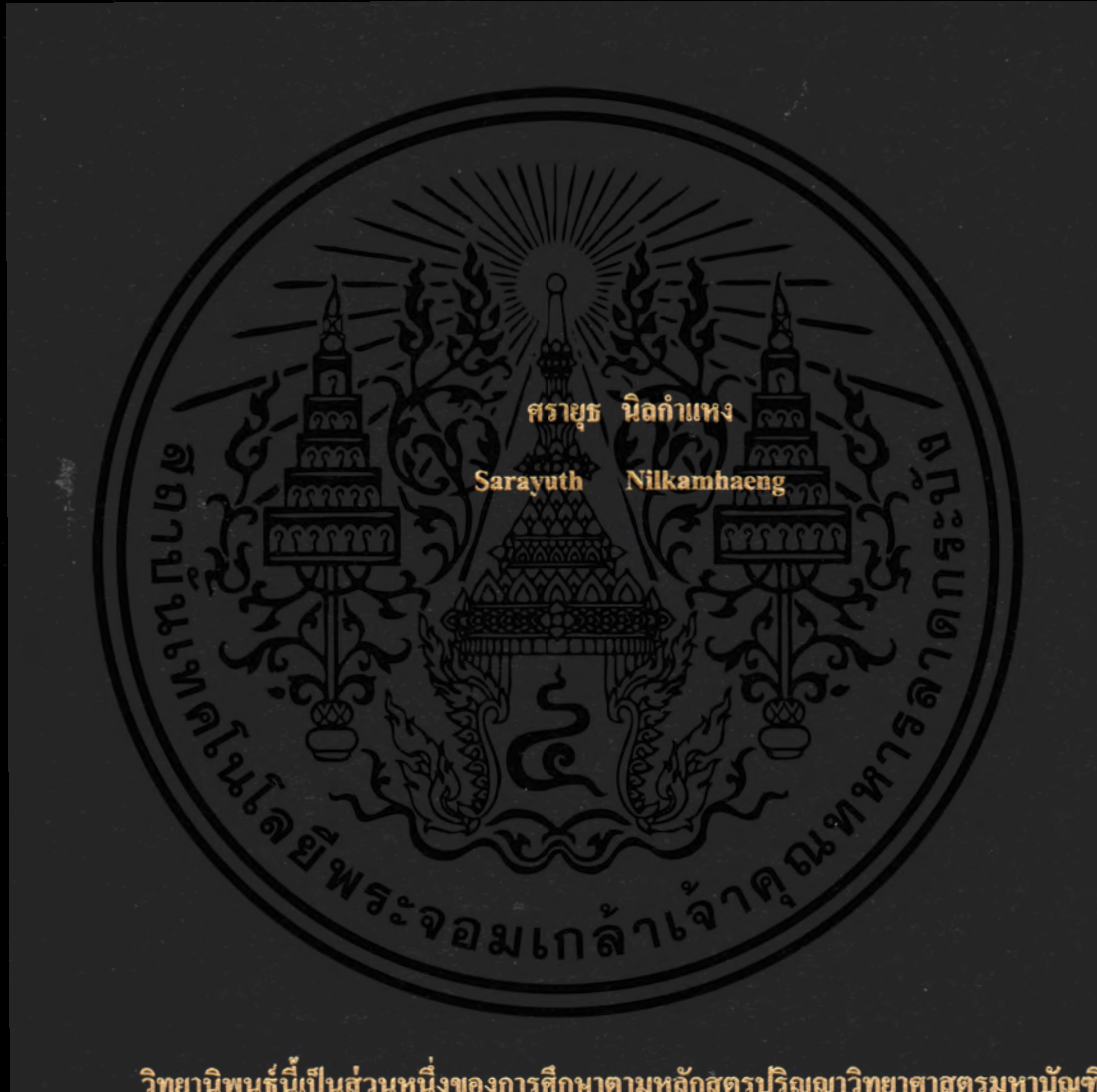


การเตรียมและการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพในไรซ์บอล

PREPARATION AND FORTIFICATION OF FUNCTIONAL
INGREDIENTS IN 'RICE BALL'



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-AI-M-053-326

การเตรียมและการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพในไรซ์บอล

PREPARATION AND FORTIFICATION OF FUNCTIONAL
INGREDIENTS IN 'RICE BALL'



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-AI-M-053-326

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PREPARATION AND FORTIFICATION OF FUNCTIONAL
INGREDIENTS IN ‘RICE BALL’**



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

2019

KMITL-2019-AI-M-053-326
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเตรียมและการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพในไรซ์บอล
PREPARATION AND FORTIFICATION OF FUNCTIONAL INGREDIENTS
IN 'RICE BALL'

ชื่อนักศึกษา นายศราวุธ นิลคำแหง
รหัสประจำตัว 60608031
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ยุพร พิชกมุทร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ยุพร พิชกมุทร รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม ผศ.ดร.สิทธิพงษ์ นลินานนท์ รศ.เขวาลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 18 เมษายน 2562 เวลา 10.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 1 เดือน พค พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพในไรซ์บอด
นักศึกษา	นายศราวุธ นิลกำแหง
รหัสประจำตัว	60608031
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ยุพร พิษกมฺุทร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไรซ์บอดจากการขึ้นรูปทรงกลมของนํ้านมข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยเปรียบเทียบวิธีการเตรียมนํ้านมข้าวที่แตกต่างกัน คือ การเตรียมจากข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุก และการเตรียมจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ และทำการศึกษาผลของการเติมเกลือและน้ำตาลต่อคุณภาพของไรซ์บอด รวมทั้งศึกษาผลของการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ (อินนูลิน, อาซาอิเบอร์รี่, กลูโคซามีน และกรดโพลีกล) ลงในไรซ์บอด นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของลํ้าประกอบทางเคมีและอายุการเก็บรักษาของไรซ์บอด โดยวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ขนาด น้ำหนัก สี คุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส โครงสร้างภายในของไรซ์บอด และลักษณะทางเคมี ได้แก่ ปริมาณส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่เสริมเข้าไปที่หลงเหลืออยู่ในไรซ์บอดและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

การใช้ข้าวหุงสุกในการผลิตไรซ์บอดทำให้ค่าความแข็งและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของไรซ์บอดสูงกว่าการใช้แป้งข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้เป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก ไรซ์บอดที่เตรียมจากข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุกจะถูกเลือกใช้ในการทดลอง เนื่องจากให้คุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าไรซ์บอดที่เตรียมจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ การเติมเกลือและน้ำตาลจะส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอด โดยเฉพาะขนาดและน้ำหนักมีค่ามากขึ้น ส่วนค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเสริมอินนูลินและกลูโคซามีนลงในไรซ์บอดจะส่งผลให้ขนาดและน้ำหนักเพิ่มขึ้น แต่มีค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม การเสริมผงอาซาอิเบอร์รี่และกรดโพลีกลจะไม่ส่งผลต่อขนาด น้ำหนัก และสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของไรซ์บอด แต่จะส่งผลต่อค่าสีของไรซ์บอด การเสริมผงอาซาอิเบอร์รี่ทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพพบว่า มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหารและคาร์โบไฮเดรตรวมทั้งหมดย้อยละ 89.61, 1.59, 0.80, 1.66, 0.62 และ 5.72 ตามลำดับ และประกอบด้วยแอนโทไซยานินเท่ากับ 4.73 มิลลิกรัมต่อ 10 กรัมตัวอย่าง กลูโคซามีนเท่ากับ 34.84 มิลลิกรัมต่อ 10 กรัมตัวอย่าง และกรดโฟลิกเท่ากับ 25.05 ไมโครกรัมต่อ 10 กรัมตัวอย่าง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าเท่ากับร้อยละ 68.14 (% Scavenging Activity) และความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันวิเคราะห์โดย FRAP เท่ากับ 56.79 ไมโครกรัมเทียบเท่ากับ สารมาตรฐานโทรลอคซ์ต่อ 10 กรัมตัวอย่าง ไรซ์บอลที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของขนาด น้ำหนัก และค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น ค่าความสว่างของไรซ์บอลเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าความเป็นสีแดงของไรซ์บอลลดลง ปริมาณส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่เสริมลงไปมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงแรกของการเก็บรักษา (วันที่ 0-3) หลังจากนั้นจะเริ่มมีปริมาณคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา และตรวจไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เกินเกณฑ์มาตรฐานตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้น ไรซ์บอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแบบพาสเจอร์ไรส์สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้เป็นเวลานานอย่างน้อย 15 วัน

Thesis	Preparation and fortification of functional ingredients in ‘Rice ball’
Student	Mr.Sarayuth Nilkamhaeng
Student ID.	60608031
Program	Food Science
Degree	Master of Science
Year	2019
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Yuporn Puechkamutr

ABSTRACT

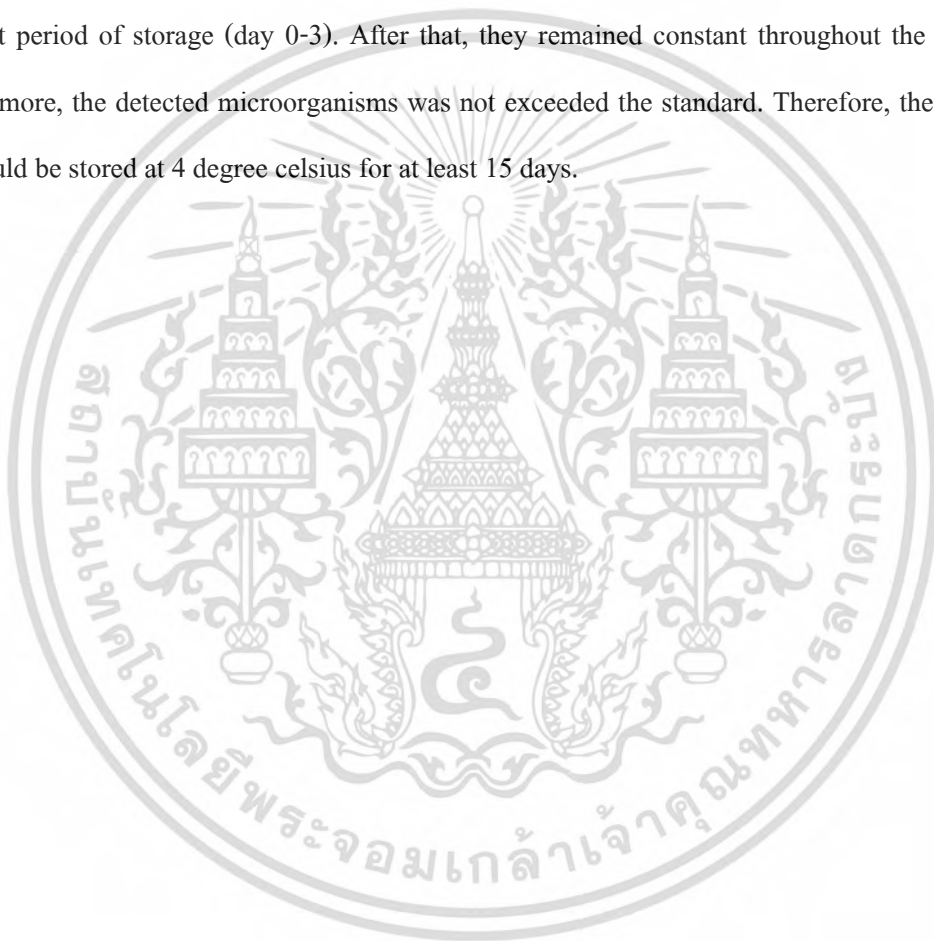
This research studied the production of rice ball from Riceberry rice milk by spherification technique. The effect of rice milk prepared from cooked rice and rice flour on the quality of the rice ball were elucidated. Study on the effect of salt or sugar on the rice ball characteristics was also examined. The fortification of rice ball by functional ingredients such as inulin, acai berry powder, glucosamine and folic acid was studied. Also, a study of chemical composition and shelf life of the resulted rice ball were examined. Internal structure, chemical characteristics, including the amount of functional ingredients that remain in rice ball and also antioxidant capacity were studied.

The production of rice ball by cooked rice increased the hardness and total anthocyanin content more than the use of rice flour. Besides being a simple and convenient method, rice ball prepared from the cooked rice was selected due to higher nutrition value. The addition of salt or sugar affected the physical properties of the rice ball, especially the size and weight were increased and the hardness was decreased significantly ($p \leq 0.05$). Fortification with inulin and glucosamine into rice ball resulted in increasing of size and weight while the hardness was decreased significantly ($p \leq 0.05$). However, fortification with acai berry and folic acid did not affect the size, weight and texture properties of the rice ball. On the other hand, they affected the color value of the rice ball. The antioxidant capacity of the rice ball significantly ($p \leq 0.05$) increased after added acai berry powder. The result of the chemical composition of the fortified rice ball including moisture

content, protein, fat, ash, fiber and total carbohydrates were 89.61 %, 1.59 %, 0.80 %, 1.66 %, 0.62 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเหนือบะประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and 5.72 % respectively. The anthocyanin, glucosamine and folic acid content of the fortified rice ball were 4.73 mg/10g sample, 34.84 mg/10g sample and 25.05 µg/10g sample, respectively. The antioxidant capacity detected by DPPH and FRAP method of the fortified rice ball were 68.14 % scavenging activity and 56.79 µg Trolox eq./10g sample, respectively. Moreover, pasteurized rice ball that stored at 4 degree celsius showed significant ($p \leq 0.05$) changes in size, weight and hardness of rice ball. The lightness of the rice ball was increased but the redness of the rice ball was decreased. The amount of fortified functional ingredients except inulin were decreased significantly ($p \leq 0.05$) in the first period of storage (day 0-3). After that, they remained constant throughout the storage time. Furthermore, the detected microorganisms was not exceeded the standard. Therefore, the fortified rice ball could be stored at 4 degree celsius for at least 15 days.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์จากหลายท่าน จึงต้องขอกราบขอบพระคุณ ศศ.ดร.ยุพร พิษกมูทร ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำปรึกษา ถ่ายทอดความรู้ แนวคิด ให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินการ และดูแลเอาใจใส่ในการทำวิทยานิพนธ์อย่างใกล้ชิด รวมถึงการตรวจสอบแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร และ ศศ.ดร.สิทธิพงษ์ นลินานนท์ อาจารย์ประจำคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง และ รศ.เขาวลัษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข ซึ่งแนะต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการปฏิบัติงานวิทยานิพนธ์เสมอมา

