวหุงสุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับเวลาที่ใช้ในการแช่ในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ โดยเปอร์เซ็นต์แตกหัวของเมล็ดข้าวทั้ง 3 ระดับมีความแตกต่างอย่างชัดเจนในทุกระดับเวลา

4.2.2 ผลของระดับความเข้มข้นของสารละลายในแต่ละระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่พบในข้าว

และเมื่อวิเคราะห์อิทธิพลหลัก (Main effect) ของปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกในแต่ละระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกมีความแตกต่าง (Sig=0.00) ในปริมาณกรดคลอโรจินิคที่พบในเมล็ดข้าวหุงสุก 267 กรัม ในทุกระดับที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่แตกต่างกันต่อปริมาณสารละลายกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหุงสุก 267 กรัม

ระดับความเข้มข้นของสารละลาย	ระยะเวลาในการแช่ข้าว (ชั่วโมง)		
กรดคลอโรจินิค (กรัมต่อลิตร)	3	4	5
0.8	32.80±0.15^{c}	34.93±0.15^{c}	40.35±0.20^{c}
2.4	36.27±0.10^{b}	39.44±0.15^{b}	41.56±0.20^{b}
4.0	36.38±0.10^{a}	41.37±0.05^{a}	42.94±0.15^{a}

*ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

ในภาพรวม ทั้งปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกส่งผลต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่และระดับเวลาที่ใช้ในการแช่ที่สูงขึ้น และค่าสูงสุดที่สามารถตรวจพบได้มีค่าเท่ากับ 42.84 กรัม ต่อ ข้าว 267 กรัม (ปริมาณเฉลี่ยที่ต้องรับประทานภายใน 1 วัน) ที่ได้จากสภาวะในการทดลองที่ระดับความเข้มข้นในสารละลายที่ใช้แช่ในการแช่ข้าวเปลือกเท่ากับ 4 กรัมต่อลิตร และระดับเวลาที่ในการแช่ข้าวเปลือกเท่ากับ 5 ชั่วโมง

4.3 ผลการศึกษาการหาค่าดัชนีน้ำตาลและการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด

ในการศึกษาระดับน้ำตาลในเลือดที่ตอบสนองเมื่อรับประทานข้าวในแต่ละประเภทประกอบไปด้วย ข้าวที่มีกรดคลอโรจินิค ข้าวนึ่ง ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ และข้าวอ้างอิง เพื่อดูว่าข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคแตกต่างจากข้าวที่ไม่มีกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวอย่างไร เนื่องจากข้าวที่เสริมกรดคลอโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จินิคใช้วิธีการทำข้าวนึ่งในการเสริมกรดคลอโรจินิคเข้าไปในเมล็ดข้าวจึงทำให้ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคมีสถานะเป็นข้าวนึ่งด้วย

ดังนั้นการในการเปรียบเทียบผลของระดับน้ำตาลในเลือดที่ตอบสนองหลังรับประทานจึงควรเปรียบเทียบข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค (ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการนึ่งโดยใช้สารละลายกรดคลอโรจินิคที่มีความเข้มข้นในขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือกเท่ากับ 4.0 กรัมต่อลิตร และใช้เวลาในการแช่เท่ากับ 5 ชั่วโมง) กับข้าวนึ่ง (ข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการนึ่งโดยใช้น้ำธรรมดาในขั้นตอนการแช่ และใช้เวลาในการแช่เท่ากับ 5 ชั่วโมง) และเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ (ข้าวเปลือกที่ผ่านการสีและคัดขนาดเท่านั้น) เพื่อวิเคราะห์ว่าการเสริมกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวจะสามารถลดการตอบสนองของน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนได้เท่ามากหรือน้อยเพียงใด แล้วนำไปวิเคราะห์กับข้าวอ้างอิงเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลต่อไป

4.3.1 ผลของปัจจัยชนิดของข้าวต่อค่าเฉลี่ยการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

โดยในการทดสอบทางสถิติจะเป็นการวิเคราะห์แบบความแปรปรวนแบบทางเดียว (1-way Analysis of variance, 1-way ANOVA) ในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของปัจจัยชนิดของข้าว โดยแสดงดังกราฟ ง.13 ค่า Sig. ของปัจจัยเท่ากับ 0.018 ดังนั้นจึงสรุปผลตามสมมติฐานรอง (H_A, Alternative Hypothesis) ได้ว่าปัจจัยชนิดของข้าวมีความแตกต่างกันในค่าเฉลี่ยการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือด โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4.5 และแสดงในภาคผนวกตาราง ง.14

ตารางที่ 4.5 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดในข้าวแต่ละชนิด

ชนิดของข้าว			
ข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ	ข้าวนึ่ง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	ข้าวอ้างอิง
1.07 ± 0.72^{a}	1.23 ± 0.82^{ab}	1.35 ± 0.84^{bc}	0.93 ± 0.62^{c}

*ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

จะสังเกตุได้ว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการมีค่าเฉลี่ยการตอบสนองระดับน้ำตาลหลังรับประทานเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง สูงที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้าวนึ่งพบว่ามีค่าลดลงแต่ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แต่จะแตกต่างจากข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค (ข้าวที่มีกรดคลอโรจินิค) และ ข้าวนึ่ง (ข้าวที่ไม่มีกรดคลอโรจินิค) พบว่าข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคมีค่าเฉลี่ยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดน้อยกว่าข้าวนึ่ง แต่ไม่แตกต่างกันจากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05

เมื่อศึกษาภาพรวมของค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวแต่ละชนิดแล้วแล้ว จะเป็นการศึกษาการตอบสนองน้ำตาลในเลือดที่ช่วงเวลาต่างๆ หลังรับประทานเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยจะแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหลังรับประทานที่ช่วงเวลาต่างๆ หลังรับประทานเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4.6 และในภาคผนวก ตาราง ง.15-26

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานข้าวแต่ละประเภทในหน่วยมิลลิโมลต่อลิตร (mmol/L) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาหลังรับประทานข้าวตัวอย่าง (นาที)	ประเภทของข้าว			
	ข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ	ข้าวนึ่ง	ข้าวที่มีกรดคลอโรจินิค	ข้าวอ้างอิง
ค่าเริ่มต้น (Baseline)	0	0	0	0
15	0.96±0.28^{a}	0.62±0.37^{a}	0.83±0.58^{a}	0.69±0.20^{a}
30	1.83±0.17^{a}	1.81±0.59^{a}	1.71±0.79^{a}	1.40±0.22^{a}
45	2.43±0.52^{a}	2.21±0.47^{ab}	1.81±0.53^{bc}	1.49±0.55^{c}
60	1.72±0.71^{a}	1.5±0.40^{ab}	0.99±0.35^{bc}	0.90±0.70^{c}
90	0.9±0.57^{a}	0.7±0.66^{a}	0.74±0.45^{a}	0.83±0.68^{a}
120	0.26±0.22^{a}	0.57±0.61^{a}	0.35±0.30^{a}	0.32±0.38^{a}

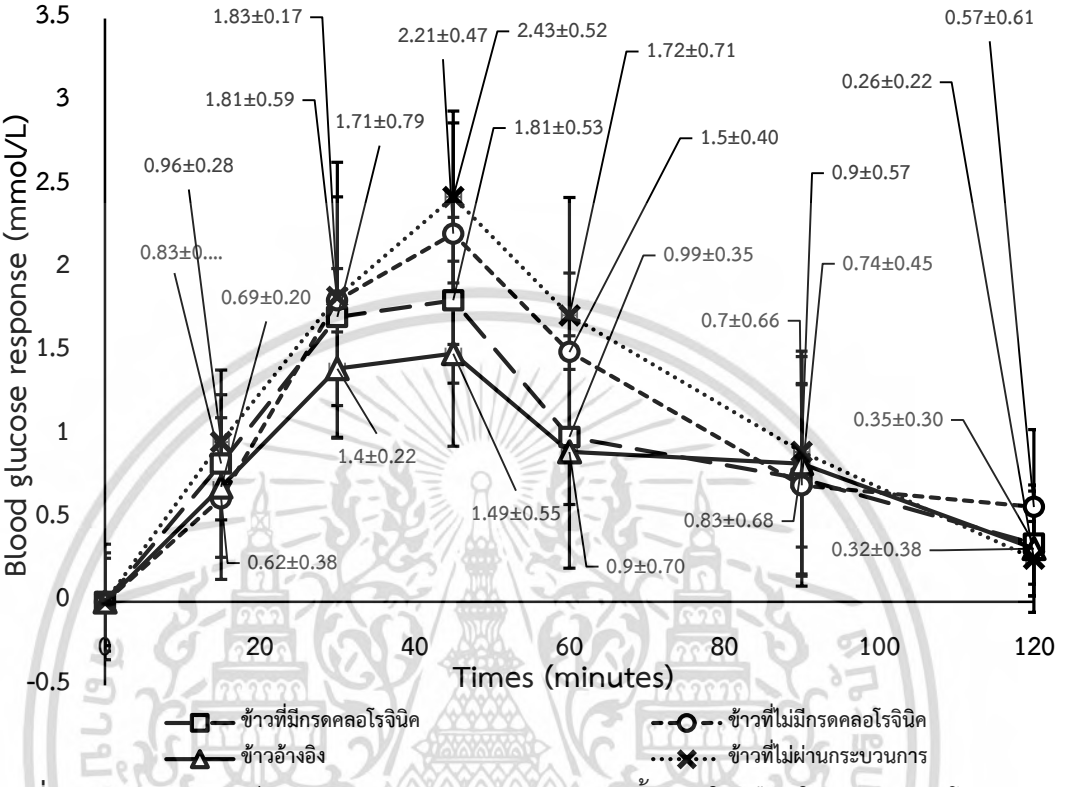
*ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

จากตารางที่ 4.6 พบว่าการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงและจะสูงที่สุดที่เวลา 45 นาทีหลังหลังรับประทาน หลังจากเวลา 45 นาทีหลังรับประทานอาหารแล้วการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดจะมีแนวโน้มลดลง โดยจะมีการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดต่ำที่สุดที่เวลา 120 นาทีหลังรับประทาน

ในด้านความแตกต่างของข้าวทั้ง 4 ชนิดที่เวลา 45 นาที และ 60 นาที มีความแตกต่างกันของการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงตารางดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง.19 และ ง.21 ในภาคผนวกตามลำดับ แต่ที่เวลา 15, 30, 90 และ 120 นาที ไม่มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงดังตาราง ง.16 ง.18 ง.23 ง.25 ในภาคผนวกตามลำดับ และแสดงความแตกต่างของข้าวแต่ละชนิดดังรูปที่ 4.3