ขอขอบคุณบริษัท Acai Berry (Thailand) Co.,Ltd ที่ให้ความกรุณามอบตัวอย่างผงอาซาอิเบอร์รี่เพื่อใช้ในการวิจัย จึงทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ศรายุช นิลกำแหง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญตารางภาคผนวก.....	XI
สารบัญภาพ.....	XII
สารบัญภาพภาคผนวก.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	4
2.2 อัลจินต.....	8
2.3 การขึ้นรูปทรงกลม.....	11
2.4 เบตากลูแคน.....	13
2.5 อินนูลิน.....	14
2.6 อาซาอิเบอร์รี่.....	18
2.7 กลูโคซามีน.....	22
2.8 กรดโพลีลิก.....	24
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	35
3.1 วัตถุประสงค์.....	35
3.2 สารเคมี.....	35
3.3 อุปกรณ์และเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.4 เครื่องมือวิเคราะห์และอุปกรณ์.....	38
3.5 วิธีการดำเนินงาน.....	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	45
4.1 ผลการศึกษาผลของวิธีการเตรียมน้ำนมข้าวต่อคุณภาพของไรซ์บอล.....	45
4.2 ผลการศึกษาผลของการเติมสารปรุงรสชาติที่ส่งผลต่อคุณภาพของไรซ์บอล.....	50
4.3 ผลการศึกษาผลของการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพต่อคุณภาพของ ไรซ์บอล.....	55
4.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ	66
4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพใน ระหว่างการเก็บรักษา.....	66
4.6 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไรซ์บอลเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการสเตอริไรส์..	78
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	81
ข้อเสนอแนะ.....	82
บรรณานุกรม.....	83

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	102
ก ตารางภาคผนวก.....	103
ข ภาพภาคผนวก.....	108
ค การเตรียมไรซ์บอล.....	110
ง การวิเคราะห์ทางกายภาพ.....	115
จ การวิเคราะห์ทางเคมี.....	119
ฉ การตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด.....	138
ประวัติผู้วิจัย.....	139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติทางโภชนาการในเมล็ดข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่.....	6
2.2	ปริมาณของ B-glucan ของแหล่งที่พบที่แตกต่างกัน.....	14
2.3	แหล่งอาหารที่มีอินนูลินเป็นองค์ประกอบ.....	16
2.4	ตัวอย่างการนำอินนูลิน ไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร.....	17
2.5	สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในส่วนต่างๆ ของอาซาอิเบอร์รี่.....	20
2.6	ความสามารถในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลและใบของอาซาอิเบอร์รี่.....	21
2.7	ปริมาณกรดโฟลิกที่บริโภคต่อวัน โดยที่ไม่เกิดโรคเรื้อรัง Recommended Dietary Allowances (RDAs).....	26
2.8	ปริมาณกรดโฟลิกที่บริโภคได้สูงสุดต่อวัน (tolerable upper intake level: UL)	27
2.9	ปริมาณของการเสริมกรดโฟลิกลงในอาหารของประเทศที่มีการออกกฎหมายควบคุม.....	29
4.1	คุณลักษณะทางกายภาพและปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดของไรซ์บอลที่มีการเตรียมด้วยวิธีการแตกต่างกัน.....	46
4.2	ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่ผ่านการเติมเกลือและน้ำตาลที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	51
4.3	ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่มีการเสริมอินนูลินที่ความเข้มข้นต่างกัน.....	56
4.4	ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่มีการเสริมอินนูลินร้อยละ 2 และผงอาซาอิเบอร์รี่ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	59
4.5	ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไรซ์บอลที่เสริมอินนูลินร้อยละ 2 และเสริมผงอาซาอิเบอร์รี่ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	59
4.6	ลักษณะทางกายภาพและปริมาณกลูโคซามีนของไรซ์บอลที่มีการเสริมอินนูลินร้อยละ 2 ผงอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 และกลูโคซามีนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4.7	ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่มีการเสริมอินนูลินร้อยละ 2 ผงอาซาอิเบอร์รี่ ร้อยละ 0.4 กลูโคซามีนร้อยละ 0.75 และกรดโฟลิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	63
4.8	ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่ไม่ได้เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพและ ไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ.....	64
4.9	องค์ประกอบทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ.....	66
4.10	ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่ผ่านการ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน.....	73
4.11	ลักษณะทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่ผ่านการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน.....	74
4.12	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดค่า ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ ทั้งหมดของไรซ์บอลในระหว่างการเก็บรักษา.....	78
4.13	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของไรซ์บอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนด้วย วิธีการต่างกัน.....	79

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางที่		หน้า
ก. 1	ค่าความหนืดของน้ำมันข้าวที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีและวัตถุดิบที่แตกต่างกัน	103
ก. 2	ค่าความหนืดของน้ำมันข้าวกับอัลจินเตที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีและวัตถุดิบที่ แตกต่างกัน.....	104
ก. 3	ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่เสริมเบตากลูแคนที่ความเข้มข้น วิธีการเสริม เบตากลูแคน และน้ำที่ใช้แช่ไรซ์บอลแตกต่างกัน.....	105
ก. 4	ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่เสริมอินนูลินและอาซาอิเบอร์รี่ที่ความเข้มข้น แตกต่างกัน.....	106
ก. 5	ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่เสริมอินนูลินร้อยละ 2 ผงอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 และกลูโคซามีนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	4
2.2	โครงสร้างของแอนโทไซยานิน.....	7
2.3	ลักษณะโครงสร้างของอัลจินเต: a) มอโนเมอร์ของอัลจินเต ; b) โครงสร้างรูปสายโซ่ ; c) การกระจายตัวของบล็อกล.....	9
2.4	การเกิดเจลของอัลจินเต.....	11
2.5	ก) ผลึกภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปทรงกลมแบบพื้นฐาน ; ข) ผลึกภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปทรงกลมแบบย้อนกลับ.....	12
2.6	โครงสร้างของเบตากลูแคนจากรั้วพืช.....	13
2.7	โครงสร้างของอินนูลิน.....	15
2.8	ลักษณะลำต้นและผลของอาซาอีเบอร์รี่.....	18
2.9	แอนโทไซยานินที่พบมากในผลอาซาอีเบอร์รี่.....	19
2.10	โครงสร้างของกลูโคซามีน.....	23
2.11	โครงสร้างของกรดโฟลิก.....	24
4.1	การเปรียบเทียบขนาดของไรซ์บอลที่ใช้ปริมาตรน้ำนมข้าวที่แตกต่างกัน: ซ้าย) 2 มิลลิลิตร; กลาง) 1.5 มิลลิลิตร ; ขวา) 1 มิลลิลิตร.....	45
4.2	โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เตรียมจากน้ำนมข้าวทั้งสองวิธีที่กำลังขยาย 10,000 เท่า: ก) ไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุก ; ข) ไรซ์บอลที่เตรียมจากแป้งข้าว..	48
4.3	ไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุก.....	49
4.4	โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เติมสารปรุงรสชาติอาหารที่กำลังขยาย 10,000 เท่า: ก) ไรซ์บอลที่ไม่ได้เติมเกลือหรือน้ำตาล (control); ข) ไรซ์บอลที่เติมเกลือ 1 % ; ค) ไรซ์บอลที่เติมน้ำตาล 8 %.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.5	Thin-layer chromatograph ของน้ำตาลมาตรฐาน อินนูลิน และไรซ์บอลที่ผ่านการเสริมอินนูลินที่ความเข้มข้นต่างกัน: 1) กลูโคส ; 2) ฟรุคโตส ; 3) ซูโครส ; 4) อินนูลิน ; 5) ไรซ์บอลที่เสริมอินนูลิน 0 % , 6) ไรซ์บอลที่เสริมอินนูลิน 2 % ; 7) ไรซ์บอลที่เสริมอินนูลิน 4 % และ 8) ไรซ์บอลที่เสริมอินนูลิน 6 %.....	57
4.6	โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่กำลังขยาย 10000 เท่า: ก) ไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ ; ข) ไรซ์บอลที่ไม่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ.....	65
4.7	ขนาดของไรซ์บอลที่อายุการเก็บรักษาต่างกัน: ก) วันที่ 0 ; ข) วันที่ 3 ; ค) วันที่ 6 ; ง) วันที่ 9 ; จ) วันที่ 12 ; ฉ) วันที่ 15.....	68
4.8	ลักษณะสีของน้ำที่ใช้แช่ไรซ์บอลที่อายุการเก็บรักษาต่างกัน: ก) วันที่ 0 ; ข) วันที่ 3 ; ค) วันที่ 6 ; ง) วันที่ 9 ; จ) วันที่ 12 ; ฉ) วันที่ 15.....	75
4.9	Thin-layer chromatograph ของน้ำตาลมาตรฐาน อินนูลิน และไรซ์บอลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ: 1) กลูโคส ; 2) ฟรุคโตส ; 3) ซูโครส ; 4) อินนูลิน ; 5) วันที่ 0 ; 6) วันที่ 3 ; 7) วันที่ 6 ; 8) วันที่ 9 ; 9) วันที่ 12 ; 10) วันที่ 15.....	77
4.10	ขนาดและลักษณะของไรซ์บอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนด้วยวิธีสเตอริไรส์...	80
4.11	ลักษณะภายในของเม็ดไรซ์บอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนด้วยวิธีสเตอริไรส์..	80
4.12	ลักษณะสีของน้ำที่ใช้แช่ไรซ์บอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนด้วยวิธีสเตอริไรส์	80

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพที่	หน้า
ข.1	ลักษณะของเมล็ดข้าวหุงสุกที่เสริมเบตาแคโรทีนลงในน้ำที่ใช้ในการหุงข้าว..... 108
ค.1	การใช้เตาแก๊สและถังถึงในการให้ความร้อนกับแป้งข้าว ที่ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:10 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)..... 110
ค.2	ตรวจสอบอุณหภูมิของนํ้านมข้าวให้ได้ 85-90 องศาเซลเซียส จึงเริ่มทำการจับเวลา 110
ค.3	การใช้เครื่องปั่นมือถือในการผสมนํ้านมข้าวให้เป็นเนื้อเดียวกัน ในระหว่างการให้ความร้อนทุกๆ 10 นาที จนครบ 40 นาที..... 111
ค.4	นํ้านมข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว..... 111
ค.5	การผสมนํ้านมข้าวกับสารละลายโซเดียมอัลจินต..... 111
ค.6	การหุงข้าวไรซ์เบอร์รี่..... 112
ค.7	การปั่นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการหุงแล้วกับน้ำที่ใช้ปั่นผสม..... 112
ค.8	การผสมนํ้านมข้าวกับสารละลายอัลจินตด้วยเครื่องปั่นผสม..... 112
ค.9	การขึ้นรูปทรงกลมของของผสมระหว่างนํ้านมข้าว และสารละลายอัลจินตด้วยไซริงค์..... 113
ค.10	การจุ่มไรซ์บอลลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.75 ของของผสม..... 113
ค.11	การล้างไรซ์บอลด้วยน้ำสะอาดภายหลังการแช่ไรซ์บอล ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 20 นาที..... 113
ค.12	ไรซ์บอล..... 114

สารบัญสภาพภาคผนวก (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ง.1	แสดงการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส.....	116
ง.2	เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-III ULTRA.....	117
จ.1	กราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox ($\mu\text{g/mL}$).....	124
จ.2	กราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคซามีน.....	128



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม (spherification) เป็นเทคนิคหนึ่งของโมเลกุลาร์แกสโตรโนมี (molecular gastronomy) เป็นการปรับเปลี่ยนอาหารที่มีสถานะเป็นของเหลวให้มีลักษณะเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็งในรูปแบบเป็นเม็ดเจลทรงกลมที่มีขนาดเล็กคล้ายไข่ปลา หรือทรงกลมขนาดใหญ่คล้ายไข่ตุ๋น โดยอาศัยกระบวนการเกิดเจลที่อุณหภูมิห้องของสารไฮโดรคอลลอยด์อัลจินेट ในสภาพที่มีเกลือแคลเซียม เจลที่ได้จึงมีความกรอบ และแน่น เจลที่ได้จะสมบูรณ์มากขึ้นเมื่อแช่ในน้ำ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิเย็น (Herrera และคณะ, 2012) สามารถรับประทานควบคู่กับอาหารคาวหรืออาหารหวานได้ หรือประยุกต์ใช้กับการตกแต่งจานอาหารในธุรกิจการจัดและบริการอาหาร

ข้าว (*Oryza sativa*) เป็นธัญพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก ซึ่งประชากรนิยมบริโภคเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะในทวีปเอเชีย (Bhattacharjee et al., 2002) ประเทศไทยมีการส่งออกข้าวเป็นอันดับสองของโลก ประมาณ 11.6 ล้านตันต่อปี รองมาจากอินเดียที่มีการส่งออกเป็นอันดับหนึ่ง ประมาณ 12.5 ล้านตันต่อปี (FAOSTAT, 2018) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (riceberry rice) เป็นพันธุ์ข้าวสีที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย ซึ่งได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวหอมมะลิ 105 มีสีม่วงเข้มคล้ายกับผลเบอร์รี่ รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ผิวของเปลือกข้าว และเนื้อข้าวมีสารโพลีฟีนอล (polyphenol) และมีสารอาหารสูงกว่าข้าวกล้องหอมมะลิทั่วไป เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร วิตามิน เกลือแร่ และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) โดยเฉพาะในกลุ่มของ cyanidin-3-glucoside และ peonidin-3-glucoside (Waiyawuththanaporn et al., 2015; Shao et al., 2014; Pitija et al., 2013) ที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Ichikawa et al., 2001) มีประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ 229-304.7 $\mu\text{mole/g}$ (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และสรรพคุณเพื่อสุขภาพ, 2560) สามารถช่วยยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง (Leardkamolkarn, 2011) ป้องกันโรคเบาหวาน โรคหัวใจ ลดโคเลสเตอรอล (นิตดา, 2552) ลดระดับน้ำตาลในเลือด ลดระดับไขมันในเลือด และต่อต้านการอักเสบ (Prangthip et al., 2013)

ในปัจจุบันค่านิยมการบริโภคอาหารมีการเปลี่ยนแปลงไป ผู้บริโภคมีการบริโภคอาหารประเภท

ฟาสต์ฟู้ดหรืออาหารพร้อมรับประทานแช่แข็งมากขึ้น ทำให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารบางอย่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย และมีความเสี่ยงที่จะเกิดโรคต่างๆเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการเสริมสารอาหารต่างๆลงในอาหาร เพื่อให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารเพียงพอในแต่ละวัน ซึ่งจะช่วยให้มีสุขภาพดีมากขึ้น เกิดเป็นอาหารทางเลือกหรืออาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) ต่างๆมากมาย ในปัจจุบันมีการเสริมสารอาหารลงในอาหารอย่างแพร่หลายและหลากหลายมากขึ้น (Kam และคณะ, 2012c; Lyly และคณะ, 2004; Girones-Vilaplama และคณะ, 2012a) ยกตัวอย่างเช่น การเสริมสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ลงในอาหาร เพื่อช่วยลดอนุมูลอิสระในร่างกาย ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง และลดการอักเสบ (Girones-Vilaplama และคณะ, 2012b)

จากแนวคิดดังกล่าว จึงได้มีการคิดค้นพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งเป็นการใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่มาทำเป็นนํ้านมข้าว และนำมาทำการขึ้นทรงกลมโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะมีลักษณะคล้ายไข่มุก มีโครงสร้างเป็นเจล สามารถเคี้ยวรับประทานกับอาหารปกติได้ จึงใช้ชื่อว่า “ไรซ์บอล” โดยงานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการเตรียมไรซ์บอลและศึกษาการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น อินนูลิน (inulin) ผงอาซาอึเบอร์รี่ (acai berry powder) กลูโคซามีน (glucosamine) และกรดโฟลิก (folic acid) ทำการวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมีของไรซ์บอล นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ไรซ์บอลในระหว่างการเก็บรักษา รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของไรซ์บอล เมื่อนำไรซ์บอลไปผ่านการฆ่าเชื้อด้วยวิธีสเตอริไรส์ การผลิตไรซ์บอลที่อุดมด้วยส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะแปลกใหม่ นำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลาย สามารถใช้ในการตกแต่งจานอาหารในธุรกิจการจัดและบริการอาหารหรือรับประทานเป็นอาหารหลักได้ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์เพื่อให้เหมาะสมกับผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของวิธีการเตรียมน้ำนมข้าวต่อคุณภาพของไรซ์บอล
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของสารปรุงแต่งรสชาติอาหารที่มีต่อคุณภาพของไรซ์บอล
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพต่อคุณภาพของไรซ์บอล
- 1.2.4 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ
- 1.2.5 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพในระหว่างการเก็บรักษา
- 1.2.6 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไรซ์บอล เมื่อนำไรซ์บอลไปฆ่าเชื้อด้วยวิธีการสเตอริไรส์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้จะครอบคลุมเนื้อหาที่สำคัญของการศึกษาวิธีการและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไรซ์บอล และคัดเลือกวิธีการที่สะดวกและมีคุณค่าทางโภชนาการมากที่สุด เพื่อใช้ในการทดลองศึกษาการเติมสารปรุงแต่งรสชาติอาหาร เช่น เกลือ และน้ำตาล ที่ความเข้มข้นต่างกันที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอล การเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย คือ อินนูลิน ผงอาซาอิเบอร์รี่ กลูโคซามีน และกรดโฟลิก ลงในไรซ์บอลที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เพื่อดูถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไรซ์บอลและปริมาณที่หลงเหลืออยู่ของสารประกอบที่มีประโยชน์ที่เติมลงไป และคัดเลือกปริมาณที่เหมาะสม รวมถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและปริมาณที่หลงเหลืออยู่ของสารประกอบที่เสริมลงไปของไรซ์บอลในระหว่างการเก็บรักษาไรซ์บอล รวมถึงศึกษาการฆ่าเชื้อด้วยวิธีสเตอริไรส์ที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและปริมาณของสารที่เสริมลงไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (riceberry) เป็นข้าวเจ้าพันธุ์ใหม่ที่ได้รับการคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์ โดยการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่าง ข้าวเจ้าหอมนิล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พันธุ์พ่อ) กับ ข้าวขาวหอมมะลิ 105 (ข้าวหอมมะลิ) จากสถาบันวิจัยข้าว (พันธุ์แม่) โดยเริ่มผสมพันธุ์เมื่อปี พ.ศ. 2545 ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ทำให้ค้นพบ ข้าวเจ้าสีม่วงเข้ม เมล็ดเรียวยาว ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงและมีคุณค่าทางโภชนาการโดยรวมดี ในปี พ.ศ. 2548 โดยให้ชื่อพันธุ์ว่า ไรซ์เบอร์รี่ (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและห้องปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์อื่นข้าว, ไม่ปรากฏปี)

ในปัจจุบันข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคและมีการบริโภคข้าวไรซ์เบอร์รี่มากขึ้น เนื่องจากมีกลิ่นหอม มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวขาวทั่วไป อีกทั้งยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง ทำให้ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการบริโภคมากขึ้น รวมถึงการได้รับการผสมพันธุ์จากพันธุ์พ่อ และพันธุ์แม่ ทำให้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ทนต่อโรคไหม้ และสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี จึงทำให้เกษตรกรหันมาปลูกข้าวชนิดนี้กันมากขึ้น จึงทำให้ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีราคาถูกลง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2554)



ภาพที่ 2.1 เมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีธาตุเหล็กและสารต้านอนุมูลอิสระสูง (ตารางที่ 2.1) มีใยอาหารที่อยู่ในรำข้าวสูง จึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาล ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวกล้องและข้าวขาวขัดทั่วไป จึงเหมาะกับผู้ป่วยเบาหวาน มีสรรพคุณช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล (Prangthip et al., 2013) ช่วยทำให้ระบบขับถ่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมหาวิทยาลัยมหิดลได้ร่วมกันศึกษาผลของการรับประทานข้าวไรซ์เบอร์รี่ในผู้ป่วยโรคเบาหวาน พบว่าสามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีขึ้น เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวขัดสีพันธุ์เดียวกัน การทานอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำจะช่วยให้เซลล์ร่างกายใช้อินซูลินได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเซลล์จะรับน้ำตาลในเลือดไปใช้เป็นพลังงานได้มากขึ้นทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำลง ข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงจัดเป็นทางเลือกใหม่เพื่อสุขภาพที่ดีในระยะยาวสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานและผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและห้องปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์อื่นข้าว, ไม่ปรากฏปี) อีกทั้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังอุดมไปด้วยแอนโทไซยานิน โดยเฉพาะในกลุ่มของ cyanidin-3-glucoside และ peonidin-3-glucoside (Waiyawuththanaporn et al., 2015; Shao et al., 2014; Pittja et al., 2013) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Ichikawa et al., 2001) ลดการอักเสบ (Hu และคณะ, 2003) ต้านมะเร็ง (Chen และคณะ, 2006) และช่วยควบคุมไขมันให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะ (Guo และคณะ, 2007)

สำหรับประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่พบในข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งมีสีม่วงเข้มตามธรรมชาติ อยู่ที่ 229 – 304.7 $\mu\text{mole/g}$ การศึกษานี้ทำด้วยวิธี ORAC (oxygen radical absorbance capacity) เรียกว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องดื่มชาเขียวที่ได้รับการยกย่องในด้านสรรพคุณที่ช่วยต้านสารอนุมูลอิสระแล้ว ในข้าวชนิดนี้มีคุณค่าในการป้องกันสูงมากเกือบ 100 เท่า (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และสรรพคุณเพื่อสุขภาพ, 2560) อีกทั้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำเท่ากับ 47.5 และ 33.4 mg ascorbic equivalent/100 g ตามลำดับ (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและห้องปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์อื่นข้าว, ไม่ปรากฏปี)

จากคุณประโยชน์ที่กล่าวมา จึงสรุปได้ว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่เหมาะสมกับคนทุกเพศทุกวัย โดยเฉพาะในวัยสูงอายุเนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารอาหารที่ช่วยบำรุงร่างกาย เสริมสร้างประสิทธิภาพในการไหลเวียนของเลือด ชะลอความแก่ บำรุงสายตาและระบบประสาท นอกจากนี้ผู้ที่ป่วยโรคเบาหวาน และผู้ที่ควบคุมน้ำหนักก็สามารถรับประทานข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ ช่วยในการควบคุม

ระดับน้ำตาล เพราะมีดัชนีน้ำตาลที่ต่ำกว่าข้าวทั่วไป และหากรับประทานข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นประจำ เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะช่วยให้ร่างกายได้รับสารอาหาร โดยเฉพาะธาตุเหล็ก ช่วยในการบำรุงโลหิต และบำรุงร่างกายให้แข็งแรง (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และสรรพคุณเพื่อสุขภาพ, 2560)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการในเมล็ดข้าวกล้อง ไรซ์เบอร์รี่

คุณค่าทางโภชนาการ	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	ข้าวขาว
เหล็ก (mg/kg)	13-18	2
สังกะสี (mg/kg)	31.9	4.90
โอเมก้า 3 (mg/100 g)	25.51	0.000076
วิตามินอี (µg/100 g)	678	40
โฟเลต (µg/100 g)	48.1	3
เบตาแคโรทีน (µg/100 g)	63	-
โพลีฟีนอล (mg/100 g)	113.5	-
แทนนิน (mg/100 g)	89.33	-
แกมมา-โอโรซานอล (mg/100 g)	462	-

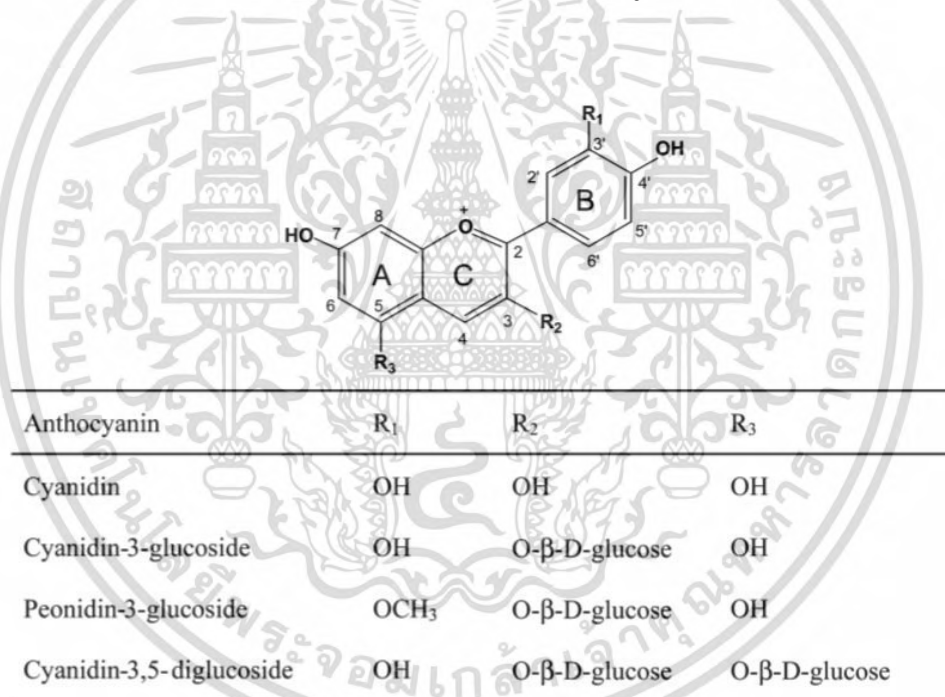
ที่มา: คัดแปลงจาก ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและห้องปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว (ไม่ปรากฏปี) และ United States Department of Agriculture (2016)

2.1.2 แอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน เป็นคำมาจากภาษากรีก โดยมาจากคำว่า Anthos หมายถึงดอกไม้ และ Kyanos หมายถึงสีน้ำเงิน ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นสารที่พบในพืชหลายชนิด ทั้งดอกไม้ ผักและผลไม้ รวมถึงธัญพืช สารแอนโทไซยานินมองเห็นด้วยตามนุษย์ เป็นสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Kong และคณะ, 2003) แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เป็นสารให้สีตามธรรมชาติ โดยสีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (Bhawamai และคณะ, 2016) แอนโทไซยานินมีโครงสร้างเป็นแบบ C6-C3-C6 ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation ที่มีด้วยกันหลายชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นที่พบบ่อย ได้แก่ pelargonidin, pyrimidin, delphinidin, peonidin, petunidin และ malvidin เป็นต้น (ภาพที่ 2.2) (Hiemori และคณะ, 2009) ในสารละลายตัวกลาง แอนโทไซยานินจะทำหน้าที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินดิเคเตอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH indicator) คือ ให้สีแดงที่ pH ต่ำ ให้สีน้ำเงินที่สภาวะเป็นกลางและไม่มีสีที่ pH สูง โดยปัจจัยที่มีผลต่อสีและความเสถียรของแอนโทไซยานิน คือ ปัจจัยทางเคมีและฟิสิกส์ เช่น โครงสร้าง อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง กรดแอสคอร์บิก น้ำตาล และปัจจัยอื่นๆ (Delgado-Vargas และคณะ, 2000) แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติแตกต่างกันทั้งทางเภสัชวิทยาและชีววิทยา เช่น เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (biological activity) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) (Kim และคณะ, 2007) สามารถลดอาการอักเสบ (anti-inflammatory) (Hu และคณะ, 2003) ช่วยปกป้องหลอดเลือดลดคอเลสเตอรอลในเลือด (Guo และคณะ, 2007) ลดความเสี่ยงของโรคมะเร็งและต้านไวรัส (Chen และคณะ, 2006) แต่คุณสมบัติเด่นที่สุดของแอนโทไซยานิน คือ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแอนโทไซยานินมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและอีถึง 2 เท่า ปริมาณของแอนโทไซยานินที่มนุษย์สามารถบริโภคได้เฉลี่ยสูงสุดคือ 200 มิลลิกรัมต่อวัน



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

ที่มา: Hiemori และคณะ (2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 อัลจิเนต

อัลจิเนต (Alginate) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างในผนังเซลล์สาหร่ายสีน้ำตาล (Brown algae) โดยอยู่ในรูปสารประกอบเกลือผสมของแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียมของกรดอัลจินิก (alginic acid) ซึ่งไม่ละลายน้ำ น้ำหนักโมเลกุล 20,000 – 60,000 Da โครงสร้างเป็นโมเลกุลสายโซ่ยาว ในการผลิตอัลจิเนตเป็นอุตสาหกรรม สาหร่ายที่ใช้ ได้แก่ *Macrocystis pyrifera* มีอัลจิเนตประมาณร้อยละ 14 – 19 ปริมาณที่พบจะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย ฤดูกาล และแหล่งที่สาหร่ายเจริญเติบโต (นิธิยา, 2557)

เนื่องจากอัลจิเนตที่ผลิตจำหน่ายทางการค้ามีหลายอนุพันธ์ มีสมบัติการละลายได้ในน้ำแตกต่างกัน เช่น อนุพันธ์ของเกลือโซเดียม โพแทสเซียม แอมโมเนียม และโพรพิลีนไกลคอล เอสเทอร์ อนุพันธ์เหล่านี้จะละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ความหนืดของสารละลายที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุลของอัลจิเนตพอลิเมอร์ และการมีโลหะประจุบวก (polyvalent metal cation) สำหรับค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 4 – 10 จะไม่มีผลต่อความหนืดของสารละลายอัลจิเนต แต่ถ้าความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 4 จะมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการกระจายตัวลดลง และอาจมีการตกตะกอนของกรดอัลจินิก (นิธิยา, 2557)