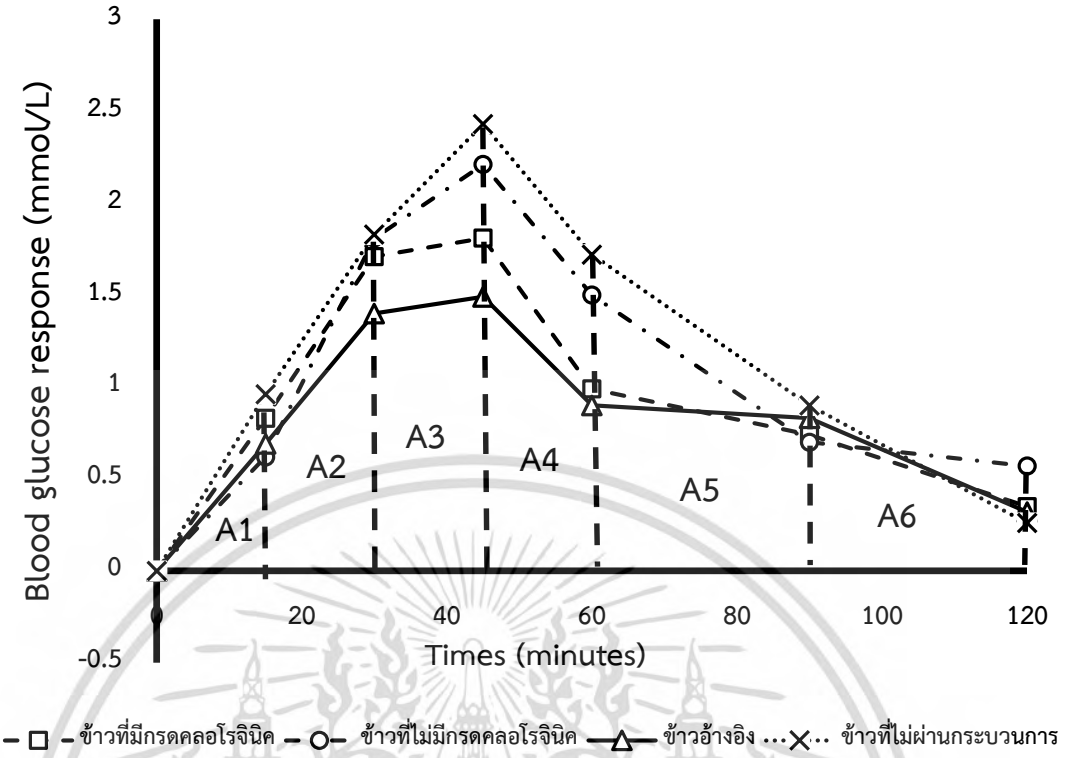
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดในหน่วยมิลลิโมลต่อลิตร (Blood glucose response, mmol/L) ต่อระยะเวลาหลังรับประทานข้าวตัวอย่าง (Times, minutes)

โดยสรุปแล้วข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการจะมีค่าการตอบสนองสูงที่สุดและต่ำที่สุดที่ 2.43±0.52 มิลลิโมลต่อลิตร และ 0.26±0.22 มิลลิโมลต่อลิตรตามลำดับ ในส่วนของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคและข้าวนึ่งจะมีค่าการตอบสนองสูงที่สุดที่ 2.21±0.47 มิลลิโมลต่อลิตร และ 1.81±0.53 ตามลำดับ และต่ำสุดที่ 0.57±0.61 และ 0.35±0.30 มิลลิโมลต่อลิตรตามลำดับ

4.3.2 พื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทั้ง 4 ชนิด

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าชนิดของข้าวแต่ละชนิดมีพื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดแตกต่างกัน (Sig=0.032) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงดังภาคผนวกตาราง ง.27 โดยตารางแสดงความแตกต่างจะแสดงดังตารางที่ 4.7 และตาราง ง.28 ในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 การแบ่งพื้นที่ใต้กราฟของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดในหน่วยมิลลิโมลต่อลิตร (Blood glucose response, mmol/L) ต่อระยะเวลาหลังรับประทานข้าวตัวอย่าง (Times, minutes)

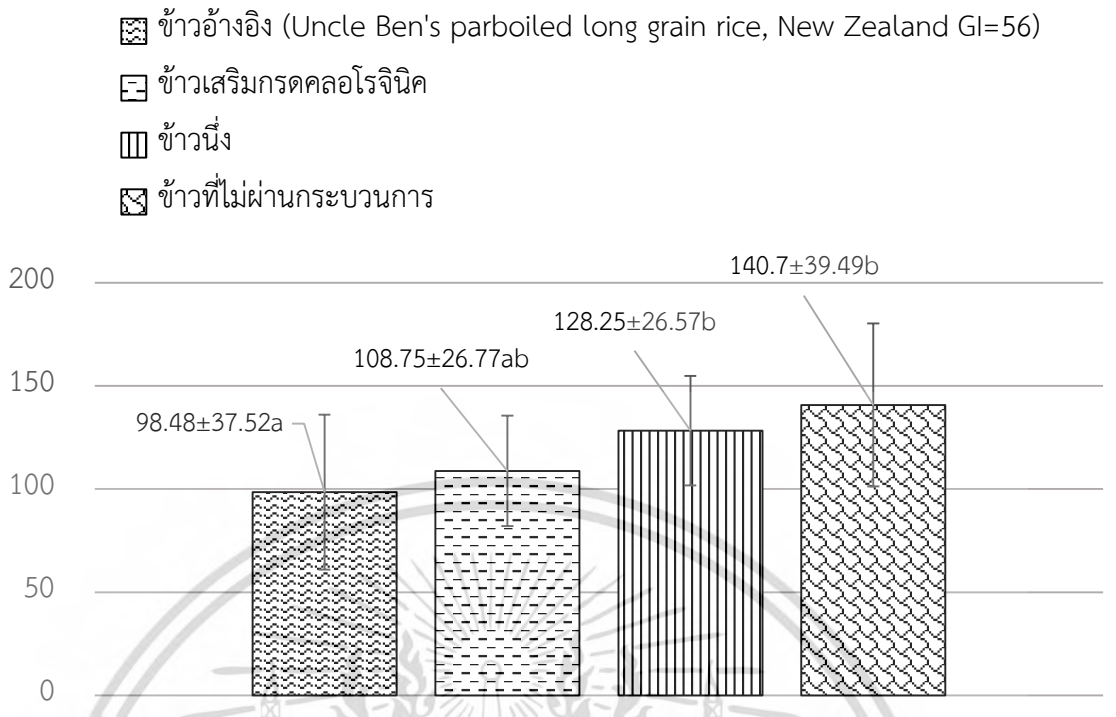
จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าชนิดของข้าวแต่ละชนิดมีพื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดแตกต่างกัน (Sig=0.032) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แสดงดังภาคผนวกตาราง ง.27 โดยตารางแสดงความแตกต่างจะแสดงดังตารางที่ 4.7 และตาราง ง.28 ในภาคผนวก

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองระดับน้ำตาลในกระแสเลือดในแต่ละชนิดของข้าว

ชนิดของข้าว			
ข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ	ข้าวนึ่ง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	ข้าวอ้างอิง
1.07±0.72a	1.23±0.82ab	1.35±0.84bc	0.93±0.62c

*ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 พื้นที่ใต้กราฟของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดต่อระยะเวลาหลังรับประทานข้าว ในข้าวในแต่ละประเภท

จากภาพที่ 4.5 พื้นที่ใต้กราฟของข้าวอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 98.48 ตารางหน่วย และมีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 56 หน่วย เมื่อนำพื้นที่ใต้กราฟของข้าวอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับข้าวประเภทต่างๆ แล้ว ค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวที่มีกรดคลอโรจินิคมีค่าเท่ากับ 62 หน่วย ค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวที่ไม่มีกรดคลอโรจินิคเท่ากับ 73 หน่วย และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการมีค่าเท่ากับ 80 หน่วย

ในกระบวนการศึกษาการผลิตข้าวดัชนีน้ำตาลต่ำโดยการเสริมกรดคลอโรจินิค เริ่มจากกระบวนการผลิตข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคเพื่อศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทดลองที่เหมาะสมที่สุด ตลอดจนศึกษาหาค่าดัชนีน้ำตาลที่เปลี่ยนไปหลังเสริมกรดคลอโรจินิคเข้าไปในเมล็ดข้าวจนได้ผลลัพธ์จากการศึกษาในหัวข้อการศึกษาต่างๆ จนได้ข้อสรุปแล้ว โดยจะแสดงในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลของการศึกษาเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวในสภาวะที่แตกต่างกันพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการแช่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวหลังสีที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 โดยการแตกหักมีแนวโน้มลดน้อยลงเมื่อระยะเวลาในการแช่ที่สูงขึ้น ในด้านของอิทธิพลความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่จะไม่มีส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักแต่อย่างไร เมื่อนำข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคไปเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทดลองพบว่ามีเปอร์เซ็นต์แตกหักน้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการในทุกสภาวะการทดลอง โดยพบว่าที่เวลาในการแช่ 5 ชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักน้อยที่สุดเท่ากับ 10.19±3.55% โดยน้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้ ผ่านกระบวนการทาข้าวนึ่งถึง 30.39±2.07%.

ในส่วนของปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบนั้นมีการแปรผันตามทั้งระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกและระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ กล่าวคือกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบมีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลาในการแช่ข้าวและระดับความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นในขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือก โดยจะสามารถตรวจพบได้มากที่สุดเท่ากับ 42.94±0.001 มิลลิกรัม ในข้าว 267 กรัม (ปริมาณเฉลี่ยในการรับประทานข้าวภายใน 1 วัน) ที่ได้จากสภาวะในการทดลองที่ระดับความเข้มข้นในสารละลายที่ใช้แช่ในการแช่ข้าวเปลือกเท่ากับ 4.0 กรัมต่อลิตร และระดับเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกเท่ากับ 5 ชั่วโมง เมื่อนำไปเทียบกับปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ควรบริโภคต่อ 1 วัน เท่ากับ 120 มิลลิกรัมต่อวัน พบว่าข้าวเสริมกรดยังมีปริมาณกรดคลอโรจินิคภายในเมล็ดข้าวไม่เพียงพอในต่อปริมาณที่แนะนำข้างต้น

อย่างไรก็ตามในส่วนของการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดระหว่างข้าวที่มีกรดคลอโรจินิคกับข้าวที่ไม่มีกรดคลอโรจินิคมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 ในด้านแนวโน้มของการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดในช่วงเวลา 0-45 นาที จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงและจะสูงที่สุดที่เวลา 45 นาที หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนคงที่ โดยข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการมีค่าการตอบสนองของระดับน้ำตาลสูงที่สุดเท่ากับ 2.43±0.52 มิลลิโมลต่อลิตร และข้าวที่มีกรดคลอโรจินิคมีค่าการตอบสนองของระดับน้ำตาลสูงที่สุดเท่ากับ 2.21±0.47 มิลลิโมลต่อลิตร และข้าวที่ไม่มีกรดคลอโรจินิค 1.81±0.53 มิลลิโมลต่อลิตร

ในด้านของดัชนีน้ำตาลพบว่าข้าวที่มีกรดคลอโรจินิคมีค่าดัชนีน้ำตาลน้อยกว่าข้าวที่ไม่มีกรดคลอโรจินิคอยู่ 11 ค่า และยังมีค่าน้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการถึง 18 ค่า โดยค่าดัชนีของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคมีค่าเท่ากับ 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในกระบวนการทำข้าวนึ่งที่แช่ข้าวเปลือกด้วยความร้อน 60 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาและความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกมีผลต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบ ในด้านของเวลาที่ใช้แช่ข้าวเปลือกนั้นหากแช่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง ในขั้นตอนการสีจะทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์แตกหักสูงกว่าที่เวลา 3 ชั่วโมง แต่หากแช่เกินกว่า 5 ชั่วโมงจะทำให้ข้าวเปลือกบวมและแตกออกจากเปลือกในระหว่างขั้นตอนการแช่ ดังนั้นจึงไม่สามารถปรับระดับเวลาในการแช่ให้อยู่นอกช่วง 3-5 ชั่วโมงเพื่อเพิ่มแนวโน้มให้กรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวมีปริมาณมากขึ้นได้ได้ แต่จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์แตกหัก หากใช้สารละลายในการแช่ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 4.0 กรัมต่อลิตร ก็จะไม่ทำให้ข้าวเปลือกแตกหักมากขึ้น และมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้ปริมาณกรดคลอโรจินิคที่พบในเมล็ดข้าวสูงขึ้นอีกด้วย

ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติมคือการศึกษาในเรื่องการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยเพื่อเป็นการวัดคุณภาพในอีกด้านหนึ่งของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคที่ผลิตออกมาในเรื่องของความแข็งของข้าว รวมไปถึงการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วย และการศึกษากับข้าวพันธุ์อื่นๆ เพื่อศึกษาในการทำข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคในข้าวประเภทอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ. 2560. สถิติเพื่อการวิจัย. กรุงเทพ:คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2560. ประเภทข้าว. [Online]. สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2560 จาก : http://www.thairice.org/html/aboutrice/about_rice2.htm

วิกิพีเดีย สารานุกรม. 2560. เบาหวาน. [Online]. สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2560 จาก : https://th.wikipedia.org/wiki/เบาหวาน.