อัลจิเนตเป็นพอลิเมอร์ผสมชนิดสายตรงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกรดแมนนูโรนิก (1,4- β -D-mannuronic acid) และกรดกลูโรนิก (α -L-guluronic acid) พอลิเมอร์ของอัลจิเนตจะพอร์มโดยการเชื่อมระหว่างโมโนเมอร์ที่ตำแหน่ง C1 และ C4 ด้วยพันธะไกลโคซิดิก มี degree of polymerization (DP) อยู่ในช่วง 180 – 930 ในโมเลกุลประกอบด้วยส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ เป็นพอลิเมอร์ของกรดแมนนูโรนิก (M) กรดกลูโรนิก (G) และทั้งสองชนิดแรกสลับกัน (MG) (ภาพที่ 2.3) อัตราส่วนระหว่าง M/G จะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของสาหร่าย คุณสมบัติการละลายและความหนืด (Lee และ Roger, 2013)

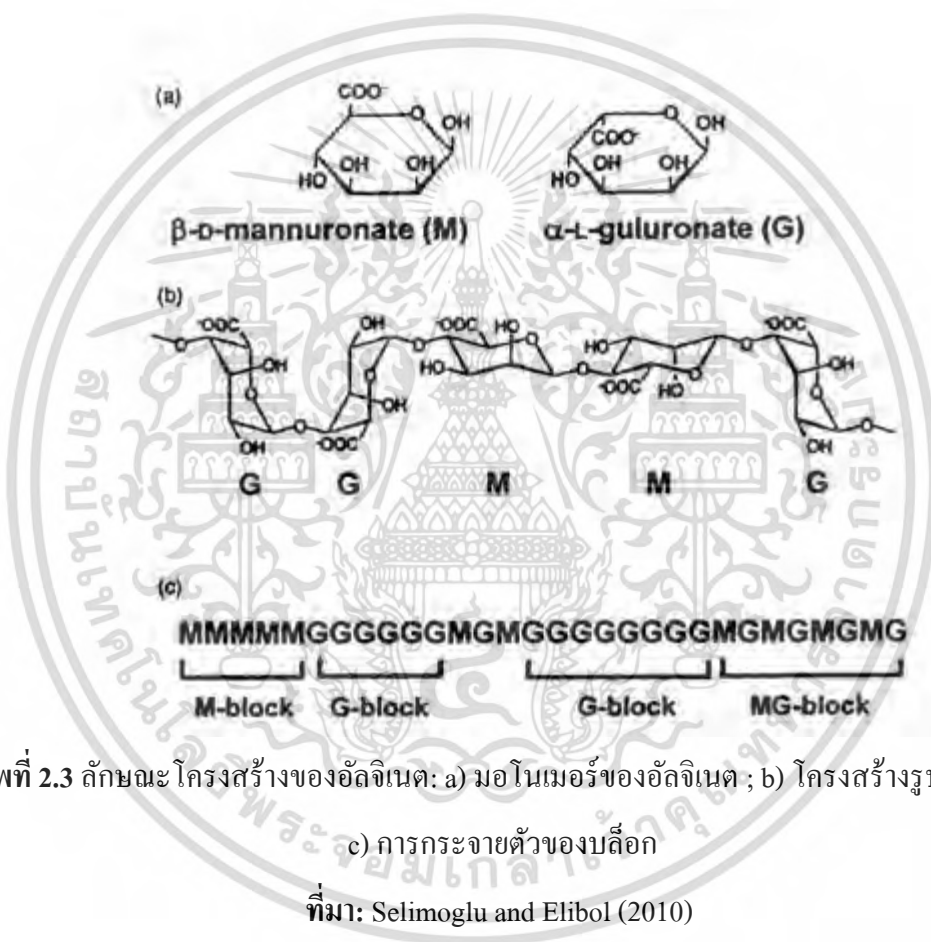
M block ประกอบด้วย β -D-mannuronic acid จะอยู่ในลักษณะโครงรูปแบบเก้าอี้ 1C_4 และการจับกันระหว่างโมโนเมอร์ในบล็อก M จะเป็นพันธะ β - 1,4 ไกลโคซิดิก สายพอลิเมอร์มีลักษณะเส้นตรงคล้ายริบบิ้น

G block ประกอบด้วย α -L-guluronic acid เกิดจาก axial group ทั้ง C1 และ C4 ทำให้สายพอลิเมอร์มีลักษณะคดไปมาเหมือนฟันเลื่อย ลักษณะเช่นนี้มีความสำคัญต่อการเกิดเจล

MG block ประกอบด้วย β -D-mannuronic acid และ α -L-guluronic acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสายโมเลกุลของอัลจินเตส่วนที่เป็นบล็อก G มีลักษณะโครงสร้างแบบริบบิ้นที่ถูกพับให้คงรูปมีความแข็งแรง เจลที่เตรียมได้จากอัลจินเตที่มีกรดกลูโรนิคมาก จะทำให้ความแข็งแรงของเจลสูง เจลที่ได้มีความแข็งแรง ไม่มีความยืดหยุ่น (Mancini และ McHugh, 2000) แต่ในบล็อก M จะเป็นลักษณะโครงสร้างริบบิ้นราบ (flat) มีการบิดงอได้ง่ายกว่าบล็อก G เจลที่เตรียมได้จากอัลจินเตที่มีกรดแมนนูโรนิคมาก จะให้เจลที่มีความอ่อนนุ่ม มีความยืดหยุ่น และในส่วนของบล็อก MG จะมีความแข็งแรงปานกลาง โดยอัลจินเตที่มีปริมาณ MG block มาก จะสามารถละลายน้ำได้ดี อัตราส่วนระหว่าง M/G จะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุกับไอออนโลหะ (วรรณ, 2549)



ภาพที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของอัลจินเต: a) โมโนเมอร์ของอัลจินเต ; b) โครงสร้างสายโซ่ ; c) การกระจายตัวของบล็อก

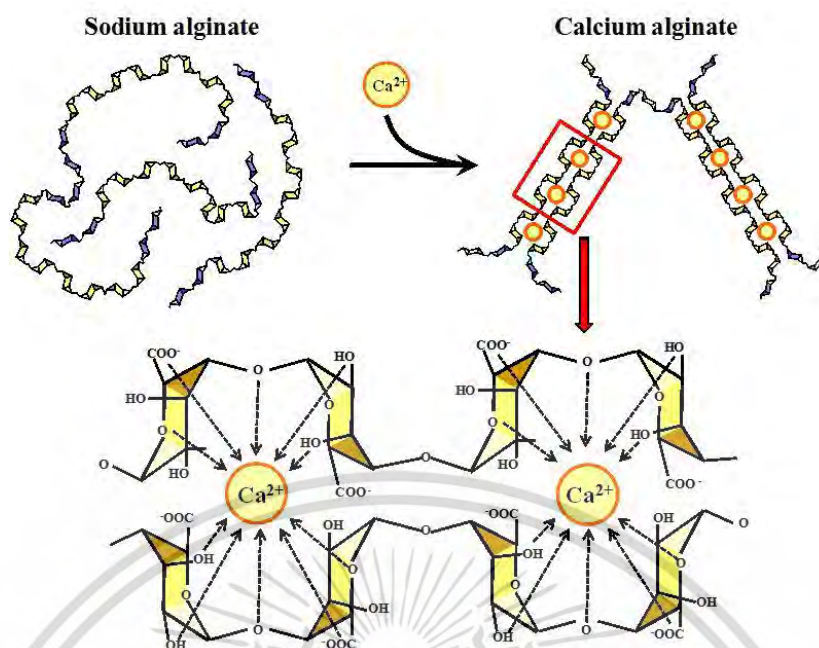
อัลจินเตสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดโดยใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว ทำให้อิมัลชันคงตัว สารทำให้เกิดเจล และสารยับยั้งการเกิดซินเนอริซิส (สิวาพร, 2546) การเกิดเจลของอัลจินเต เมื่อใช้ในปริมาณน้อย (ร้อยละ 0.5 – 1.0) และมีไอออนของแคลเซียมอยู่ด้วย จะเกิดเจลที่มีความกรอบแน่น และเจลที่ได้จะคงทนต่อความร้อน (วรรณ, 2549) อัลจินเตสามารถเกิดเป็นเจลได้เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีไอออนของโลหะที่เป็นพอลิวาเลนต์ เช่น Ca^{2+} , Ba^{2+} , Cu^{2+} และ Mg^{2+} (Kohn, 1975; Yalpani, 1988) ไอออนชนิดประจุบวก (cation) ที่มักใช้สำหรับเตรียมเจลจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้รู้เห็นควรแจ้งให้ทราบทันที
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลจินตคือ Ca^{2+} โดยเฉพาะ CaCl_2 จะสามารถเกิดเจลได้อย่างรวดเร็วและสามารถจับกับบล็อก G ได้ดี (Lee และ Roger, 2013) แทปไอออนจะเกิดการรวมตัวกับส่วนที่มีประจุลบในโครงสร้างอัลจินต คือ กรดกลูโรนิกตรงหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) ด้วยพันธะไอออนิก (ionic bond) ทำให้เกิดเป็นร่างแหในลักษณะที่คล้ายกับตาข่าย (ภาพที่ 2.4) (Stevens et al., 2004; George and Abraham, 2006; Puguan et al., 2014; Paques et al., 2014) นอกจากนี้ออกซิเจนอะตอมจากกรดกลูโรนิกยังสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับไอออนบวกได้อีกด้วย (Kashima และ Imai, 2012; Selimoglu และ Elibol, 2010; Kühbeck และคณะ, 2015) เจลของอัลจินตที่ได้จะมีความคงตัวที่อุณหภูมิห้อง ถ้าอัลจินตที่มีส่วนของกรดกลูโรนิกมาก และมีความยาวของสายพอลิเมอร์ของกลูโรนิกยาวๆ จะสามารถจับกับแคลเซียมได้ดี (high calcium reactivity) การเกิดเจลขึ้นอยู่กับการแพร่ของแคลเซียมไอออนเข้าสู่ชั้นเจล และจะแปรเปลี่ยนไปตามเวลาจนกระทั่งหมดพื้นที่ที่จะทำปฏิกิริยาให้เจลของแคลเซียมอัลจินตแข็งตัว (Glicksman, 1983)

การเกิดเจลจะขึ้นกับส่วนของบล็อก G ในสายโซ่ของอัลจินต ถ้าความยาวของบล็อก G มีขนาดเหมาะสม บล็อก G ของสายโซ่อัลจินตหนึ่งจะประกบกับบล็อก G ของอีกสายโซ่หนึ่ง โดยมีไอออนของ Ca^{2+} เป็นตัวเชื่อมระหว่างสาย ลักษณะคล้ายกล่องวางไข่ที่จับวางซ้อน ทำให้เกิดเป็นขอบเขตรอยต่อหรือ junction zone ที่เชื่อมโครงข่ายไว้ และมีน้ำอยู่ภายใน ทำให้มีโครงสร้างที่แข็งแรงมากยิ่งขึ้น สามารถเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำ (Nussinovitch, 1997)

ถ้าไม่มีไอออนของ Ca^{2+} ในสารละลายจะไม่มีกรเกิดเจล อัลจินตจะทำหน้าที่เป็นเพียงสารช่วยเพิ่มความหนืดให้สารละลายเท่านั้น การผสม Ca^{2+} ลงไปในสารละลายอัลจินต จะมีผลต่อลักษณะเจลที่ได้ ถ้าผสมเร็วเกินไป เจลที่ได้จะไม่ต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะเกิดเป็นจุด (spot gelation) ขึ้น และเจลที่เกิดจากอัลจินตเป็นเจลที่ผันกลับไม่ได้เมื่อได้รับความร้อน (thermoirreversible) นั่นคือทนต่อความร้อน (ไม่ละลาย) (Nussinovitch, 1997)



ภาพที่ 2.4 การเกิดเจลของอัลจินेट

ที่มา: Kashima และ Imai (2012)

2.3 การขึ้นรูปทรงกลม

เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม คือ กระบวนการห่อหุ้มของเหลวด้วยเจลให้เป็นทรงกลม เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้ในอาหารสมัยใหม่ (Modernist cuisine) เพราะทรงกลมเล็กๆ ที่ได้จะมีรูปร่างและเนื้อสัมผัสคล้ายไข่ปลาเคียว หรือทรงกลมขนาดใหญ่จะมีลักษณะคล้ายกับลูกแก้ว สามารถนำมาจัดจานอาหารให้ทันสมัยมากขึ้นหรือที่เรียกกันว่า “Molecular” โดยเป็นส่วนประกอบในเมนูอาหารทั้งคาวและหวาน (Vega และ Castells, 2012)

การขึ้นรูปทรงกลมมีพื้นฐานจากการใช้สมบัติของสารไฮโดรคอลลอยด์ขึ้นรูปอาหารเหลว เช่น น้ำผลไม้ สารสกัดจากเครื่องเทศ ซอส และนม เป็นต้น ให้มีรูปร่างกลม เช่น การใช้โซเดียมอัลจินेटละลายในอาหารเหลว หยดส่วนผสมอาหารเหลวลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เกิดเป็นแคลเซียมอัลจินेटซึ่งมีลักษณะกลม (Lee และ Roger, 2013) ซึ่งการขึ้นรูปทรงกลมสามารถทำให้มีขนาดของทรงกลมแตกต่างกันได้ และมีชื่อเรียกแตกต่างกัน ได้แก่ คาเวียร์ (caviar) ไข่ (egg) น็อคชี (gnocchi) ราวิโอลี (ravioli) เป็นต้น (Myhrovold และคณะ, 2011) การขึ้นรูปทรงกลมทั่วไปมีสองแบบ คือ

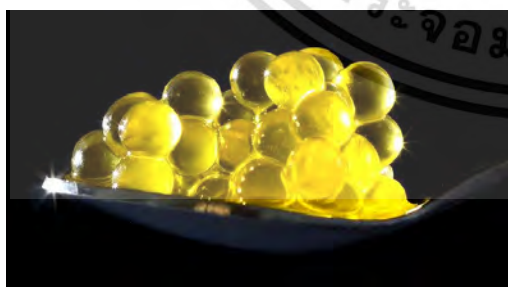
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การขึ้นรูปทรงกลมแบบพื้นฐาน (basic spherification)