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. 2560. คุณภาพข้าว. [Online]. สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2560 จาก : http://www.ricethailand.go.th/Rkb/postharvest/index.php-file=content.php&id=6.htm

หาหมอ แหล่งรวมข้อมูลสุขภาพ โรงพยาบาล และแพทย์. 2557. เบาหวาน (Diabetes mellitus). [Online]. สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2560 จาก : http://www.haamor.com/th/เบาหวาน/

อกนิษฐ์ ชุมวิสูตร. 2558. การเพิ่มคาเทชินในเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทาข้าวนึ่ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กรมการข้าว. 2561. องค์ความรู้เรื่องข้าว: ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากข้าว. [Online]. สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2560 จาก : http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=6.htm

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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. Araullo, E.V., De Pauda, D.B., Graham, M., 1976.

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

Bandyopadhyay, S., Roy, N.C., 1978. Semiempirical correlation for prediction of

Bello, M.O., Tolaba, M.P., Suarez, C., 2004. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. LWT – Food Science and Technology 37 (8), 811–816.

Bello, M.O., Tolaba, M.P., Suarez, C., 2007. Water absorption and starch gelatinization in whole rice grain during soaking. LWT – Food Science and Technology 40 (2), 313–318.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bhattacharya, K.R., 2004. Parboiling of rice. In: Champagne, E.T. (Ed.), Rice Chemistry and Technology, third ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota, pp. 329–404.

Bhattacherjee, A., Datta A., 2015. Mechanism of antiglycating properties of syringic and chlorogenic acids in in vitro glycation system. Food Research International 77 (3), 540-548

Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D., Lilly, A.E., 1990. Food Engineering Operations, third ed. Applied Science, London.

Čolović, M.B., Krstić, D.Z., Lazarević-Pašti, T.D., Bondžić, A.M., Vasić, V.M., 2013. Acetylcholinesterase Inhibitors: Pharmacology and Toxicology. Curr Neuropharmacol 11 (3), 315-335

Derycke, V., 2007. Parboiling of Rice: Changes in Starch and Protein and their Relation to Cooking Properties. Katholiek University, Leuven, Belgium.

Engles, C., Hendrickx, M., De Samtlax, S., De Gryze, I., Tobback, P., 1986. Modelling water diffusion during long-grain rice soaking. Journal of Food Engineering 5, 55–73.

Fitzgerald, M.A., 2004. Starch. In: Champagne, E.T. (Ed.), Rice: Chemistry and

Glycemic index foundation. 2017. What is GI [Online]. Available at: https://www.gisymbol.com/about-glycemic-index/. Accessed on july 7, 2018

Gunaratne, A., Kao, W., Ratnayaka, J., Collado, L., Corke, H., 2013. Effect of parboiling on the formation of resistant starch, digestibility and functional properties of rice flour from different varieties grown in Sri Lanka. Journal of the Science of Food and Agricultural 93 (11), 2723-9

Hydration characteristics of paddy during parboiling. Journal of Food

K.R. Bhattacharya., 2004. Parboiling of rice, E.T., Champagne (Ed.), Rice Chemistry and Technology (third ed.), (pp. 329-404). Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc.

Kam, K., Arcot, J., Ward, 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 56 (3), 587-594.

Lidija Jakobek., 2015. Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. Journal of Food Chemistry 175, 556-567.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lü, J.M., Lin, P.H., Yao, Q., Chen, C., 2010. Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: experimental approaches and model systems. Journal of Cellular and Molecular Medicine 14 (4), 840-860.

Maori, L., Ezekiel, D., Joy Bilal., 2012. Prevalence of Diabetes in Zambuk General Hospital. Williams textbook of endocrinology (12th ed.). Philadelphia: Elsevier/Saunders. pp. 1371–1435. ISBN 978-1-4377-0324-5.

Maroulis, Z.B., 1996. Effective moisture diffusivity estimation from drying data. A comparison between various methods of analysis. Drying Technology 14 (7 and 8), 1543–1573.

Meng, S., Cao, J., Feng, Q., Peng, J., Hu, Y., 2013. Roles of Chlorogenic Acid on Regulating Glucose and Lipids Metabolism: A Review. Complementary and Alternative Medicine Volume 2013, Article ID 801457, 11 pages.
Minnesota.

Silanikove, N., Leitner, G., Merlin, U., 2015. The Interrelationships between Lactose Intolerance and the Modern Dairy Industry: Global Perspectives in Evolutional and Historical Backgrounds. Nutrients Volume 2015, pp.7312-7331. ISSN 2072-6643.

NotWith. 2012. UV visible spectum of chlorogenic acid. [Online]. Available at: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chlorogenic_acid_UV_vis_spectrum.png. Accessed on September 24, 2017

Pillaiyar, P., Mohandoss, R., 1981a. Cooking qualities of parboiled rices produced at low and high temperatures. Journal of the Science of Food and Agriculture 32 (5), 475–480.

Foster-Powell, K., Holt, S.H., Brand-Miller, J.C., 2002. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002[1,2]. American Society for Clinical Nutrition 76 (1), 5-56

Prakash Oli., Rachelle Ward., Benu Adhikari., A. John Mawson., Raju Adhikari., Tim Wess., Laura Pallas., Kathryn Spiers., David Paterson., PeterTorley., 2016. Synchrotron X-ray Fluorescence Microscopy study of the diffusion of iron, manganese, potassium and zinc in parboiled rice kernels. Journal of Food Science and Technology 71, 138-148.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Prakash Oli., Rachelle Ward., Benu Adhikari., Peter Torley., 2014. Parboiled rice: Understanding from a material science approach. Journal of Food Engineerinh 124, 173-183.

PubChem. 2004. Chlorogenic acid [Online]. Available at: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/chlor61 ogenic_acid#section=Top. Accessed on September 24, 2017

Puspitowati, S.,Driscoll, R.H., 2007. Effect of degree of gelatinization on therheology and rehydrationkinetics of instant rice produced by freeze drying. International Journal of Food Properties 10 (3), 445–453.

Roy, P., Orikasa, T., Okadome H., Nakamura N., Shiina T., 2011. Processing Conditions, Rice Properties, Health and Environment. International Journal of Environmental Research and Public Health 8, 1957-67 1976.

Sayar, S., Turhan, M., Gunasekaran, S., 2001. Analysis of chickpea soaking by simultaneous water transfer and water–starch reaction. Journal of Food Engineering 50, 91–98.

Senadeera, W., Bhandari, B.R., Young, G., Wijesinghe, B., 2003. Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. Journal of Food Engineering 58 (3), 277–283

Suzuki, K., Aki, M., Kubota, K., Hosaka, H., 1977. Studies on the cooking rate equations of rice. Journal of Food Science 42, 1545–1548.

Technology 13 (2), 91–98.

Technology, third ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul,

The University of Sydney. 2017. Glycemic Index. [Online]. Available at: http://www.glycemicindex.com/testing_research.php. Accessed on September 24, 2017.

Uzman, D., Ahbaz, F.S., 2000. Drying kinetics of hydrated and gelatinized corn starches in the presence of sucrose and sodium chloride. Journal of Food Science 65 (1), 115–122.

Watanabe, T., Arai, Y., Mitsui, Y., Kusaura, T., Okawa, W., Kajihara, Y., Saito, I., 2006. The blood pressure-lowering effect and safety of chlorogenic acid from green coffee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bean extract in essential hypertension. Clinical and Experimental Hypertension 5, 439-49

Wikipedia. 2014. Carbohydrate Digestion. [Online]. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbohydrate_digestion .Accessed on September 24, 2017.

Wikipedia. 2018. Diabetes mellitus. [Online]. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Diabetes_mellitus. Accessed on September 24, 2017.

World Health Organization. 2016. GLOBAL REPORT ON DIABETES. [Online]. Available at: http://www.who.int. Accessed on September 24, 2017.

World's Top Exports. 2017. Rice Exports by Country. [Online]. Available http://www.worldstopexports.com/rice- exports-3 country/. Accessed on September 24, 2017.

Zeleznak, K.J., Hoseney, R.C., (1987). The Glass transition in starch. American Association of Cereal Chemists 64 (2), 121-124

Zhu, F. (2017). Encapsulation and delivery of food ingredients using starch based systems. Journal of Food Chemistry 229, 542-552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว

ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ข้าวเปลือก (กรัม)	ข้าวกล้อง (กรัม)	ข้าวเต็มเมล็ด (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว
ข้าวปกติ	0	1	300	182.82	108.34	40.74
		2	300	179.64	105.19	41.44
		3	300	176.31	102.65	41.78
		4	300	183.48	109.71	40.21
		5	300	181.12	106.35	41.28
0.8	3	1	300	214.43	144.19	32.76
		2	300	218.70	154.81	29.21
		3	300	216.90	151.33	30.23
		4	300	212.08	145.67	31.31
		5	300	211.40	153.08	27.59
0.8	4	1	300	217.24	196.61	9.50
		2	300	221.35	205.15	7.32
		3	300	217.37	199.07	8.42
		4	300	214.04	157.45	26.44
		5	300	215.01	190.25	11.52
0.8	5	1	300	223.44	188.35	15.70
		2	300	219.29	192.18	12.36
		3	300	218.22	201.90	7.48
		4	300	216.72	195.46	9.81
		5	300	216.86	203.18	6.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ข้าวเปลือก (กรัม)	ข้าวกล้อง (กรัม)	ข้าวเต็มเมล็ด (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว
2.4	3	1	300	211.74	136.26	35.65
		2	300	211.83	118.05	44.27
		3	300	221.98	166.91	24.81
		4	300	213.67	139.42	34.75
		5	300	209.78	130.54	34.77
2.4	4	1	300	218.26	172.17	21.13
		2	300	220.27	200.49	8.98
		3	300	220.54	199.47	9.55
		4	300	219.70	190.66	13.22
		5	300	219.84	190.78	13.18
2.4	5	1	300	215.71	192.97	17.19
		2	300	215.67	173.83	7.84
		3	300	217.47	197.70	7.29
		4	300	216.26	190.46	14.57
		5	300	218.69	201.68	7.04
4.0	3	1	300	231.74	197.82	14.64
		2	300	228.15	197.90	13.26
		3	300	216.79	148.47	31.51
		4	300	214.12	172.17	19.59
		5	300	225.56	181.44	19.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ข้าวเปลือก (กรัม)	ข้าวกล้อง (กรัม)	ข้าวเต็มเมล็ด (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว
4.0	4	1	300	225.55	210.54	6.65
		2	300	223.51	189.91	15.03
		3	300	238.11	198.49	16.64
		4	300	229.05	200.09	12.64
		5	300	221.78	192.86	13.04
4.0	5	1	300	215.71	192.97	10.54
		2	300	215.67	173.83	19.40
		3	300	217.47	197.7	9.09
		4	300	216.26	190.46	11.93
		5	300	218.69	201.68	7.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหุงสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลปริมาณสารกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหุงสุก

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	เวลาที่ใช้ในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ความชื้น (% ฐานเปียก)	น้ำหนักข้าว (กรัม)	ปริมาณกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อข้าว 10 กรัม)	ปริมาณกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อเมล็ดข้าว 267 กรัม)
0.8	3	1	12.7	10	1.23	32.80
0.8	3	2	12.7	10	1.23	32.80
0.8	3	3	12.7	10	1.23	32.80
0.8	3	4	12.7	10	1.23	32.80
0.8	3	5	12.7	10	1.23	32.80
0.8	4	1	12.6	10	1.36	32.27
0.8	4	2	12.6	10	1.36	36.27
0.8	4	3	12.6	10	1.36	36.27
0.8	4	4	12.6	10	1.36	36.27
0.8	4	5	12.6	10	1.36	36.27

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	เวลาที่ใช้ในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ (ครั้งที่)	ความชื้น (% ฐานเปียก)	น้ำหนักข้าว (กรัม)	ปริมาณกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อข้าว 10 กรัม)	ปริมาณกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อเมล็ดข้าว 267 กรัม)
0.8	5	1	12.7	10	1.36	36.38
0.8	5	2	12.7	10	1.36	36.38
0.8	5	3	12.7	10	1.36	36.38
0.8	5	4	12.7	10	1.36	36.38
0.8	5	5	12.7	10	1.36	36.38
2.4	3	1	12.8	10	1.31	34.93
2.4	3	2	12.8	10	1.31	34.93
2.4	3	3	12.8	10	1.31	34.93
2.4	3	4	12.8	10	1.31	34.93
2.4	3	5	12.8	10	1.31	34.93

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	เวลาที่ใช้ในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ (ครั้งที่)	ความชื้น (% ฐานเปียก)	น้ำหนักข้าว (กรัม)	ปริมาณกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อข้าว 10 กรัม)	ปริมาณกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อเมล็ดข้าว 267 กรัม)
2.4	4	1	12.5	10	1.48	39.44
2.4	4	2	12.5	10	1.48	39.44
2.4	4	3	12.5	10	1.48	39.44
2.4	4	4	12.5	10	1.48	39.44
2.4	4	5	12.5	10	1.48	39.44
2.4	5	1	13.1	10	1.55	41.37
2.4	5	2	13.1	10	1.55	41.37
2.4	5	3	13.1	10	1.55	41.37
2.4	5	4	13.1	10	1.55	41.37
2.4	5	5	13.1	10	1.55	41.37

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	เวลาที่ใช้ในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ (ครั้งที่)	ความชื้น (% ฐานเปียก)	น้ำหนักข้าว (กรัม)	ปริมาณกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อข้าว 10 กรัม)	ปริมาณกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อเมล็ดข้าว 267 กรัม)
4.0	3	1	12.7	10	1.51	40.35
4.0	3	2	12.7	10	1.51	40.35
4.0	3	3	12.7	10	1.51	40.35
4.0	3	4	12.7	10	1.51	40.35
4.0	3	5	12.7	10	1.51	40.35
4.0	4	1	12.8	10	1.56	41.56
4.0	4	2	12.8	10	1.56	41.56
4.0	4	3	12.8	10	1.56	41.56
4.0	4	4	12.8	10	1.56	41.56
4.0	4	5	12.8	10	1.56	41.56

ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	เวลาที่ใช้ในการแช่ (ชั่วโมง)	ซ้ำ (ครั้งที่)	ความชื้น (% ฐานเปียก)	น้ำหนักข้าว (กรัม)	ปริมาณกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อข้าว 10 กรัม)	ปริมาณกรดคลอโรจินิค (กรัมต่อเมล็ดข้าว 267 กรัม)
4.0	5	1	12.8	10	1.61	42.94
4.0	5	2	12.8	10	1.61	42.94
4.0	5	3	12.8	10	1.61	42.94
4.0	5	4	12.8	10	1.61	42.94
4.0	5	5	12.8	10	1.61	42.94

ภาคผนวก ค.

ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวที่มีกรดคลอโรจินิค

ผู้เข้าร่วมทดลอง (คนที่)	เพศ	ระดับความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร)						
		ก่อนรับประทาน	หลังรับประทานข้าวตัวอย่างที่เวลา (นาที)					
			15	30	45	60	90	120
1	ชาย	5.2	5.4	6.2	6.6	6.2	5.7	5.4
2	ชาย	5.1	5.5	6.4	7.2	5.8	5.6	5.4
3	ชาย	5.2	5.5	5.7	6.2	5.8	6.5	5.8
4	ชาย	5.4	5.9	6.7	7.4	6.3	6.3	5.2
5	ชาย	5.0	5.1	6.1	7.1	5.9	5.0	5.6
6	หญิง	5.6	6.7	7.5	7.5	6.3	6.5	5.8
7	หญิง	5.2	6.4	7.6	6.3	6.9	5.9	5.8
8	หญิง	4.7	6.1	7.3	7.5	5.5	4.9	5.4
9	หญิง	4.8	6.4	7.1	6.5	6.0	6.2	4.8
10	หญิง	5.1	6.6	7.8	7.1	6.5	6.1	5.6

ตารางที่ ค.2 ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวที่ไม่มีกรดคลอโรจินิค

ผู้เข้าร่วมทดลอง (คนที่)	เพศ	ระดับความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร)						
		ก่อนรับประทาน	หลังรับประทานข้าวตัวอย่างที่เวลา (นาที)					
			15	30	45	60	90	120
1	ชาย	5.2	5.7	7.3	7.3	6.6	6.2	5.7
2	ชาย	5.5	6.4	7.3	7.8	7.0	6.4	6.2
3	ชาย	4.8	5.5	5.8	6.6	6.6	6.0	6.0
4	ชาย	5.1	6.2	6.4	7.5	6.9	7.0	6.4
5	ชาย	5.5	5.9	7.5	7.9	6.7	5.2	5.1
6	หญิง	4.8	5.1	6.3	7.1	5.9	5.0	5.5
7	หญิง	5.5	6.4	7.3	8.3	7.8	5.5	5.9
8	หญิง	5.1	5.4	6.3	6.2	6.8	6.3	6.5
9	หญิง	5.4	6.5	8.3	7.9	6.5	5.7	5.3
10	หญิง	5.6	5.6	8.1	8.0	6.7	6.2	5.6

ตารางที่ ค.3 ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ

ผู้เข้าร่วมทดลอง (คนที่)	เพศ	ระดับความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร)						
		ก่อนรับประทาน	หลังรับประทานข้าวตัวอย่างที่เวลา (นาที)					
			15	30	45	60	90	120
1	ชาย	5.0	5.9	7.0	7.5	8.4	6.6	5.6
2	ชาย	4.8	6.2	6.7	8.4	6.8	5.7	5.2
3	ชาย	5.9	6.6	7.5	7.7	6.7	5.5	5.9
4	ชาย	5.0	6.3	6.8	7.3	6.6	5.9	5.4
5	ชาย	5.2	6.1	7.2	8.1	6.9	6.5	5.5
6	หญิง	5.1	5.6	6.8	7.3	6.4	5.6	5.0
7	หญิง	5.5	6.5	7.3	7.6	6.3	5.9	5.5
8	หญิง	5.3	5.6	6.5	6.9	6.8	6.3	5.4
9	หญิง	4.9	6.5	7.5	8.1	7.3	6.5	5.6
10	หญิง	5.6	6.6	7.3	7.7	7.3	6.8	5.8

ตารางที่ ค.4 ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวอ้างอิง

ผู้เข้าร่วมทดลอง (คนที่)	เพศ	ระดับความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร)						
		ก่อนรับประทาน	หลังรับประทานข้าวตัวอย่างที่เวลา (นาที)					
			15	30	45	60	90	120
1	ชาย	5.0	5.6	6.5	6.8	7.0	6.3	5.7
2	ชาย	5.5	6.4	7.1	6.7	5.8	5.8	5.9
3	ชาย	5.5	5.9	6.9	6.8	5.5	5.2	5.5
4	ชาย	4.8	5.7	6.2	5.4	5.3	5.3	4.7
5	ชาย	5.6	6.4	6.8	7.5	5.9	6.2	6.4
6	หญิง	5.1	5.5	6.0	7.4	6.4	7.1	5.8
7	หญิง	5.3	6.1	6.9	6.0	7.2	7.0	5.0
8	หญิง	5.3	5.9	6.6	6.7	6.2	6.1	5.6
9	หญิง	4.8	5.4	6.3	6.8	6.1	5.5	4.9
10	หญิง	5.4	6.3	7.0	7.1	5.6	6.1	6.0

ตารางที่ ค.5 การตอบสนองของระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวที่มีกรดคลอโรจินิค

ผู้เข้าร่วมทดลอง (คนที่)	เพศ	ระดับความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในเลือดที่ตอบสนองหลังรับประทานข้าวตัวอย่าง (มิลลิโมลต่อลิตร)						
		ค่าเริ่มต้น (Baseline)	หลังรับประทานข้าวตัวอย่างที่เวลา (นาที)					
			15	30	45	60	90	120
1	ชาย	0.0	0.2	1.0	1.4	1.0	0.5	0.2
2	ชาย	0.0	0.4	1.3	2.1	0.7	0.5	0.3
3	ชาย	0.0	0.3	0.5	1.0	0.6	1.3	0.6
4	ชาย	0.0	0.5	1.3	2.0	0.9	0.9	-0.2
5	ชาย	0.0	0.1	1.1	2.1	0.9	0.0	0.6
6	หญิง	0.0	1.1	1.9	1.9	0.7	0.9	0.2
7	หญิง	0.0	1.2	2.4	1.1	1.7	0.7	0.6
8	หญิง	0.0	1.4	2.6	2.8	0.8	0.2	0.7
9	หญิง	0.0	1.6	2.3	1.7	1.2	1.4	0.0
10	หญิง	0.0	1.5	2.7	2.0	1.4	1.0	0.5

ตารางที่ ค.6 การตอบสนองของความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวที่ไม่มีกรดคลอโรจินิค

ผู้เข้าร่วมทดลอง (คนที่)	เพศ	ระดับความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในเลือดที่ตอบสนองหลังรับประทานข้าวตัวอย่าง (มิลลิโมลต่อลิตร)						
		ค่าเริ่มต้น (Baseline)	หลังรับประทานข้าวตัวอย่างที่เวลา (นาที)					
			15	30	45	60	90	120
1	ชาย	0.0	0.5	2.1	2.1	1.4	1.0	0.5
2	ชาย	0.0	1.4	2.3	2.8	2.0	1.4	1.2
3	ชาย	0.0	0.7	1.0	1.8	1.8	1.2	1.2
4	ชาย	0.0	1.6	1.8	2.9	2.3	2.4	1.8
5	ชาย	0.0	0.4	2.0	2.4	1.2	-0.3	-0.4
6	หญิง	0.0	0.7	1.9	2.7	1.5	0.6	1.1
7	หญิง	0.0	1.4	2.3	3.3	2.8	0.5	0.9
8	หญิง	0.0	0.3	1.2	1.1	1.7	1.2	1.4
9	หญิง	0.0	1.1	2.9	2.5	1.1	0.3	-0.1
10	หญิง	0.0	0.4	2.9	2.8	1.5	1.0	0.4

ตารางที่ ค.7 การตอบสนองของความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ

ผู้เข้าร่วมทดลอง (คนที่)	เพศ	ระดับความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในเลือดที่ตอบสนองหลังรับประทานข้าวตัวอย่าง (มิลลิโมลต่อลิตร)						
		ค่าเริ่มต้น (Baseline)	หลังรับประทานข้าวตัวอย่างที่เวลา (นาที)					
			15	30	45	60	90	120
1	ชาย	0.0	0.9	2.0	2.5	3.4	1.6	0.6
2	ชาย	0.0	1.4	1.9	3.6	2.0	0.9	0.4
3	ชาย	0.0	0.7	1.6	1.8	0.8	-0.4	0.0
4	ชาย	0.0	1.3	1.8	2.3	1.6	0.9	0.4
5	ชาย	0.0	0.9	2.0	2.9	1.7	1.3	0.3
6	หญิง	0.0	0.5	1.7	2.2	1.3	0.5	-0.1
7	หญิง	0.0	1.2	2.0	2.3	1.0	0.6	0.2
8	หญิง	0.0	0.7	1.6	2.0	1.9	1.4	0.5
9	หญิง	0.0	1.0	2.0	2.6	1.8	1.0	0.1
10	หญิง	0.0	1.0	1.7	2.1	1.7	1.2	0.2

ตารางที่ ค.8 การตอบสนองของความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานข้าวอ้างอิง

ผู้เข้าร่วมทดลอง (คนที่)	เพศ	ระดับความเข้มข้นของระดับน้ำตาลในเลือดที่ตอบสนองหลังรับประทานข้าวตัวอย่าง (มิลลิโมลต่อลิตร)						
		ค่าเริ่มต้น (Baseline)	หลังรับประทานข้าวตัวอย่างที่เวลา (นาที)					
			15	30	45	60	90	120
1	ชาย	0.0	0.6	1.5	1.8	2.0	1.3	0.7
2	ชาย	0.0	0.9	1.6	1.2	0.3	0.3	0.4
3	ชาย	0.0	0.4	1.4	1.3	0.0	-0.3	0.0
4	ชาย	0.0	0.9	1.4	0.6	0.5	0.5	-0.1
5	ชาย	0.0	0.8	1.2	1.9	0.3	0.6	0.8
6	หญิง	0.0	0.4	0.9	2.3	1.3	2.0	0.7
7	หญิง	0.0	0.8	1.6	0.7	1.9	1.7	-0.3
8	หญิง	0.0	0.6	1.3	1.4	0.9	0.8	0.3
9	หญิง	0.0	0.6	1.5	2.0	1.3	0.7	0.1
10	หญิง	0.0	0.9	1.6	1.7	0.5	0.7	0.6

ภาคผนวก ง.

การทดสอบทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลการทดสอบ ANOVA ของผลกระทบร่วม (Interaction effect) ของปัจจัยความเข้มข้น (Soaking time) และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก (Concentration) ต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว

ANOVA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3316.055[a]	8	414.507	14.414	.000
Intercept	13546.767	1	13546.767	471.078	.000
ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่	179.710	2	89.855	3.125	.056
ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่	2707.332	2	1353.666	47.073	.000
ความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่*ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ (Interaction effect)	429.013	4	107.253	3.730	.012
Error	1035.249	36	28.757		
Total	17898.071	45			
Corrected Total	4351.304	44			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 ผลการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลเปอร์เซ็นต์แตกหักของปัจจัยความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ (Levene's Test of Equality of Error Variances)

Levene's Test of Equality of Error Variances

F	df1	df2	Sig.
.643	8	36	.736

ตารางที่ ง.3 ผลการทดสอบอิทธิพลหลัก (Main effect) ของปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่จากวิธีการทดสอบด้วย Simple main effect test ต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
0.8 g/L	Contrast	1193.785	2	596.893	20.756	.000
	Error	1035.249	36	28.757		
2.4 g/L	Contrast	1755.427	2	877.713	30.522	.000
	Error	1035.249	36	28.757		
4.0 g/L	Contrast	187.133	2	93.567	3.254	.050
	Error	1035.249	36	28.757		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 ผลการทดสอบอิทธิพลหลัก (Main effect) ของปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกในทุกระดับเวลาในการแช่จากวิธีการทดสอบด้วย Simple main effect test ต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าว

ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
3 hours	Contrast	601.684	2	300.842	10.462	.000
	Error	1035.249	36	28.757		
4 hours	Contrast	.870	2	.435	.015	.985
	Error	1035.249	36	28.757		
5 hours	Contrast	6.169	2	3.084	.107	.899
	Error	1035.249	36	28.757		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แตกหักของมล็ดข้าวสำหรับปัจจัยเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกเทียบกับความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ด้วยวิธี LSD (Least significant difference) ด้วยวิธี Simple main effect test

ความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก	(I) ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก	(J) ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.[a]	95% Confidence Interval for Difference[a]	
						Lower Bound	Upper Bound
0.8 g/L	3 hours	4 hours	17.583*	3.392	.000	10.704	24.461
		5 hours	20.028*	3.392	.000	13.150	26.907
	4 hours	3 hours	-17.583*	3.392	.000	-24.461	-10.704
		5 hours	2.446	3.392	.475	-4.433	9.324
	5 hours	3 hours	-20.028*	3.392	.000	-26.907	-13.150
		4 hours	-2.446	3.392	.475	-9.324	4.433
2.4 g/L	3 hours	4 hours	21.639*	3.392	.000	14.760	28.517
		5 hours	24.065*	3.392	.000	17.187	30.944
	4 hours	3 hours	-21.639*	3.392	.000	-28.517	-14.760
		5 hours	2.426	3.392	.479	-4.452	9.305
	5 hours	3 hours	-24.065*	3.392	.000	-30.944	-17.187
		4 hours	-2.426	3.392	.479	-9.305	4.452
4.0 g/L	3 hours	4 hours	6.910*	3.392	.049	.032	13.789
		5 hours	7.964*	3.392	.024	1.085	14.842
	4 hours	3 hours	-6.910*	3.392	.049	-13.789	-.032
		5 hours	1.053	3.392	.758	-5.825	7.932
	5 hours	3 hours	-7.964*	3.392	.024	-14.842	-1.085
		4 hours	-1.053	3.392	.758	-7.932	5.825

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.6 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวสำหรับปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่ระยะเวลาต่างๆ ด้วยวิธี LSD (Least significant difference) ด้วยวิธี Simple main effect test

ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่	(I) ความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่	(J) ความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.[a]	95% Confidence Interval for Difference[a]	
						Lower Bound	Upper Bound
3 hours	0.8 g/L	2.4 g/L	-4.629	3.392	.181	-11.507	2.250
		4.0 g/L	10.509*	3.392	.004	3.630	17.387
	2.4 g/L	0.8 g/L	4.629	3.392	.181	-2.250	11.507
		4.0 g/L	15.138*	3.392	.000	8.259	22.016
	4.0 g/L	0.8 g/L	-10.509*	3.392	.004	-17.387	-3.630
		2.4 g/L	-15.138*	3.392	.000	-22.016	-8.259
4 hours	0.8 g/L	2.4 g/L	-.573	3.392	.867	-7.451	6.306
		4.0 g/L	-.164	3.392	.962	-7.042	6.715
	2.4 g/L	0.8 g/L	.573	3.392	.867	-6.306	7.451
		4.0 g/L	.409	3.392	.905	-6.469	7.288
	4.0 g/L	0.8 g/L	.164	3.392	.962	-6.715	7.042
		2.4 g/L	-.409	3.392	.905	-7.288	6.469
5 hours	0.8 g/L	2.4 g/L	-.592	3.392	.862	-7.471	6.286
		4.0 g/L	-1.556	3.392	.649	-8.434	5.322
	2.4 g/L	0.8 g/L	.592	3.392	.862	-6.286	7.471
		4.0 g/L	-.964	3.392	.778	-7.842	5.914
	4.0 g/L	0.8 g/L	1.556	3.392	.649	-5.322	8.434
		2.4 g/L	.964	3.392	.778	-5.914	7.842

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 ผลการทดสอบ ANOVA ของผลกระทบร่วม (Interaction effect) ของปัจจัยความเข้มข้น (Soaking time) และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือก (Concentration) ต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก

ANOVA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	481.500[a]	8	60.187	6.658E6	.000
Intercept	66525.953	1	66525.953	7.359E9	.000
ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่	314.122	2	157.061	1.737E7	.000
ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่	141.692	2	70.846	7.837E6	.000
ความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ * ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ (Interaction effect)	25.686	4	6.422	7.103E5	.000
Error	.000	36	9.040E-6		
Total	67007.453	45			
Corrected Total	481.500	44			

ตารางที่ ง.8 ผลการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกของปัจจัยความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ (Levene's Test of Equality of Error Variances)

Levene's Test of Equality of Error Variances

F	df1	df2	Sig.
1.678	8	36	.138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 ผลการทดสอบอิทธิพลหลัก (Main effect) ของปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆ ด้วยวิธีการทดสอบด้วย Simple main effect test ต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก

Concentration		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
0.8g/l	Contrast	41.447	2	20.724	2.292E6	.000
	Error	.000	36	9.040E-6		
2.4g/l	Contrast	109.107	2	54.554	6.035E6	.000
	Error	.000	36	9.040E-6		
4g/l	Contrast	16.823	2	8.412	9.305E5	.000
	Error	.000	36	9.040E-6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 ผลการทดสอบอิทธิพลหลัก (Main effect) ของปัจจัยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกต่างๆ จากวิธีการทดสอบด้วย Simple main effect test ต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุก

SoakingTime		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
3Hrs	Contrast	151.533	2	75.766	8.381E6	.000
	Error	.000	36	9.040E-6		
4Hrs	Contrast	70.843	2	35.422	3.918E6	.000
	Error	.000	36	9.040E-6		
5Hrs	Contrast	117.432	2	58.716	6.495E6	.000
	Error	.000	36	9.040E-6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.11 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกของปัจจัยเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกเทียบกับความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ด้วยวิธี LSD (Least significant difference) จากวิธี Simple main effect test

ความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่	(I) ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่	(J) ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.[a]	95% Confidence Interval for Difference[a]	
						Lower Bound	Upper Bound
0.8g/l	3Hrs	4Hrs	-3.470*	.002	.000	-3.474	-3.466
		5Hrs	-3.580*	.002	.000	-3.584	-3.576
	4Hrs	3Hrs	3.470*	.002	.000	3.466	3.474
		5Hrs	-.110*	.002	.000	-.114	-.106
	5Hrs	3Hrs	3.580*	.002	.000	3.576	3.584
		4Hrs	.110*	.002	.000	.106	.114
2.4g/l	3Hrs	4Hrs	-4.508*	.002	.000	-4.512	-4.504
		5Hrs	-6.436*	.002	.000	-6.440	-6.432
	4Hrs	3Hrs	4.508*	.002	.000	4.504	4.512
		5Hrs	-1.928*	.002	.000	-1.932	-1.924
	5Hrs	3Hrs	6.436*	.002	.000	6.432	6.440
		4Hrs	1.928*	.002	.000	1.924	1.932
4g/l	3Hrs	4Hrs	-1.207*	.002	.000	-1.211	-1.203
		5Hrs	-2.592*	.002	.000	-2.596	-2.588
	4Hrs	3Hrs	1.207*	.002	.000	1.203	1.211
		5Hrs	-1.385*	.002	.000	-1.389	-1.381
	5Hrs	3Hrs	2.592*	.002	.000	2.588	2.596
		4Hrs	1.385*	.002	.000	1.381	1.389

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.12 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบในข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคหุงสุกของปัจจัยความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกเทียบกับเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ด้วยวิธี LSD (Least significant difference) จากวิธี Simple main effect test

ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่	(I) ความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่	(J) ความเข้มข้นที่ใช้ในการแช่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.[a]	95% Confidence Interval for Difference[a]	
						Lower Bound	Upper Bound
3Hrs	0.8g/l	2.4g/l	-2.134*	.002	.000	-2.138	-2.131
		4g/l	-7.551*	.002	.000	-7.555	-7.547
	2.4g/l	0.8g/l	2.134*	.002	.000	2.131	2.138
		4g/l	-5.417*	.002	.000	-5.421	-5.413
	4g/l	0.8g/l	7.551*	.002	.000	7.547	7.555
		2.4g/l	5.417*	.002	.000	5.413	5.421
4Hrs	0.8g/l	2.4g/l	-3.172*	.002	.000	-3.176	-3.169
		4g/l	-5.288*	.002	.000	-5.292	-5.284
	2.4g/l	0.8g/l	3.172*	.002	.000	3.169	3.176
		4g/l	-2.116*	.002	.000	-2.120	-2.112
	4g/l	0.8g/l	5.288*	.002	.000	5.284	5.292
		2.4g/l	2.116*	.002	.000	2.112	2.120
5Hrs	0.8g/l	2.4g/l	-4.991*	.002	.000	-4.995	-4.987
		4g/l	-6.563*	.002	.000	-6.567	-6.560
	2.4g/l	0.8g/l	4.991*	.002	.000	4.987	4.995
		4g/l	-1.573*	.002	.000	-1.576	-1.569
	4g/l	0.8g/l	6.563*	.002	.000	6.560	6.567
		2.4g/l	1.573*	.002	.000	1.569	1.576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.13 ผลการทดสอบ (ANOVA) ของผลกระทบของปัจจัยชนิดของข้าวต่างๆ (Interaction effect) ต่อค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือด

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ชนิดของข้าว (Between Groups)	5.889	3	1.963	3.404	.018
Within Groups	136.110	236	.577		
Total	142.000	239			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.14 ผลการทดสอบทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงของผลกระทบของปัจจัยชนิดของข้าวต่างๆ ด้วยวิธี LSD (Least significant difference)

(I) ชนิดของข้าว	(J) ชนิดของข้าว	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	ข้าวนึ่ง	-.16333	.13865	.240	-.4365	.1098
	ข้าวอ้างอิง	.13333	.13865	.337	-.1398	.4065
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.27833*	.13865	.046	-.5515	-.0052
ข้าวนึ่ง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.16333	.13865	.240	-.1098	.4365
	ข้าวอ้างอิง	.29667*	.13865	.033	.0235	.5698
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.11500	.13865	.408	-.3882	.1582
ข้าวอ้างอิง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	-.13333	.13865	.337	-.4065	.1398
	ข้าวนึ่ง	-.29667*	.13865	.033	-.5698	-.0235
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.41167*	.13865	.003	-.6848	-.1385
ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.27833*	.13865	.046	.0052	.5515
	ข้าวนึ่ง	.11500	.13865	.408	-.1582	.3882
	ข้าวอ้างอิง	.41167*	.13865	.003	.1385	.6848

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.15 ผลการทดสอบ (ANOVA) ค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 15 นาทีหลังรับประทาน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.685	3	.228	1.514	.227
Within Groups	5.430	36	.151		
Total	6.115	39			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.16 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 15 นาทีหลังรับประทาน ด้วยวิธี LSD (Least significant difference)

(I) RiceType	(J) RiceType	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	ข้าวนึ่ง	.21000	.17369	.235	-.1423	.5623
	ข้าวอ้างอิง	.14000	.17369	.426	-.2123	.4923
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.13000	.17369	.459	-.4823	.2223
ข้าวนึ่ง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	-.21000	.17369	.235	-.5623	.1423
	ข้าวอ้างอิง	-.07000	.17369	.689	-.4223	.2823
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.34000	.17369	.058	-.6923	.0123
ข้าวอ้างอิง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	-.14000	.17369	.426	-.4923	.2123
	ข้าวนึ่ง	.07000	.17369	.689	-.2823	.4223
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.27000	.17369	.129	-.6223	.0823
ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.13000	.17369	.459	-.2223	.4823
	ข้าวนึ่ง	.34000	.17369	.058	-.0123	.6923
	ข้าวอ้างอิง	.27000	.17369	.129	-.0823	.6223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.17 ผลการทดสอบ (ANOVA) ค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 30 นาทีหลังรับประทาน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.185	3	.395	1.549	.219
Within Groups	9.179	36	.255		
Total	10.364	39			

ตารางที่ ง.18 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 30 นาทีหลังรับประทาน ด้วยวิธี LSD (Least significant difference)

(I) RiceType	(J) RiceType	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	ข้าวนึ่ง	-.10000	.22582	.661	-.5580	.3580
	ข้าวอ้างอิง	.31000	.22582	.178	-.1480	.7680
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.12000	.22582	.598	-.5780	.3380
ข้าวนึ่ง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.10000	.22582	.661	-.3580	.5580
	ข้าวอ้างอิง	.41000	.22582	.078	-.0480	.8680
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.02000	.22582	.930	-.4780	.4380
ข้าวอ้างอิง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	-.31000	.22582	.178	-.7680	.1480
	ข้าวนึ่ง	-.41000	.22582	.078	-.8680	.0480
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.43000	.22582	.065	-.8880	.0280
ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.12000	.22582	.598	-.3380	.5780
	ข้าวนึ่ง	.02000	.22582	.930	-.4380	.4780
	ข้าวอ้างอิง	.43000	.22582	.065	-.0280	.8880

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.19 ผลการทดสอบ (ANOVA) ค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 45 นาทีหลังรับประทาน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.243	3	1.748	6.481	.001
Within Groups	9.708	36	.270		
Total	14.951	39			

ตารางที่ ง.20 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 45 นาทีหลังรับประทาน ด้วยวิธี LSD (Least significant difference)

(I) RiceType	(J) RiceType	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	ข้าวนึ่ง	-.40000	.23224	.094	-.8710	.0710
	ข้าวอ้างอิง	.32000	.23224	.177	-.1510	.7910
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.62000*	.23224	.011	-1.0910	-.1490
ข้าวนึ่ง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.40000	.23224	.094	-.0710	.8710
	ข้าวอ้างอิง	.72000*	.23224	.004	.2490	1.1910
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.22000	.23224	.350	-.6910	.2510
ข้าวอ้างอิง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	-.32000	.23224	.177	-.7910	.1510
	ข้าวนึ่ง	-.72000*	.23224	.004	-1.1910	-.2490
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.94000*	.23224	.000	-1.4110	-.4690
ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.62000*	.23224	.011	.1490	1.0910
	ข้าวนึ่ง	.22000	.23224	.350	-.2510	.6910
	ข้าวอ้างอิง	.94000*	.23224	.000	.4690	1.4110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.21 ผลการทดสอบ (ANOVA) การตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 60 นาทีหลังรับประทาน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.705	3	1.568	4.950	.006
Within Groups	11.405	36	.317		
Total	16.110	39			

ตารางที่ ง.22 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 60 นาทีหลังรับประทาน ด้วยวิธี LSD (Least significant difference)

(I) RiceType	(J) RiceType	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	ข้าวนึ่ง	-.51000	.25172	.050	-1.0205	.0005
	ข้าวอ้างอิง	.09000	.25172	.723	-.4205	.6005
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.73000*	.25172	.006	-1.2405	-.2195
ข้าวนึ่ง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.51000	.25172	.050	-.0005	1.0205
	ข้าวอ้างอิง	.60000*	.25172	.023	.0895	1.1105
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.22000	.25172	.388	-.7305	.2905
ข้าวอ้างอิง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	-.09000	.25172	.723	-.6005	.4205
	ข้าวนึ่ง	-.60000*	.25172	.023	-1.1105	-.0895
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.82000*	.25172	.002	-1.3305	-.3095
ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.73000*	.25172	.006	.2195	1.2405
	ข้าวนึ่ง	.22000	.25172	.388	-.2905	.7305
	ข้าวอ้างอิง	.82000*	.25172	.002	.3095	1.3305

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.23 ผลการทดสอบ (ANOVA) ค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 90 นาทีหลังรับประทาน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.243	3	.081	.227	.877
Within Groups	12.845	36	.357		
Total	13.088	39			

ตารางที่ ง.24 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 90 นาทีหลังรับประทาน ด้วยวิธี LSD (Least significant difference)

(I) RiceType	(J) RiceType	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	ข้าวนึ่ง	.04000	.26714	.882	-.5018	.5818
	ข้าวอ้างอิง	-.09000	.26714	.738	-.6318	.4518
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.16000	.26714	.553	-.7018	.3818
ข้าวนึ่ง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	-.04000	.26714	.882	-.5818	.5018
	ข้าวอ้างอิง	-.13000	.26714	.629	-.6718	.4118
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.20000	.26714	.459	-.7418	.3418
ข้าวอ้างอิง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.09000	.26714	.738	-.4518	.6318
	ข้าวนึ่ง	.13000	.26714	.629	-.4118	.6718
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-.07000	.26714	.795	-.6118	.4718
ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.16000	.26714	.553	-.3818	.7018
	ข้าวนึ่ง	.20000	.26714	.459	-.3418	.7418
	ข้าวอ้างอิง	.07000	.26714	.795	-.4718	.6118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.25 ผลการทดสอบ (ANOVA) ค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 120 นาทีหลังรับประทาน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.549	3	.183	1.104	.360
Within Groups	5.966	36	.166		
Total	6.515	39			

ตารางที่ ง.26 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวชนิดต่างๆที่เวลา 120 นาทีหลังรับประทาน ด้วยวิธี LSD (Least significant difference)

(I) RiceType	(J) RiceType	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	ข้าวนึ่ง	-.22000	.18206	.235	-.5892	.1492
	ข้าวอ้างอิง	.03000	.18206	.870	-.3392	.3992
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	.09000	.18206	.624	-.2792	.4592
ข้าวนึ่ง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	.22000	.18206	.235	-.1492	.5892
	ข้าวอ้างอิง	.25000	.18206	.178	-.1192	.6192
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	.31000	.18206	.097	-.0592	.6792
ข้าวอ้างอิง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	-.03000	.18206	.870	-.3992	.3392
	ข้าวนึ่ง	-.25000	.18206	.178	-.6192	.1192
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	.06000	.18206	.744	-.3092	.4292
ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	-.09000	.18206	.624	-.4592	.2792
	ข้าวนึ่ง	-.31000	.18206	.097	-.6792	.0592
	ข้าวอ้างอิง	-.06000	.18206	.744	-.4292	.3092

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.27 ผลการทดสอบ (ANOVA) ของปัจจัยชนิดข้าวต่อค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10827.830	3	3609.277	3.288	.032
Within Groups	39513.656	36	1097.602		
Total	50341.486	39			

ตารางที่ ง.28 ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟของกราฟการตอบสนองของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดของข้าวแต่ละชนิด

(I) ชนิดของข้าว	(J) ชนิดของข้าว	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	ข้าวนึ่ง	-19.50000	14.81622	.196	-49.5487	10.5487
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-31.95000*	14.81622	.038	-61.9987	-1.9013
	ข้าวอ้างอิง	10.27500	14.81622	.492	-19.7737	40.3237
ข้าวนึ่ง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	19.50000	14.81622	.196	-10.5487	49.5487
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-12.45000	14.81622	.406	-42.4987	17.5987
	ข้าวอ้างอิง	29.77500	14.81622	.052	-.2737	59.8237
ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	31.95000*	14.81622	.038	1.9013	61.9987
	ข้าวนึ่ง	12.45000	14.81622	.406	-17.5987	42.4987
	ข้าวอ้างอิง	42.22500*	14.81622	.007	12.1763	72.2737
ข้าวอ้างอิง	ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค	-10.27500	14.81622	.492	-40.3237	19.7737
	ข้าวนึ่ง	-29.77500	14.81622	.052	-59.8237	.2737
	ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการ	-42.22500*	14.81622	.007	-72.2737	-12.1763

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ผลงานวิจัยที่รับการเผยแพร่

ธนพล พรมทอง และ ประสันต์ ชุ่มใจหาญ. 2018. “การเพิ่มกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19. กรุงเทพ. วันที่ 26-27 เมษายน 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561
Available online at www.tsae.asia