การขึ้นรูปทรงกลมแบบพื้นฐาน เป็นเทคนิคที่ใช้การจุ่มของเหลวหรืออาหารเหลวที่มีโซเดียมอัลจิเนตผสมจุ่มลงในสารละลายแคลเซียม แคลเซียมไอออนจะทำการจับกับอัลจิเนตเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายภายในโมเลกุล เกิดกระบวนการเกิดเจลของแคลเซียมอัลจิเนต (Nilkamhaeng และ Puechkamutr, 2018) เจลที่ก่อตัวขึ้นจะเกิดเป็นเยื่อหุ้มรอบทรงกลม การเกิดเจลจะเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง แม้จะนำออกจากสารละลายแคลเซียมหรือล้างแล้วก็ตาม ส่งผลให้ทรงกลมมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นหากไม่ต้องการให้ทรงกลมเป็นเจลทั้งเม็ดควรรับประทาน หรือเสิร์ฟอย่างรวดเร็ว ข้อจำกัดของการขึ้นรูปทรงกลมแบบพื้นฐานคือของเหลวหรืออาหารเหลวจะต้องไม่มีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบ ไม่สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูง และของเหลวหรืออาหารเหลวที่มีความเป็นกรดสูง แต่สามารถเติมโซเดียมซิเตรทลงในอาหารเหลวเพื่อลดระดับความเป็นกรดในอาหาร

2.3.2 การขึ้นรูปทรงกลมแบบย้อนกลับ (reverse spherification)

การขึ้นรูปทรงกลมแบบย้อนกลับ เป็นเทคนิคที่สามารถทำได้โดยการจุ่มของเหลวที่มีส่วนผสมของแคลเซียมที่อาจอยู่ในรูปของกลูโคเนต หรือแคลเซียมแลคเตทในสารละลายโซเดียมอัลจิเนตทำให้เกิดเจลล้อมรอบทรงกลมและการเกิดเจลโดยวิธีการนี้ โดยทั่วไปไม่สามารถทำให้เกิดการฟอร์มเจลทั้งเม็ด การขึ้นรูปทรงกลมแบบย้อนกลับสามารถขึ้นรูปอาหารเหลวได้หลายชนิด โดยเฉพาะอาหารที่มีความเข้มข้นของแคลเซียมสูง และอาหารที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ สามารถหยุดการเกิดเจลได้เมื่อนำมาล้างน้ำ วิธีนี้สามารถนำไปใช้ได้หลายแบบ เช่น การทำไส้เค้กไข่ และน้ำมันมะกอก เป็นต้น



ก)



ข)

ภาพที่ 2.5 ก) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปทรงกลมแบบพื้นฐาน;

ข) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปทรงกลมแบบย้อนกลับ

ที่มา: Myhrovold และคณะ (2011)

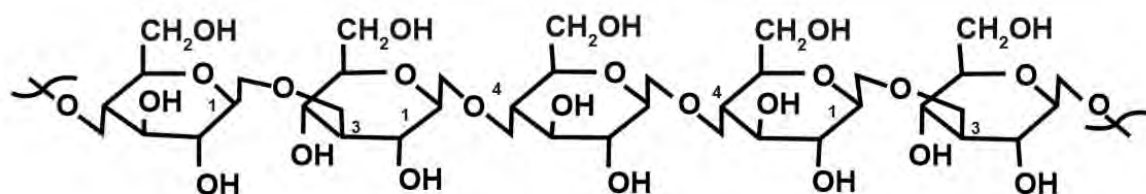
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เบตากลูแคน (B-glucan)

เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งพบได้ทั่วไปในผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดทั้งพืช และจุลินทรีย์ เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต เห็ด ยีสต์ สาหร่าย และถั่ว ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (Buckeridge และคณะ, 2004) และเป็น dietary fiber ในกลุ่มของไฟเบอร์ที่สามารถละลายได้ในน้ำ (soluble dietary fiber) (Perry และ Ying, 2016) โดยประกอบขึ้นจากน้ำตาลกลูโคสหลายโมเลกุล เชื่อมกันด้วยพันธะหลักคือ β -(1,3) linkage- β -D-glucopyranosyl และพันธะรองที่แตกต่างกันไปตามแหล่งของเบตากลูแคน (Ahmad และคณะ, 2012) เบตากลูแคนที่พบในรัฐพืชจะประกอบไปด้วยสายยาวของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วย β -(1,3), β -(1,4)- β -glucan (Ayhan, 2005) (ภาพที่ 2.6) แต่เบตากลูแคนที่ได้จากยีสต์จะประกอบด้วย β -(1,3), β -(1,6)- β -glucan ซึ่งจะทำให้โครงสร้างมีแขนงมากขึ้น (Gardiner, 2000)

ปริมาณที่ควรได้รับต่อวันของเบตากลูแคนที่สกัดได้จากข้าวโอ๊ตประมาณอย่างน้อย 3 กรัม ถึงจะมีความสามารถในการลดคอเลสเตอรอลได้ (FDA, 1996; 1997) และยังมีการศึกษาการเติมเบตากลูแคนลงในอาหารที่หลากหลาย ซึ่งสามารถต่อต้านการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Dongowski และคณะ, 2002) ช่วยชะลอความหิว การทำงานของลำไส้ดีขึ้น (Valle-Jones, 1985) ลดค่า Glycemic index (Jenkin และคณะ, 2002) และป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Wang และคณะ, 2002)

การเติมเบตากลูแคนลงในอาหารได้มีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลากหลายมากขึ้น ซึ่งสามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัว สารให้ความข้นหนืด สารทำให้เกิดเจล และสารช่วยให้มีกลิ่นคงตัว ซึ่งสามารถเติมลงในอาหารต่างๆ เช่น เครื่องดื่ม ขนมปัง ชูบ ขนมขบเคี้ยว และซอส (Dawkins และ Nnanna, 1995; Burkus และ Temelli, 2000) เพื่อให้อาหารมีคุณสมบัติมากขึ้นในด้านคุณค่าทางอาหาร หรือเป็นการควบคุมคุณภาพของอาหารให้เป็นไปตามลักษณะที่ต้องการ (Tudorica และคณะ, 2004) ในปัจจุบันได้มีการใช้เบตากลูแคนเป็นส่วนหนึ่งที่ผสมลงในอาหาร ซึ่งสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ออกสู่ตลาดได้มากขึ้น (Temelli, 2001)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของเบตากลูแคนจากธัญพืช

ที่มา: Ahmad และคณะ (2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของ B-glucan ของแหล่งที่พบที่แตกต่างกัน

Source	β -glucan content (%)
Beans	2.4-3.5
Canary seed	1.1-2.3
Corn/maize	0.1-1.3
Flax	0.3-0.7
Lentils	0.4-1.1
Millet	0.5-1.0
Peas	0.3-0.7
Rice	0.4-0.9
Rye	0.7-2.4
Spelt	0.6-1.2
Spring wheat	0.6-1.1
Winter wheat	0.4-1.4
Hulless barley	3.7-9
Barley	5-10
Oat	3.7
Barley mutant	7-12

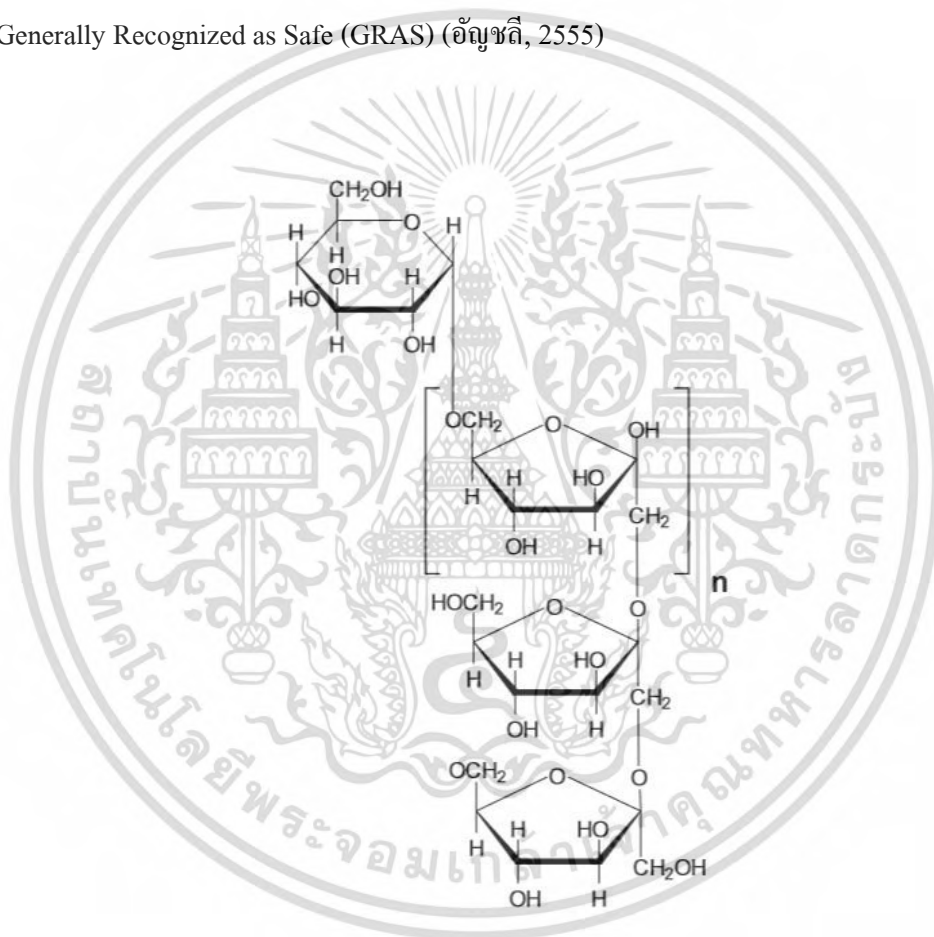
ที่มา: Ahmad และคณะ (2012)

2.5 อินนูลิน (inulin)

อินนูลินเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง (linear polydisperse carbohydrate) ภายในโมเลกุลประกอบด้วยฟรุกโตสต่อกันด้วยพันธะ β -(2,1) fructose linkage จำนวน 2-60 (n) โมเลกุล (ภาพที่ 2.7) ทั้งนี้อาจมีกลูโคสเป็นโมเลกุลเริ่มต้นจะเรียกว่า G_pF_n [glucopyranosyl-(fructofuranosyl)n-fructose] โครงสร้างของอินนูลินทั้งสองแบบนี้ต่างก็เป็นการผสมระหว่างคาร์โบไฮเดรตที่มีความยาวโมเลกุลแบบโอลิโกเมอร์ (oligomers) และพอลิเมอร์ (polymers) ซึ่งมี degree of polymerization (DP) ขึ้นอยู่กับแหล่งของพืช (อัญชิตี, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินนูลินพบในพืชหลายชนิด ได้แก่ หัวหอม, ข้าวสาลี, หน่อไม้ฝรั่ง (*Asparagus officianalis*), กระเทียม, Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) และราก chicory (*Cichorium intybus*) (Bornet, 2008; Roberfroid, 2007) ปริมาณอินนูลินในพืชต่างๆ เหล่านี้แสดงในตาราง 2.3 สารสกัดอินนูลินที่วางจำหน่ายส่วนใหญ่ได้มาจากราก chicory (*Cichorium intybus*) และบางส่วนได้จาก Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) สำหรับอินนูลินที่สกัดจากราก chicory มีองค์ประกอบของโอลิโกแซ็กคาไรด์ ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ และมีองค์ประกอบซูโครส ฟรุกโตส รวมกันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ประเทศในทวีปยุโรปจัดให้อินนูลินอยู่ในกลุ่มของสารสกัดธรรมชาติ ในขณะที่สหรัฐอเมริกาจัดให้อินนูลินอยู่ในหมวด Generally Recognized as Safe (GRAS) (อัญชลี, 2555)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของอินนูลิน

ที่มา: Braz de Oliveira และคณะ (2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แหล่งอาหารที่มีอินนูลินเป็นองค์ประกอบ

Inulin source	Plant part	Inulin content (g/100g)
Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	Roots	35
Sweet Leaf (<i>Stevia rebaudiana</i>)		18-23
Garlic, Chinese garlic (<i>Allium sativum</i>)	Bulb	14-23
Barley (<i>Hordeum vulgare</i>)	Grains	18-20
Chicory (<i>Cichorium intybus</i>)	Roots	11-20
Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i>)	Tuber	12-19
Asparagus (<i>Asparagus sp.</i>)	Roots	15
Agave (<i>Agave sp.</i>)	Stem	12-15
Dandelion (<i>Taraxacum officinale</i>)	Roots	12-15
Dahlia (<i>Dahlia pinata cav.</i>)	Tuber	10-12
Suma (<i>Pfalia glomerate</i>)	Roots	11.45
Onions (Red & White), shallot (<i>Allium cepa, Allium sp.</i>)	Bulb	5-9
Burdock (<i>Arctium sp.</i>)	Roots	8.3-9.9

ที่มา: Shoaib และคณะ (2016)

การที่อินนูลินมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -(2,1) ทำให้มีคุณสมบัติคล้ายใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber) ให้พลังงานต่ำมาก เพียง 1.4 แคลอรีต่อกรัม อินนูลินช่วยควบคุมระดับน้ำตาล ช่วยลดระดับของไขมัน (Letexier และคณะ, 2003) มีค่า GI (glycemic index) ต่ำ และยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ของมนุษย์ เช่น บิฟิโดแบคทีเรีย (bifidobacteria) และ แลคโตบาซิลลัส (lactobacillus) เป็นต้น (Karimi และคณะ, 2015; Roberfroid, 2000) ทั้งยังช่วยลดจุลินทรีย์ก่อโรค และเพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายอีกด้วย (Kelly-Quagliana และคณะ, 2003) โดยอินนูลินเป็นสารที่สำคัญที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารหลากหลายชนิด ถือเป็นโอกาสให้กับวงการอุตสาหกรรมอาหาร ที่ต้องการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ ด้วยการเป็นเส้นใยอาหาร อาหารควบคุมน้ำหนัก อาหารที่ช่วยควบคุมน้ำตาล และไขมัน อาหารที่กระตุ้นจุลินทรีย์ลำไส้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น (ศิริพร และคณะ, 2555) นอกจากนี้อินนูลินยังถูกนำไปใช้อุตสาหกรรมอาหารเพื่อคุณสมบัติบางประการ เช่น คุณสมบัติในการเพิ่มกากใยอาหาร คุณสมบัติในการเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) คุณสมบัติในการเป็นสารทดแทนไขมัน (fat replacer) คุณสมบัติในการเป็นสารทดแทนน้ำตาล (sugar replacer) เป็นต้น (Shoaib และคณะ, 2016) ตัวอย่างการนำอินนูลินไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการนำอินนูลินไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

Application	Function	Concentration level (%w/w)
Bakery foods (bread, cakes)	Prebiotic and fiber preservation of moisture Sugar replacer	2-15
Breakfast cereals	Fiber and prebiotic Crispiness and increase in size	2-25
Dairy products	Replacement of fat Sugar Synergy with sweetness Texture and mouth feel Foam stabilization Fiber and prebiotic	2-10
Meat products	As a fat replacer Texture and stability Fiber	2-10
Frozen desserts	Replacement of fat and sugar Improve texture Melting behavior Fiber and prebiotic Less energy value	2-10

ที่มา: Shoaib และคณะ (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อาซาอิเบอร์รี่ (Acai berry)

อาซาอิเบอร์รี่เป็นปาล์มเบอร์รี่ชนิดหนึ่ง (ภาพที่ 2.8) อยู่ในจีนัส *Euterpe* มีถึง 28 สปีชีส์ พบได้ในภูมิภาคอเมริกากลาง อเมริกาใต้และพื้นที่ในแถบลุ่มน้ำอะเมซอน โดยส่วนใหญ่จะมีเพียงสามสปีชีส์ที่พบได้บ่อย คือ *E. oleracea*, *E. precatoria* และ *E. edulis* อย่างไรก็ตาม จะมีเพียงแค่สองชนิดแรกเท่านั้นที่นิยมใช้บริโภคเป็นผลไม้ (de Lima Yamaguchi และคณะ, 2015) ต้นปาล์มจะมีความสูงถึง 20-30 เมตร (Janick และ Paul, 2008) และจะมีก้านเป็นจำนวนมากในแต่ละพวง ซึ่งอาจจะมีผลเบอร์รี่ถึง 900 ลูกในแต่ละพวง (Campos และคณะ, 1991) ผลของอาซาอิเบอร์รี่จะมีสีม่วงดำเมื่อสุกและจะมีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร



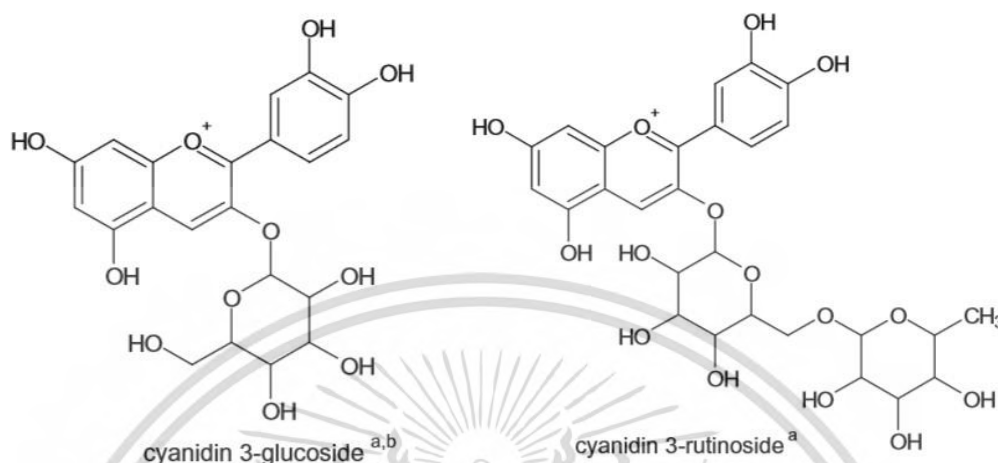
ภาพที่ 2.8 ลักษณะลำต้นและผลของอาซาอิเบอร์รี่

ที่มา: Schreckinger และคณะ (2010)

การที่ผลเบอร์รี่มีสีม่วงดำ จึงทำให้มีแอนโทไซยานินสูงรวมถึงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive substance) อีกมากมาย มีรายงานว่าพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลเบอร์รี่ถึง 90 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยสารในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ประมาณร้อยละ 31 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ประมาณร้อยละ 23 สารในกลุ่มลิกนอยด์ (lignoids) ประมาณร้อยละ 11 และแอนโทไซยานินประมาณร้อยละ 9 แอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดคือนผลเบอร์รี่ คือ cyanidin-3-glucoside และ cyaniding-3-rutinoside (Gallori และคณะ, 2004; Schauss และคณะ, 2006; Pacheco-Palencia และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะ, 2007) (ภาพที่ 2.9) นอกจากนี้ยังคงพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกลุ่มอื่นๆอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2.5



ภาพที่ 2.9 แอนโทไซยานินที่พบมากในผลอาซาฮีเบอร์รี่

ที่มา: de Lima Yamaguchi และคณะ (2015)

ผลของอาซาฮีมีรายงานว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ORAC value) ประมาณ 1,027 mmol TE/g จากผลเบอร์รี่แห้ง 100 กรัม (Krasovskaya, 2012) สูงเป็นอันดับสองรองจาก Maqui berry และมีสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สูงกว่าองุ่น 10 เท่า สูงกว่าราสเบอร์รี่ (raspberry) 4 เท่า และสูงกว่าบลูเบอร์รี่ถึง 2 เท่า จึงทำให้อาซาฮีเบอร์รี่ถูกจัดว่าเป็นผลไม้ในกลุ่มของสุดยอดผลไม้ (super fruits) และยังอยู่ในอันดับ 1 ในกลุ่มของอาหารที่ให้สารต้านอนุมูลอิสระ (Grange และ Bennert, 2011) และยังเป็นผลไม้ที่ดีที่สุดจากผลไม้ 15 ชนิด (abiu, acerola, acai, arassa-boi, bacaba, bacuri, buriti, caja, cajarana, cupuassu, cashew, graviola, murici, noni and tamarindo) ของอะเมซอน เนื่องจากมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี ABTS ดีที่สุด และยังคงมีสารประกอบฟีนอลิกอยู่ค่อนข้างมาก (Canuto และคณะ, 2010) ความสามารถในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพแสดงในตารางที่ 2.6 นอกจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพแล้ว ในผลของเบอร์รี่ยังคงมีสารอาหารชนิดอื่นอยู่ด้วย เช่น กรดลิโนเลอิก กรดโอเลอิก กรดปาล์มมาติก กรดลิโนเลนิก (Schauss และคณะ, 2006) แคลโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ วิตามินอี วิตามินซี (Costa และคณะ, 2010; Ribeiro และคณะ, 2010) อีกทั้งยังเป็นแหล่งของสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม โซเดียม สังกะสี เหล็ก เป็นต้น (Costa และคณะ, 2013; Rufino และคณะ, 2010; Souza และคณะ, 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในส่วนต่างๆ ของอาซาอิเบอร์รี่

Phytochemical constituent (phenolics)	Plant part used
Catechin, quercetin-rutinoside, peonidin-rutinoside, protocatechuic acid, procyanidin dimer, procyanidin trimer, procyanidin tetramer	Fruit
Cyanidin-3-glucoside, pelargonidin-3-glucoside, ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid, gallic acid, ellagic acid, vanillic acid, p-coumaric acid	Fruit
Homoorientin, orientin, isovitexin, cyanidin-3-O-glucoside, cyanidin-3-O-rutinoside	Fruit
Protocatechuic acid, procyanidin dimer, procyanidin trimer, procyanidin tetramer, procyanidin pentamer, procyanidin pentamer, epicatechin	Seed

ที่มา: Schreckinger และคณะ (2010)

ชาวบราซิลมีการบริโภคเนื้อของผลอาซาอิเบอร์รี่ในลักษณะของอาหารหลักหรือเป็นเครื่องดื่ม มีการผสมเนื้อเบอร์รี่กับแป้งมันสำปะหลังกับน้ำตาลเพื่อบริโภคเป็นอาหารหลัก หรือมีการผสมเนื้อเบอร์รี่ลงในไซรัปจากผลไม้ต่างๆ (Menezes และคณะ, 2008; Pagliarussi, 2010) นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปอาซาอิเบอร์รี่เป็นอาหารชนิดต่างๆ หรือมีการผสมกับอาหารในกลุ่มต่างๆ เพื่อให้เกิดรสชาติที่ดีขึ้น หรือเพื่อเพิ่มคุณประโยชน์ทางด้านสุขภาพ เช่น การทำเป็นน้ำอาซาอิเข้มข้น เนื้อเบอร์รี่แช่แข็ง น้ำมันจากผลเบอร์รี่ (Sabbe และคณะ, 2009; Schauss, 2010) ไอศกรีม โยเกิร์ต ครีม แยม อาซาอิผง เหล้าจากอาซาอิเบอร์รี่ นมระเหยน้ำกับอาซาอิ โขดาคาเป็นต้น (Alexandre และ Cunha, 2004; Heinrich และคณะ, 2011; Homma และคณะ, 2006; Pagliarussi, 2010) หรือเพิ่มคุณสมบัติบางอย่างให้กับอาหาร เช่น การเติมอาซาอิเบอร์รี่ลงในอาหารเพิ่มยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารได้นานขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชันได้ดี (de Lima Yamaguchi และคณะ, 2015) และใช้เป็นสียผสมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ความสามารถในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลและใบของอาซาอิเบอร์รี่

Species	Part of plant	Biological activity evaluated
<i>E. oleracea</i>	Pulp	Scavenging free radicals and inhibition of the oxidation activity of liposomes
	Pulp	Inhibition of activity in cultured MCF-7 cells stressed by H ₂ O ₂
	Pulp	Inhibition of the nitrite oxide production and expression of iNOS
	Pulp	Reduction in oxidative damage and inflammation in brain cells
	Pulp	Reduction of coronary disease risk due to the vasodilation effect
	Pulp	Inhibition of pro-inflammatory cytokines through regulating inflammatory mediators
	Pulp	Antigenotoxic effects
	Pulp	Protective effect against rat colon carcinogenesis
	Pulp	Protective effect by reducing pulmonary harm induced by cigarette smoke
	Pulp	Inhibition of adenocarcinoma cells of HT- 29 human colon
	Pulp	Antiproliferative activity by brain glioma cells and MDA-468 human breast cancer cells
	Pulp	Antiproliferative activity and pro-apoptotic against HL-60 cells responsible for leukemia
	Pulp	Antinociceptive effect
	Pulp	Atheroprotective effect
	Pulp	Hypocholesterolemic effect
Flowers and pulp	Inhibition of nitric oxide production from RAW 264.7 cells in culture stimulated with bacterial lipopolysaccharide (LPS) and interferon-alpha (IFN-alpha)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Species	Part of plant	Biological activity evaluated
<i>E. precatorea</i>	Pulp	Reductions in lipid peroxidation during oxidative stress and cellular protection from reactive oxygen species in humans
	Pulp	Antioxidant capacity in plasma
	Root	Immunomodulatory activity
	Root	Antiplasmodial activity
	Seed	Antioxidant activities against the oxidation of linoleic acid and free radical-scavenging
	Pulp	Free radical-scavenging and antioxidant capacity by cellular models
	Pulp	Potential anti-inflammatory effects
	Root	Cytotoxic and antioxidant activity

ที่มา: De Lima Yamaguchi และคณะ (2015)

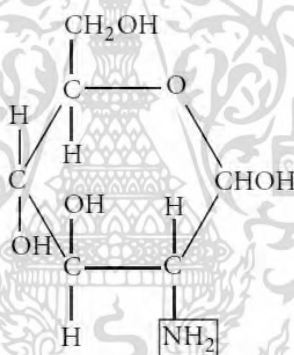
นอกจากนี้ยังมีการใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น แคมพู ครีมนวดผสม โลชั่นทาตัว เป็นต้น เนื่องจากอาชามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง จึงช่วยชะลอความแก่ และช่วยในการบำรุงผิว (Frasson และ Canssi, 2008; spada และคณะ, 2009; Herculano, 2013) นอกจากนี้ยังมีการใช้ อาชามีเบอร์รี่เป็นอาหารเสริมต่างๆ ซึ่งได้มีรายงานว่าไม่มีความเป็นพิษหรือผลกระทบต่อสัตว์ทดลอง และร่างกายมนุษย์ (Clewel และคณะ, 2010; Bobio และคณะ, 2000)

2.7 กลูโคซามีน (Glucosamine)

กลูโคซามีน (glucosamine) เป็นสารประกอบประเภทน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) (2-amino-2-deoxy-D-glucose) (ภาพที่ 2.10) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 179.2 Da (Huskisson, 2008) เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง polysaccharide ของไคตินและไคโตซาน สามารถสกัดได้จากสัตว์พวก โครงร่างแข็งภายนอก เช่น กุ้ง ปู รวมถึงปลาหมึกด้วย (Heath-Heckman และ McFall-Ngai, 2011) โดยปกติกลูโคซามีนพบในร่างกายของมนุษย์และเป็นตัวตั้งต้นในการสร้างโปรตีนและไขมันได้ กลูโคซามีนสามารถสังเคราะห์ได้ในร่างกายและจะถูกนำไปใช้เป็นส่วนตั้งต้นในการสร้างสารขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีโกลิแคน (proteoglycan) ไกลโคโปรตีน (glycoprotein), ไกลโคซามิโนไกลแคน (glycosaminoglycan), กรดไฮยาลูโรนิก (hyaluronic acid) (Simanek และคณะ, 2005) สารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบในเนื้อเยื่อเกือบทุกชนิดของร่างกาย โดยจะพบได้มากที่กระดูกอ่อน (cartilage) ซึ่งจะอยู่ที่บริเวณส่วนปลายของกระดูกโดยเฉพาะที่ข้อต่อ กระดูกอ่อนนั้นประกอบด้วยเมทริกซ์ของเส้นใยคอลลาเจนที่มีโปรตีโกลิแคนอยู่ภายใน โดยโปรตีโกลิแคนเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่มีความสามารถในการดึงน้ำเข้ามาหาตัวเองได้ดี จึงทำให้กระดูกอ่อนมีความยืดหยุ่น และสามารถรองรับการเคลื่อนไหวของกระดูกข้อต่อได้ ซึ่งจัดเป็นบทบาทสำคัญของกลูโคซามีนในเรื่องการทำงานของข้อ (Huskisson, 2008) ทำให้กลูโคซามีนมีผลในการช่วยบรรเทาโรคข้อเสื่อม (Osteoarthritis) (Reginster และคณะ, 2001; Pavelká และคณะ, 2002) การรับประทานกลูโคซามีนวันละ 1200-1500 มิลลิกรัมต่อวัน มีรายงานว่ามียผลในการรักษาโรคข้อเสื่อมได้ (Black และคณะ, 2009)



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของกลูโคซามีน

ที่มา: Salazar และคณะ (2014)