การเพิ่มกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง

Chlorogenic Acid – Fortified Rice by Parboiling Technique

ธนพล พรมทอง[1], ประสันต์ ชุ่มใจหาญ[1]*

Thanapol Phromthong[1], Prasan Choomjaihan[1]*

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 10520

[1]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

*Corresponding author:, Tel: +66-2-329-8337-8, Fax: +66-2-329-8336 E-mail: oat_thanapol@hotmail.com, prasan.ch@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

เทคนิคการทำข้าวนึ่งถูกนำมาใช้ในการเพิ่มกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าว โดยทดสอบที่สภาวะต่างกัน (อุณหภูมิในการแช่ข้าว 60°C เป็นเวลา 3, 4 และ5 h และแช่ข้าวเปลือก 300 g ด้วยสารละลายกรดคลอโรจินิคความเข้มข้น 0.8, 2.4 และ 4.0 g.L^{-1}) เพื่อหาปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวที่สภาวะต่างๆ รวมถึงเปอร์เซ็นต์แตกหักของข้าวนึ่งในแต่ละสภาวะ ผลทดสอบพบว่าเวลาในการแช่ที่มากขึ้นส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหลังสีทำให้เปอร์เซ็นต์แตกหักลดลงตามโดยมีที่ระยะเวลาการแช่ที่ 5 h มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักน้อยที่สุดเท่ากับ 10.94±0.70% แต่ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหลังสี ในส่วนของปริมาณกรดคลอโรจินิคที่วัดได้ในเมล็ดข้าวพบว่าที่ทั้งเวลาในการแช่และความเข้มข้นของสารละลายในการแช่ที่มากขึ้นแปรผันต่อปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวโดยพบปริมาณกรดคลอโรจินิคมากที่สุดที่ระยะเวลาในการแช่เท่ากับ 5 h และความเข้มข้นของสารละลายในการแช่เท่ากับ 4 g.L^{-1}

คำสำคัญ: ข้าวนึ่ง, กรดคลอโรจินิค, การปรับปรุงคุณภาพข้าว

Abstract

Parboiling was used as a technique for chlorogenic acid (CGA) fortification in brown rice. A range of parboiling conditions (i.e. 300 g of paddy soaking for 3, 4 and 5 hours and soaking in CGA solution with 0.8, 2.4 and 4.0g.L^{-1}'s concentration at 60 °C controlled temperature.) were investigated the uptaking of chlorogenic acid and the percentage of breakage kernel of the fortified rice after being milled. The results showed that the soaking time had a significant effect on the percentage of broken kernel. At 5h of soaking time gave the lowest fracture percentage of 10.94 ± 0.70%. However, the use of different concentration solutions was not effect on the percentage of broken kernel after milling. And the effects of soaking time and solution's concentration on amount of chlorogenic acid in rice kernel was measured and found that both soaking time and solution concentration increased the amount of chlorogenic acid in the rice. Inconclusion, at 5 h of soaking time and at 4.0 g.L^{-1} of solution concentration gave the highest amount of chlorogenic acid in rice kernel.

Keywords: Chlorogenic acid, Fortified rice, Parboiled rice

1 บทนำ

ในปี พ.ศ. 2555 โรคเบาหวาน (Diabetes) เป็นโรคที่ทำให้เกิดสาเหตุการตายสูงสุดอันดับ 8 ของโลก และ ในปี พ.ศ. 2556 พบว่าโรคเบาหวานเป็นเหตุให้มีประชากรในประเทศไทยเสียชีวิตสูงถึง 1.5 ถึง 5.1 ล้านคนต่อปี (วิกิพีเดีย สารานุกรม, 2560) และในปี พ.ศ. 2557 มีผู้ใหญ่เป็นโรคเบาหวานถึง 422 ล้านคนทั่วโลกและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุกปี (WHO, 2016). โรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับความบกพร่องในการเผาผลาญอาหารซึ่งมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นเวลานาน เบาหวานอาจก่อให้เกิดอาการแทรกซ้อนจำนวนมากทั้งเฉียบพลันและระยะยาว เช่น โรคหัวใจ โรคไตวาย จึงก่อให้เกิดความยากลำบากในการใช้ชีวิตและการรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมอาหาร การกินอาหารของผู้ป่วยโรคนี้จะต้องควบคุมน้ำหนัก รวมถึงต้องควบคุมปริมาณอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเพื่อไม่ให้น้ำตาลในเลือดสูงเกินไป (วิกิพีเดีย สารานุกรม, 2560) ดังนั้นจึงมักจะเห็นว่าผู้ป่วยโรคเบาหวานมักไม่มีเรี่ยวแรงเช่นคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติ อย่างไรก็ตามอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็น 1 ใน อาหาร 5 หมู่ที่ร่างกายของผู้ป่วยยังคงต้องการเช่นเดียวกัน โดย ปกติคาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยในส่วนต่างๆของร่างกายตั้งแต่ช่อง ปาก กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก โดยที่สัดส่วนการย่อยของ คาร์โบไฮเดรตของช่องปากเมื่อเทียบกับในลำไส้เล็กนั้นการย่อย ในปากเป็นการย่อยที่เล็กน้อยมาก โดยการย่อยคาร์โบไฮเดรต ของร่างกายให้เป็นน้ำตาลนั้นจะเกิดได้มากที่สุดที่ลำไส้เล็ก (Wikipedia, 2014) สำหรับประเทศไทยอาหารจำพวก คาร์โบไฮเดรตเป็นที่นิยมรับประทานในทุกมื้ออาหารคือข้าว หาก มีเทคโนโลยีหรือวิธีการใดที่ช่วยเหลือผู้ป่วยเบาหวานให้สามารถ รับประทานข้าวที่คาร์โบไฮเดรตชะลอการถูกย่อยให้เป็นน้ำตาล หรือ รับประทานข้าวที่สามารถช่วยลดระดับน้ำตาลในกระแส เลือดลง ผู้ป่วยโรคเบาหวานจึงน่าจะมีแนวโน้มลดการใช้ยา ควบคุมระดับน้ำตาลในเส้นเลือดลงได้

กรดคลอโรจินิคเป็นสารจำพวกโพลีฟีนอลที่สามารถละลาย น้ำได้ดี มีทำหน้าที่ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และทำหน้าที่เป็น ตัวต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระเพื่อไม่ให้ ไปจับกับโมเลกุลอื่น ส่งผลทำให้ลดโอกาสเป็นโรคมะเร็งได้ (PubChem, 2004) นอกจากนี้กรดคลอโรจินิคยังทำหน้าที่ช่วย ลดระดับน้ำตาลในเส้นเลือดและยังช่วยยับยั้งเอ็นไซม์ในการย่อย แป้ง (Starch) ช่วยในการเผาผลาญไขมันในร่างกายและทำเผา ผลาญคาร์โบไฮเดรตให้ดีขึ้นได้ (Meng et al., 2013) กรดคลอโร จินิคส่วนมากพบใน มันฝรั่ง มะเขือยาว ลูกพีช และลูกพรุน แต่ พบปริมาณมากที่สุดในเมล็ดกาแฟเขียว หากเป็นไปได้ในการให้ ผู้ป่วยรับประทานกรดคลอโรจินิคร่วมกับมื้ออาหาร (ข้าว) จึง น่าจะส่งผลให้เกิดการชะลอการย่อยของคาร์โบไฮเดรตของเมล็ด ข้าวได้ ซึ่งนำไปสู่แนวทางการควบคุมไม่ให้ระดับน้ำตาลในเส้น เลือดสูงขึ้น

กระบวนการทำข้าวนึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุง คุณภาพการสีข้าว โดยเป็นการทำให้เปอร์เซ็นต์การแตกหักของ เมล็ดข้าวมีค่าลดลง (K.R. Bhattacharya, 2004) ขั้นตอนการทำ ข้าวนึ่งเริ่มจากการแช่ข้าวเปลือกในน้ำตามด้วยการนึ่งข้าวเปลือก และสุดท้ายคือการอบข้าวเปลือก โดยขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือก ในน้ำ (สภาวะอุณหภูมิสูง) และการนึ่งข้าวเปลือกก่อให้เกิด กระบวนการเจลาติไนซ์ (Gelatinize) ของเม็ดสตาร์ช ทำให้ สตาร์ชที่เกิดการเจลาติไนซ์เชชั่นภายในขยายตัวช่วยอุดช่องว่างที่ เป็นรอยแตกหัก รอยร้าวหรือสภาวะโพรงไข่ภายในเมล็ดข้าวให้ เป็นเนื้อเดียวกัน (Oli et al., 2014)" นอกจากนี้การทำข้าวนึ่งยัง ช่วยเพิ่มคุณค่าทางสารอาหาร เช่น โปรตีน ไขมัน วิตามิน และ แร่ธาตุ นอกจากนี้ข้าวนึ่งยังมีสาร GABA มากกว่าข้าวธรรมดาถึง 10 เท่า (Roy et al., 2011) การที่ข้าวนึ่งมีสารอาหารสำคัญที่สูง กว่าข้าวปกตินั้นเป็นผลเนื่องจากขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือกในน้ำ (Soaking) ทำให้แร่ธาตุและสารอาหารที่อยู่ในชั้นรำ ที่มี ความสามารถละลายน้ำได้ ซึมผ่านเข้าไปในส่วนที่เป็นเนื้อแป้ง และถูกเก็บอยู่ภายในเมล็ดข้าวจนสิ้นสุดกระบวนการทำนึ่ง (Kam et al., 2012).

ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายคนได้ดำเนินกระบวนการนึ่งมาเพิ่ม คุณค่าทางอาหารของข้าว เช่น การเพิ่มธาตุเหล็ก แมงกานีส โปร แทสเซียม สังกะสี สารคาเทชิน ในเมล็ดข้าวโดยอาศัยเทคนิคการ ทำข้าวนึ่ง (อกนิษฐ์, 2557; Kam et.al., 2012 and Oli et.al., 2016) หากมีการประยุกต์ใช้วิธีการทำนึ่งข้าวมาเพิ่มกรดคลอโรจิ นิคในเมล็ดข้าว เพื่อทำหน้าที่เสมือนแคปซูลช่วยป้องกันสารกรด คลอโรจินิคให้ไปถึงสู่ลำไส้เล็กได้อย่างเต็มประสิทธิภาพแล้ว (Zhu, 2017) ยังเป็นการลดโอกาสที่กรดคลอโรจินิคจะไปจับกับ โมเลกุลของสารอาหารอื่นๆ เช่น โปรตีน ไขมัน ฯลฯ อีกด้วย (Lidija, 2015) เพื่อให้หน้าที่ในการยับยั้งเอ็นไซม์ที่ใช้ในการย่อย แป้งให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อนำกรดคลอโรจินิคเข้าไปสู่ภายในเมล็ดข้าวโดยอาศัยหลักการ ของการทำข้าวนึ่ง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ตัวอย่างข้าวและสารเคมีที่ใช้

ข้าวเปลือกที่ใช้เป็นข้าวพันธุ์ หอมมะลิ 105 จากเขตพื้นที่ทุ่ง กุลาร้องไห้ ถูกเก็บเกี่ยวในปี 2559 และทำความสะอาดคัดแยก สิ่งเจือปนออก และกรดคลอโรจินิคผลิตโดย บริษัท ซีอาน เน เชอรัล ฟิลด์ จำกัด ประเทศจีน.