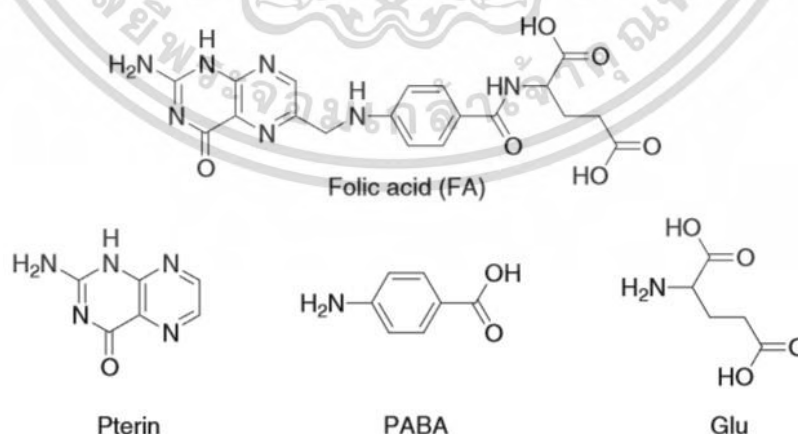
โรคข้อเสื่อม (Osteoarthritis) เป็นโรคที่เป็นปัญหาเกี่ยวกับประชากรของโลกประมาณ 15% ของประชากรโลกทั้งหมด มีโอกาสเกิดขึ้นกับผู้สูงอายุที่มีอายุตั้งแต่ 65 ปีขึ้นไป (Guía Clínica, 2007) และจะพบได้ในผู้หญิงมากกว่าผู้ชายถึงสามเท่า (Spector และ MacGregor, 1999) ถือได้ว่าเป็นโรคเรื้อรังชนิดหนึ่ง ซึ่งมีการสูญเสียกระดูกอ่อนระหว่างข้อต่อของกระดูก ทำให้โรคนี้จะเกี่ยวกับข้อต่อต่างๆ เช่น หัวเข่า ข้อมือ สะโพก เป็นต้น ทำให้เกิดอาการปวดเมื่อย เคลื่อนไหวลำบาก (Salazar และคณะ, 2014) นอกจากนี้กลูโคซามีนยังมีผลยับยั้งการทำงานของสารอักเสบได้หลายชนิด จึงมีผลการอักเสบของข้ออีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับประทานกลูโคซามีนต่อเนื่องทุกวัน นอกจากจะมีข้อดีในการรักษาหรือชะลอโรคข้อเสื่อมได้แล้ว อย่างไรก็ตามยังมีรายงานว่าผู้ที่ได้รับกลูโคซามีนปริมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อวัน ประมาณ 3.5 % จากผู้ทดสอบ 1,208 คน จะมีอาการเกี่ยวกับระบบการย่อยอาหาร เช่น ปวดท้อง ท้องเสีย เสียดท้อง คลื่นไส้ เป็นต้น (Tapadinha และคณะ, 1982) อย่างไรก็ตาม กลูโคซามีนที่ผลิตจากเปลือกของสัตว์ทะเล อาจมีการแพ้สำหรับผู้ที่แพ้สัตว์ทะเลเปลือกแข็ง ซึ่งจะเกิดอาการลมพิษ (Matheu และคณะ, 1999) และหอบหืด (Tallia และ Cardone, 2002) เป็นต้น

2.8 กรดโฟลิก (Folic acid)

กรดโฟลิก (Folic acid) มีขนาดโมเลกุลขนาดเล็ก เป็นที่รู้จักกันในชื่อ กรดโฟลิก โครงสร้างโมเลกุลของกรดโฟลิกประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ Glutamic acid (Glu), p-aminobenzoic acid (PABA) และ pteridine (ภาพที่ 2.11) ส่วนของ pteridine จะเชื่อมกับ PABA ด้วย methylene bridge และ PABA จะเชื่อมกับ Glu ด้วย peptidic bond เพื่อเกิดเป็น โครงสร้างของกรดโฟลิก (Vora และคณะ, 2002) กรดโฟลิกจะเป็นสารประกอบที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น ถูกใช้ในอาหารเสริมหรือการเสริมลงในอาหาร ซึ่งค่อนข้างที่จะเสถียรมากกว่าโฟเลต ส่วนโฟเลตจะพบได้ในธรรมชาติและอยู่ในส่วนประกอบของอาหารที่มาจากธรรมชาติทั่วไป ซึ่งสามารถที่จะสูญเสียไปในระหว่างการเก็บรักษาได้ (Eitenmiller และ Landen, 1999; Marchetti และคณะ, 2014) โดยที่กรดโฟลิกประมาณ 20-75 % ที่พบในอาหารจะสูญหายไประหว่างการเก็บอาหารและในขั้นตอนการเตรียม (Spallholz และคณะ, 1998)



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของกรดโฟลิก

ที่มา: Gazzali และคณะ (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดโฟลิกเป็นสารอาหารที่จัดอยู่ในกลุ่มวิตามินบีที่สามารถละลายน้ำได้ค่อนข้างง่าย ประมาณ 0.01 mg/mL ซึ่งสามารถเพิ่มการละลายได้โดยละลายในกรดหรือด่าง (Araújo และคณะ, 2011) มีลักษณะเป็นผลึกสีเหลือง ทนกรด มักถูกทำลายด้วยความร้อนในสารละลายที่เป็นด่าง มีความไวต่อแสง แต่คงตัวต่อความร้อนในสภาวะที่เป็นกรด (รัชณี, 2544)

โดยปกติแล้วแบคทีเรียในลำไส้สามารถสังเคราะห์กรดโฟลิกได้ จึงไม่มีปัญหาในคนปกติ ซึ่งร่างกายของเราจะเก็บกรดโฟลิกไว้ในตับประมาณ 5 มิลลิกรัม นอกนั้นถูกขับถ่ายออกมาทางปัสสาวะ (สิริพันธุ์, 2547) ในธรรมชาติกรดโฟลิกจะพบอยู่ในรูปของโฟเลต (folate) โดยพบทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ อาหารที่มีปริมาณโฟเลตสูง ได้แก่ พืชใบเขียวต่างๆ ผลไม้ ธัญพืช พืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วแดง ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ในสัตว์จะพบในตับ ไต และเนื้อสัตว์ จุลินทรีย์ที่พบในปริมาณสูงคือ ยีสต์ (นิธิยา, 2537; Allen และคณะ, 2006) และยังสามารถพบได้ในกล้วย ไข่แดง ถั่ว และผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากข้าวทั้งเมล็ด อย่างไรก็ตาม การดูดซึมกรดโฟลิกอาจลดลงเนื่องจาก การติดเชื้อแบคทีเรียต่างๆ เช่น *Giardia lamblia* หรือการติดต่อทางพันธุกรรม หรือการติดเชื้อไวรัสเรื้อรัง ทำให้อาจมีปัญหาในเรื่องของการขาดกรดโฟลิกได้ (Allen และคณะ, 2006)

การขาดกรดโฟลิกถือได้ว่าเป็นปัญหาใหญ่ของโลก มีประชากรประมาณร้อยละ 30 ที่มีปัญหาเรื่องการขาดกรดโฟลิก (Lindenbaum และ Allen, 1995; Seshadri, 2001) ซึ่งจะก่อให้เกิดหลายปัญหาสุขภาพตามมา หนึ่งในนั้นคือการเพิ่มของความเสี่ยงต่อความผิดปกติชนิดรุนแรงของทารกแรกเกิดที่เรียกว่า หลอดประสาทปลายเปิด (neural tube defect, NTDs) ที่เป็นปัญหาสำคัญในประเทศที่กำลังพัฒนา (Off และคณะ, 2005) ส่งผลให้ทารกแรกเกิดมีการเสียชีวิตหรือความผิดปกติอย่างถาวรถึง 300,000 รายต่อปี (Shibuya และ Murray, 1998) มีรายงานว่าทารกแรกเกิดมีความผิดปกติของหลอดประสาทปลายเปิด (NTDs) ถึง 10.6-17 cases ต่อ 10,000 คนของทารกแรกเกิด (Berry และคณะ, 2010) โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น ประเทศบังกลาเทศ มีรายงานว่าทารกแรกเกิดมีความผิดปกติของร่างกายหรือเป็นอัมพาตเนื่องจากการขาดกรดโฟลิกถึง 8,000 คน (Seshadri, 2001) ดังนั้นในหลายๆประเทศจึงมีการเสริมกรดโฟลิกลงในอาหารที่มีการบริโภคเป็นอาหารหลัก ภายหลังการเสริมกรดโฟลิกลงในอาหาร มีรายงานว่ามีการลดลงของปัญหาความผิดปกติของหลอดประสาทปลายเปิด (NTDs) ประมาณร้อยละ 19-32 ในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี 1998 (Williams และคณะ, 2002; Boulet และคณะ, 2003) นอกจากนี้ยังพบการลดลงของปัญหาความผิดปกติของหลอดประสาทปลายเปิด (NTDs) ประมาณร้อยละ 19-55 ในประเทศแคนาดา ชิลี อาเจนตินา บราซิล คอสตาริกา อเมริกาใต้ อีกด้วย (Chen และ Rivera, 2004; Hertrampf และ Cortes, 2004; Sayed และคณะ, 2008; Ray และคณะ, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษา Wongkham และคณะ (2016) พบว่าในประเทศไทยมีสตรีตั้งครรภ์มีความรู้ในการรับประทานกรดโฟลิกเพื่อป้องกันความพิการแต่กำเนิดน้อย มีเพียงร้อยละ 13.70 และ 38.16 ที่รับประทานกรดโฟลิกก่อนตั้งครรภ์ 3 เดือนและในระหว่างการตั้งครรภ์ มีสตรีตั้งครรภ์ร้อยละ 53.33 มีความรู้ว่าการขาดกรดโฟลิก ในสตรีตั้งครรภ์จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติของพัฒนาการของสมองและระบบประสาท ดังนั้นการขาดกรดโฟลิกของประชาชน โดยเฉพาะหญิงตั้งครรภ์จึงเป็นปัญหาสำคัญของประเทศไทย

ตารางที่ 2.7 ปริมาณกรดโฟลิกที่บริโภคต่อวันโดยที่ไม่เกิดโรคเรื้อรัง Recommended Dietary Allowances (RDAs)

Age	Male	Female	Pregnancy	Lactation
Birth to 6 months*	65 µg/day	65 µg/day		
7-12 months*	80 µg/day	80 µg/day		
1-3 years	150 µg/day	150 µg/day		
4-8 years	200 µg/day	200 µg/day		
9-13 years	300 µg/day	300 µg/day		
14-18 years	400 µg/day	400 µg/day	600 µg/day	500 µg/day
19+ years	400 µg/day	400 µg/day	600 µg/day	500 µg/day

*Adequate Intake (AI)

ที่มา: Institute of Medicine (1998)

ปริมาณของกรดโฟลิกที่ควรบริโภคต่อวัน คือ 350 ไมโครกรัม ในผู้ใหญ่ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดโรค homocysteinemia (deBree และคณะ, 1997) และ 400 ไมโครกรัม สำหรับสตรีมีครรภ์ซึ่งสามารถป้องกันการเกิด ปัญหาความผิดปกติของหลอดประสาทปลายเปิด (NTDs) (Hao และคณะ, 2008; Mastroiacovo และ Leoncini, 2011; Centers for Disease Control and Prevention, 1992) ปริมาณกรดโฟลิกที่บริโภคต่อวันโดยที่ไม่เกิดโรคเรื้อรัง หรือ Recommended Dietary Allowances (RDAs) แสดงในตารางที่ 2.7 อย่างไรก็ตาม การบริโภคกรดโฟลิกไม่ควรเกิน 1,000 ไมโครกรัมต่อวัน (tolerable upper intake level: UL) (Mastroiacovo และ Leoncini, 2011) ดังแสดงในตารางที่ 2.8 ซึ่งค่าที่ต่ำที่สุดที่อาจก่อให้เกิดอันตราย คือ 5,000 ไมโครกรัม/วัน อาจทำให้ไปบดบังการขาดวิตามินบี 12 ได้ (Institute of Medicine, 2001) นอกจากนี้ยังแนะนำให้รับประทานกรดโฟลิกเสริมในหญิงตั้งครรภ์ทุกวัน และแนะนำให้รับประทานกรดโฟลิกเสริมในหญิงตั้งครรภ์ทุกวัน และแนะนำให้รับประทานกรดโฟลิกเสริมในหญิงตั้งครรภ์ทุกวัน และแนะนำให้รับประทานกรดโฟลิกเสริมในหญิงตั้งครรภ์ทุกวัน

Medicine, 1998) แต่อย่างไรก็ตาม การบริโภคกรดโฟลิกในปริมาณเล็กน้อย 150-1,000 ไมโครกรัม/วัน จะไม่พบความเป็นพิษต่อร่างกาย (Hunter และ Barnes, 1970; Gibberd และคณะ, 1970) Yang และคณะ (2010) มีการสำรวจประชากรในสหรัฐอเมริกาถึงปริมาณการได้รับกรดโฟลิกต่อวัน พบว่า มีการได้รับกรดโฟลิกประมาณ 138 ไมโครกรัม/วัน ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมากและจะไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย

ตารางที่ 2.8 ปริมาณกรดโฟลิกที่บริโภคได้สูงสุดต่อวัน (tolerable upper intake level: UL)

Age	Male	Female	Pregnancy	Lactation
Birth to 6 months	Not possible to establish*	Not possible to establish*		
7-12 months	Not possible to establish*	Not possible to establish*		
1-3 years	300 µg/day	300 µg/day		
4-8 years	400 µg/day	400 µg/day		
9-13 years	600 µg/day	600 µg/day		
14-18 years	800 µg/day	800 µg/day	800 µg/day	800 µg/day
19+ years	1,000 µg/day	1,000 µg/day	1,000 µg/day	1,000 µg/day

* Breast milk, formula, and food should be the only sources of folate for infants

ที่มา: Institute of Medicine (1998)

2.8.1 ประโยชน์ของกรดโฟลิก

1) โฟเลตเป็นสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ โดยเฉพาะกลุ่มหญิงวัยเจริญพันธุ์ กลุ่มหญิงตั้งครรภ์ และกลุ่มวัยเด็ก ช่วยลดความเสี่ยงต่อภาวะโลหิตจางในทารกและหญิงตั้งครรภ์ ช่วยลดความเสี่ยงต่อความผิดปกติชนิดรุนแรงทารกแรกเกิดที่เรียกว่า หลอดประสาทปลายเปิด (neural tube defect, NTDs) (Smithells และคณะ, 1983; Mulinare และคณะ, 1988; Bower และ Stanley, 1989; Czeizel และ Dudas, 1992)