2.2 วิธีการทดลอง

นำตัวอย่างข้าวเปลือกสะอาดปริมาณ 300 g แช่สารละลาย กรดคลอโรจินิคที่ความเข้มข้น 0.8 2.4 4.0 $g.L^{-1}$ โดยแต่ละ ความเข้มข้นที่ทดสอบถูกแบ่งสภาวะตามอุณหภูมิการแช่ที่ 3 4 5 h และแช่ให้คงที่ที่อุณหภูมิ 60°C ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ และ เก็บตัวอย่างโดยเทสารละลายกรดคลอโรจินิคออกแล้ว จากนั้นนำ ข้าวที่ผ่านการแช่แล้วมานึ่งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 25 min ข้าวนึ่งจะถูกลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนที่ อุณหภูมิ 40 °C จนความชื้นมีค่าประมาณ 14 %wb โดยมีการ ทำซ้ำ 3 ครั้งทุกสภาวะในการทดลอง.

2.3 การนึ่งข้าวตัวอย่าง

นำข้าวเปลือกตัวอย่างจากหัวข้อ 2.2 มาผ่านกระบวนการ กระเทาะเปลือกเพื่อให้ได้ข้าวกล้องแล้วนำข้าวกล้องดังกล่าวมา ล้างด้วยน้ำเปล่า 2 รอบเพื่อชะล้างสารละลายที่ใช้ในการแช่ที่ผิว ของข้าวกล้อง หลังจากนั้นนำข้าวกล้องมาหุงในบีกเกอร์ที่ อุณหภูมิน้ำเดือดโดยตั้งบนแผ่นความร้อนด้วยอัตราส่วนข้าวต่อ น้ำ 1:2.5 เป็นเวลา 45 min.

2.4 การทดสอบเชิงคุณภาพ

การทดสอบเชิงคุณภาพของข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคแบ่งได้ เป็น 2 ส่วน คือ เปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวหลังการสีของ ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิค และการหาปริมาณกรดคลอโรจินิคใน เมล็ดข้าวหุงสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาเปอร์เซ็นต์แตกหักของข้าวนึ่งหลังสี

นำข้าวที่ผ่านการเสริมกรดคลอโรจินิคแล้ว มาสีโดยใช้เครื่องกระเทาะเปลือกข้าว SATAKE รุ่น THU แบบลูกยางคู่ แล้วนำมาคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงกลมทรงกระบอกเพื่อแยกข้าวต้นและข้าวหักออกจากกันและนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์แตกหัก.

การหาปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าว

นำข้าวที่ผ่านการเสริมกรดคลอโรจินิค 10 g มาผ่านการหุง เมื่อเสร็จสิ้นการหุงแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาณ 20 g สำหรับทำการแช่ข้าวเสริมกรดคลอโรจินิคเป็นเวลา 12 h. เพื่อให้กรดคลอโรจินิคภายในเมล็ดข้าวละลายออกมายังภายนอกจนถึงสภาวะสมดุลย์ หลังจากนั้นนำน้ำที่ผ่านการแช่ข้าวหลังหุงมาปั่นแยกสารด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง ยี่ห้อ Labnet รุ่น 7D ที่ความเร็ว 4000 rpm เป็นเวลา 15 min แล้วนำมาสารละลายดังกล่าวมาตรวจสอบความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 325 nm จากกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ที่เตรียมไว้แล้ว หลังจากนั้นนำความเข้มข้นของกรดคลอโรจินิคที่ได้มาคำนวณหาปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าว

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลอง Factorial in CRD (Completely randomized design) โดยมีปัจจัยในการทดลอง 2 ปัจจัยคือ จำนวนชั่วโมง (h) ในการแช่ข้าวเปลือก และระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกที่เป็นกรัมต่อลิตร ($g.L^{-1}$) โดยที่จำนวน h ในการแช่ มี 3 ระดับคือ 3 4 และ 5 h สำหรับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ที่ 3 ระดับเช่นกัน คือ 0.8 2.4 และ 4 $g.L^{-1}$ การวิเคราะห์ทางสถิติทำโดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 16.0 โปรแกรมสำหรับวินโดว์ เพื่อใช้หาความแปรปรวนและความแตกต่างระหว่างตัวแปรสองตัวโดยการทดสอบสมมติฐานของตัวอย่างมากกว่าสองกลุ่มโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2-way ANOVA) ค่าเฉลี่ยจะถูกเปรียบเทียบด้วยวิธี Least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.

3 ผลและวิจารณ์

จากวิธีการดำเนินการทดลองในหัวข้อที่ 2 ได้ผลการหาเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวหลังสีและการหาปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าวหลังการหุงได้ดังต่อไปนี้

3.1 ผลของเวลาในการแช่ข้าวเปลือกและระดับความเข้มข้นของสารละลายต่อเปอร์เซ็นแตกหักของเมล็ดข้าว

จากการทดลองและการทดสอบทางสถิติพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกต่อเปอร์เซ็นต์แตกหักของเมล็ดข้าวหลังสีมีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ในระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือก 3 h มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวแตกต่างกับระดับการแช่ 4 h และ 5 h ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 แต่ที่ระดับเวลาในการแช่ 4 h ไม่มีความแตกต่างในเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวจาก 5 h ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 โดยการแตกหักของเมล็ดข้าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการแช่ข้าวเปลือกนานขึ้น จากการทดลองพบว่าที่เวลาในการแช่ข้าวเปลือก 3 h มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวสูงสุด และจากการทดลองยังพบอีกว่าความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ข้าวเปลือกมีความไม่มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 โดยแสดงใน Figure 1.

3.2 ผลของเวลาในการแช่ข้าวเปลือกและระดับความเข้มข้นของสารละลายต่อปริมาณสารกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าว.

ข้าวนึ่งที่ผ่านการเพิ่มสารกรดคลอโรจินิคถูกนำมาตรวจสอบปริมาณกรดคลอโรจินิคในเมล็ดข้าว จากผลการทดลองพบว่าเวลาในการแช่ข้าวเปลือกและความเข้มข้นในการแช่ข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณกรดคลอโรจินิคที่พบในเมล็ดข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยค่าสูงสุดที่สามารถตรวจพบได้มีค่าเท่ากับ 42.84 g ต่อข้าว 1 มื้อ (ข้าว 1 มื้ออาหารประมาณ 267 g) ที่ระดับความเข้มข้นในสารละลายที่ใช้แช่เท่ากับ 4 $g.L^{-1}$ และระดับเวลาในการแช่เท่ากับ 5 h โดยแสดงใน Figure 2.

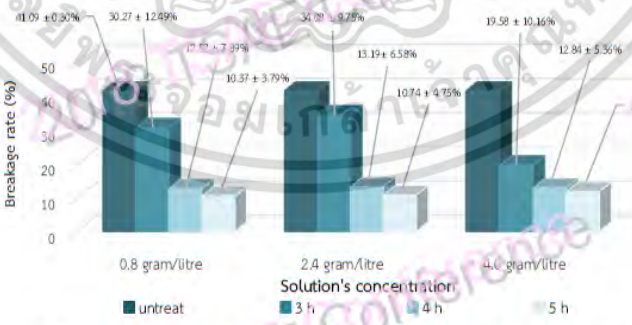


Figure 1 Effects of soaking time and solution's concentration on breakage of rice during milling.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

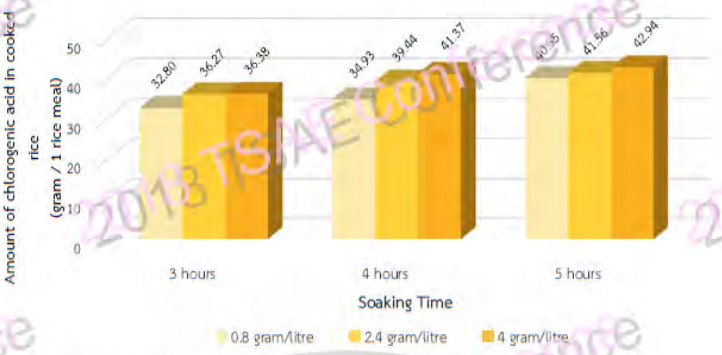


Figure 2 Relationship between amount of chlorogenic in rice and solution's concentration

4 สรุป

จากการทดลองพบว่าเวลาในการแช่ข้าวเปลือกมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าว โดยเปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการแช่นานขึ้น ในด้านของอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักพบว่าความเข้มข้นของสารละลายไม่ได้ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักแต่อย่างไร เมื่อนำไปเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่งพบว่ามีข้าวที่ผ่านกระบวนการมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักน้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทุกสภาวะการทดลอง โดยข้าวนึ่งที่ระดับการแช่ที่ 5 h มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักต่ำสุดเท่ากับ 10.94±0.70% โดยน้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่งถึง 30.14±0.70%

ในส่วนของปริมาณกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบนั้นมีการแปรผันตามทั้งระดับเวลาในการแช่ข้าวเปลือกและระดับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการแช่ โดยกรดคลอโรจินิคที่ตรวจพบมีแนวโน้มค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลาในการแช่ข้าวและระดับความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นในขั้นตอนการแช่ข้าวเปลือก

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

6 เอกสารอ้างอิง

วิกิพีเดีย สารานุกรม. 2560. เบาหวาน กรุงเทพมหานคร. แหล่งข้อมูล: https://th.wikipedia.org/wiki/เบาหวาน. เข้าถึงเมื่อ 24 สิงหาคม 2560

อกนิษฐ์ ชุมวิสูตร. 2558. การเพิ่มคาเทชินในเมล็ดข้าวโดยกระบวนการทำข้าวนึ่ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Fan Zhu., 2017. Encapsulation and delivery of food ingredients using starch based systems. Journal of Food Chemistry 229, 542-552.

Kam, K., Arcot, J., Ward, 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 56 (3), 587-594.

K.R. Bhattacharya., 2004. Parboiling of rice. E.T., Champagne (Ed.), Rice Chemistry and Technology (third ed.), (pp. 329-404). Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc.

Lidija Jakobek., 2015. Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. Journal of Food Chemistry 175, 556-567.

Meng, S., Cao, J., Feng, Q., Peng, J., Hu, Y., 2013. Roles of Chlorogenic Acid on Regulating Glucose and Lipids Metabolism: A Review. Complementary and Alternative Medicine Volume 2013, Article ID 801457, 11 pages.

Prakash Oli., Rachelle Ward, Benu Adhikari., Peter Torley., 2014. Parboiled rice: Understanding from a material science approach. Journal of Food Engineerinh 124, 173-183.

Prakash Oli., Rachelle Ward., Benu Adhikari., A. John Mawson., Raju Adhikari., Tim Wess., Laura Pallas., Kathryn Spiers., David Paterson., PeterTorley., 2016. Synchrotron X-ray Fluorescence Microscopy study of the diffusion of iron, manganese, potassium and zinc in parboiled rice kernels. Journal of Food Science and Technology 71, 138-148.

PubChem. 2004. Chlorogenic acid. Available at: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/chlorogenic_acid#section=Top. Accessed on September 24, 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Roy, P., Orikasa, T., Okadome H., Nakamura N., Shiina T., 2011. Processing Conditions, Rice Properties, Health and Environment. International Journal of Environmental Research and Public Health 8, 1957-1976.

Wikipedia. 2014. Carbohydrate Digestion. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbohydrate_digestion .Accessed on September 24, 2017.

World Health Organization. 2016. GLOBAL REPORT ON DIABETES. Availble at: http://www.who.int. Accessed on September 24, 2017.

World's Top Exports. 2017. Rice Exports by Country.Availableat: http://www.worldstopexports.com/rice- exports-country/. Accessed on September 24, 2017.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นาสกุล นาย ธนพล พรมทอง

วัน-เดือน-ปีเกิด 22 มีนาคม 2538

ที่อยู่ 154 ถนนพุทธบูชา36 แขวงบางมด เขตทุ่งครุ จังหวัดกรุงเทะ 10140

ประวัติการศึกษา ปริญญาตรี (พ.ศ.2556 - พ.ศ.2559) วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

E-mail tnp.phromthong@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้