2) ลดความเสี่ยงจากการเป็นโรคหัวใจ โรคความดันโลหิต โรคมะเร็ง โรคสมองเสื่อม (Alzheimer dementia) ในผู้สูงอายุ (Wald และคณะ, 2002; Allen และคณะ, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เป็นโคเอนไซม์ที่สำคัญในการสร้างสารพิวรีน (purine) ไพริมิดีน (pyrimidine) สำหรับสังเคราะห์และซ่อมแซมกรดนิวคลีอิก DNA และ RNA (Herrmann และ Obeid, 2011; Choi และ Manson, 2002) และเกี่ยวข้องกับการพัฒนาของเนื้อเยื่อ การสร้างเซลล์ใหม่ เช่น การสังเคราะห์เซลล์ของตัวอ่อน เป็นต้น (Borradale และคณะ, 2014; Vorobei และ Vorobei, 2011)

4) เป็นโคเอนไซม์ที่เรียกว่าเตตระไฮโดรโฟเลต (tetrahydrofolate, FH_4) ที่ใช้ในปฏิกิริยาต่างๆ เช่น การสังเคราะห์เมไทโอนีนจากโฮโมซิสเตอีน และการสังเคราะห์กรดอะมิโนเซรีนจากไกลซีน เพิ่มความอยากอาหารและกระตุ้นการสร้างกรดกลีโค ทำหน้าที่ขนส่งไขมันออกจากตับเพราะฉะนั้นป้องกันโรคไขมันอุดตันในตับ (fatty liver) สังเคราะห์โคลีน (choline) จากสารแรกเริ่ม เอทานอลามีน (precursor ethanolamine) และช่วยเปลี่ยนกรดนิโคตินิกให้เป็นเอนเมทิล นิโคตินาไมด์ (N-methyl nicotinamide) เพื่อขับถ่ายออกไป (สิริพันธุ์, 2547)

5) เกี่ยวข้องกับการสร้างเม็ดเลือดแดง โดยที่จะเป็นตัวส่งคาร์บอนในการสร้างฮีเม (Heme) (ฮีเม คือ โปรตีนที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบพบในเฮโมโกลบิน และจำเป็นสำหรับการสร้างเม็ดเลือดแดง) อีกด้วย (สิริพันธุ์, 2547) และมีความเกี่ยวข้องกับวิตามินบี 12 การได้รับกรดโฟลิกในปริมาณที่เพียงพอช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเซลล์เม็ดเลือดแดงใหญ่ผิดปกติ (megaloblastic anemia) (Allen และคณะ, 2006)

ตัวอย่างของการเสริมสารอาหารลงในอาหาร มีงานวิจัยทางด้านการเสริมกรดโฟลิกในเส้นขนมจีนเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และได้มีการตรวจสอบคุณภาพของเส้นขนมจีน ซึ่งเส้นขนมจีนที่ผ่านการเสริมกรดโฟลิกจะมีค่าความสว่างลดลงเล็กน้อย และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม อีกทั้งการแปรรูปเส้นขนมจีนและการเก็บรักษาจะมีผลต่อปริมาณกรดโฟลิก ซึ่งจะมีปริมาณลดลง จากข้อมูลที่ได้ทำให้เกิดข้อเสนอแนะในการปรับปรุงกระบวนการแปรรูปเพื่อลดการสูญเสียกรดโฟลิกในระหว่างการผลิตขนมจีนเสริมกรดโฟลิก ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนากระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป (ภัทธิดา และประพันธ์, 2554)

เนื่องจากการขาดกรดโฟลิกเป็นปัญหาสำคัญของโลกและส่งผลกระทบต่ออัตราการตายและความผิดปกติของทารกแรกเกิดสูงมาก (Shibuya และ Murray, 1998) ทำให้ทุกประเทศมีความตระหนักถึงความสำคัญของการเสริมกรดโฟลิกลงในอาหารต่างๆ ที่มีการบริโภคเป็นอาหารหลักของแต่ละประเทศ มีการออกกฎหมายให้มีการเสริมกรดโฟลิกลงในแป้งสาลีใน 53 ประเทศทั่วโลก เพื่อลดความเสี่ยงต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดปกติของทารกแรกเกิด (Centers for Disease Control and Prevention, 2010) ตัวอย่างของประเทศและปริมาณการเสริมกรดโฟลิกลงในอาหารดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ปริมาณของการเสริมกรดโฟลิกลงในอาหารของประเทศที่มีการออกกฎหมายควบคุม

Country	Fortification level	Date of implementation
United State	140 µg/100 g	1998
Canada	150 µg/100 g	1998
Costa Rica	180 µg/100 g	1998
Chile	220 µg/100 g	2000
South Africa	150 µg/100 g	2003

ที่มา: Crider และคณะ (2011)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลของอัลจินต

Seale และคณะ (1982) ได้ศึกษาปฏิสัมพันธ์ของอัลจินตกับไอออนเดี่ยว พบว่าการมีไอออนเดี่ยวของโซเดียมจะทำให้ค่าความหนืดของอัลจินตมากขึ้น เนื่องจากโซเดียมไอออนได้มีการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุล ซึ่งจะพบได้อย่างชัดเจนหลังจากที่นำของผสมไปผ่านการแช่แข็งและละลายน้ำแข็ง การที่มีโซเดียมไอออนเป็นจำนวนมาก และอัลจินตที่มีส่วนของ G-block มาก จะทำให้เกิดเจลที่ไม่แข็งแรงหรือโครงสร้างคล้ายเจลเกิดขึ้น ซึ่งแตกต่างกับเจลที่แท้จริงที่ถูกสร้างโดยใช้แคลเซียมไอออน การเกิดเจลที่ไม่แข็งแรงจากโซเดียมไอออนจะทำให้เจลสามารถฟื้นฟูกลับมาได้หลังจากได้รับความเสียหายจากแรงต่างๆ อีกทั้งยังสามารถที่จะแผ่ออก (spread) ได้ ดังนั้นจากการทดลองนี้สามารถตั้งข้อสมมติฐานได้ คือ 1. โซเดียมจะเกิดการจับกันอย่างอ่อนกับ M-block และบางส่วนของ G-block 2. โซเดียมเกิดการจับกันอย่างเฉพาะเจาะจงระหว่างสายของ G-block 3. โซเดียมเกิดการจับกันแบบโครงสร้างของกล่องไข่ (egg-box) ระหว่างสายของ G-block

Draget และคณะ (1997) ได้ศึกษาการเติมเกลือ (Na^+ และ K^+) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ที่มีผลต่อการเกิดเจลของอัลจินต โดยใช้ Ca^{2+} ในการเกิดเจล เพื่อศึกษาผลของเกลือที่มีผลต่อการเกิดเจล พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเกลือต่ำจะทำให้เจลมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากไม่มีแรงผลักทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างประจุลบของโมเลกุลอัลจินต ทำให้แคลเซียมไอออนสร้างพันธะเชื่อมข้ามได้สะดวกมากขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลง เนื่องจากการแลกเปลี่ยนของไอออน ซึ่งมีการแข่งขันกันระหว่างโซเดียมไอออนและแคลเซียมไอออน ซึ่งการเติมเกลือจะทำให้การเกิดเจลช้าลงและทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลลดลงอีกด้วย

Lee และ Rogers (2012) ศึกษาผลของแหล่งแคลเซียมและเวลาในการเกิดเจลของคาร์เรียโดยใช้โซเดียมอัลจินต ซึ่งพบว่าความเร็วในการเกิดเจลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของแคลเซียม ความแข็งแรงของเจลจะมีการเปลี่ยนแปลงตามแหล่งที่มาของแคลเซียม แคลเซียมคลอไรด์จะเกิดเจลเร็วที่สุด ตามด้วยแคลเซียมแลคเตต และแคลเซียมกลูโคเนต โดยแคลเซียมคลอไรด์นิยมใช้มากที่สุด แต่จะมีรสขมเมื่อใช้ในความเข้มข้นที่มาก ขณะที่แคลเซียมกลูโคเนตมีข้อได้เปรียบคือเยื่อของเซลล์ทรงกลมจะหนาและมีความแข็งแรงมากกว่า

Fu และคณะ (2014) ศึกษาผลของเกลือที่ส่งผลต่อการรีโทรกราเดชันของสตาร์ช พบว่าการเพิ่มขึ้นของเกลือจะส่งผลให้การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชลดลง เนื่องจากโซเดียมไอออนจะเข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนไอออนในโมเลกุลของสตาร์ช และไฮโดรเจนไอออนจะเคลื่อนตัวออกมาอยู่ในเฟสของน้ำด้านนอก ทำให้น้ำมีค่าความเป็นกรดต่ำลงลง จากการที่สตาร์ชจับกับโซเดียมไอออนที่เป็นไอออนที่มีขนาดใหญ่กว่าไฮโดรเจนไอออน ทำให้สตาร์ชเกิดการ recrystallization ลดลง หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงผลักระหว่างโมเลกุลภายในสตาร์ช ทำให้การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชถูกยับยั้งไว้

Puguan และคณะ (2014) ศึกษาการแพร่ของแคลเซียมในการขึ้นรูปทรงกลมด้วยวิธีการเกิดเจลแบบ External gelation พบว่าน้ำหนักรวมของลูกทรงกลมจะลดลงในช่วงต้นของการเกิดเจลเนื่องจากปรากฏการณ์ Syneresis เมื่อหมู่คาร์บอกซิลของ G-block ทำการจับกับแคลเซียมไอออนของแคลเซียมจนเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายขึ้น หลังจากนั้นน้ำหนักรวมของลูกทรงกลมจะเริ่มคงที่ เมื่อทำการใส่โซเดียมไอออนลงไปจะส่งผลต่อน้ำหนักรวมของลูกทรงกลม การเติมโซเดียมไอออนลงไป โซเดียมไอออนจะไปเข้าจับแทนที่แคลเซียมไอออนบางส่วน ทำให้การเกิด syneresis ถูกยับยั้งหรือถูกชะลอไว้ ส่งผลให้น้ำหนักของลูกทรงกลมในช่วงแรกไม่มีการลดลง จึงสรุปได้ว่าการที่ลูกทรงกลมมีน้ำหนักมากขึ้นมาจากการแข่งขันระหว่างโซเดียมไอออนกับแคลเซียมไอออนที่จะเข้าจับกับ G-block จนเกิดเป็นเจล ถ้ามีโซเดียมไอออนเข้าไปรบกวนระบบจะทำให้การเกิด syneresis ของไรซ์บอลถูกชะลอหรือถูกยับยั้งไว้ได้ ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักของไรซ์บอลมากกว่าไรซ์บอลที่เกิดเจลได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pumpho และ Puechkamutr (2015) ศึกษาเทคนิคการขึ้นรูปเต้าหู้ให้เป็นรูปทรงกลม โดยใช้หลักการเกิดเจลของโซเดียมอัลจิเนต แล้วหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จนเกิดเป็นรูปทรงกลม และการแช่เต้าหู้ทรงกลมในสารละลายแคลเซียมเป็นระยะเวลาสั้นๆ จะทำให้ลักษณะทางกายภาพ น้ำหนัก ขนาด และความแข็ง เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จึงเลือกใช้ระยะเวลาในการแช่น้ำ 12 ชั่วโมง ในการผลิตเต้าหู้ทรงกลม เนื่องจากลักษณะทางกายภาพเริ่มคงที่และแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเวลาการแช่ที่ 14 และ 16 ชั่วโมง ตามลำดับ ค่าที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ทรงกลมคือ ใช้อัลจิเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.97 และแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.59

ญาตาวิ และประพันธ์ (2559) ศึกษาการเตรียมไข่มุกข้าว โดยใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบ และทำการขึ้นรูปแบบทรงกลม ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวหุงสุก และน้ำคือ 1:4 โดยน้ำหนัก ใช้โซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 1.25 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.31 ผลของสมการทำนายไข่มุกข้าวที่ได้มีค่าความแข็ง 825.87 (กรัม•แรง) และพบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนัก ขนาด ค่าสี และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเลือกระยะเวลาการแช่น้ำที่ 8 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม “ไข่มุกข้าว”

Zhao และคณะ (2017) ศึกษาผลของโซเดียมไอออนที่มีผลต่อการเกิดเจลของโซเดียมอัลจิเนตกับแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าไอออนเดี่ยวของโซเดียม มีส่วนที่สามารถเกิดพันธะเชื่อมข้าม และส่วนที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมข้ามได้ ซึ่งไอออนบวกของโซเดียมที่สามารถเกิดพันธะเชื่อมข้ามได้จะเข้าไปแย่งไอออนคู่ของแคลเซียมในการเกิดโครงสร้างเจล ดังนั้นเมื่อลดความเข้มข้นของไอออนคู่ของแคลเซียม จะทำให้มีการขัดขวางการเกิดเจลของบล็อก G ของอัลจิเนตกับไอออนคู่ของแคลเซียม ทำให้การเกิดเจลลดลง

ขวัญชาติ และศราวุธ (2560) ศึกษาการเตรียมไรซ์บอล โดยใช้แป้งข้าวมะลิชนิด นำมาให้ความร้อนโดยใช้ถังถึงที่อุณหภูมิ 85-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40, 50, 60 และ 70 นาที จากนั้นนำมาขึ้นรูปทรงกลม ใช้ปริมาตรน้ำนมข้าว 2 มิลลิลิตร โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 1.75 และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.75 พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกันจะไม่ส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำนมข้าว น้ำนมข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนเป็น เวลา 40 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปไรซ์บอล

2.9.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารต้านอนุมูลอิสระในข้าว

Hiemori และคณะ (2009) ศึกษาอิทธิพลของการหุงข้าวโดยใช้วิธีแตกต่างกัน คือ หม้อหุงข้าวปกติ หม้อหุงข้าวความดัน และการใช้แก๊สหุงข้าว พบว่า การแช่ข้าวเป็นเวลา 1 ชั่วโมงก่อนการหุง ไม่ส่งผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน โดยเฉพาะ Cyanidin-3-glucoside ที่มีมากที่สุดในการหุงข้าว จะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงทุกวิธีการ ซึ่งการหุงข้าวโดยใช้หม้อความดันจะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงมากที่สุด แต่การหุงข้าวด้วยการใช้แก๊สจะทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงน้อยที่สุด การลดลงของแอนโทไซยานิน โดยเฉพาะในกลุ่มของ Cyanidin-3-glucoside จะทำให้มีปริมาณ Protocatechuic acid เพิ่มขึ้น ซึ่งยังคงมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

Shao และคณะ (2014) ศึกษาชนิดและปริมาณของกรดฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ในรำข้าว คัพภะ และเมล็ดข้าว ของข้าวขาว ข้าวแดง และข้าวดำ พบว่า กรดฟีนอลิกทั้งหมดในส่วนของรำข้าวพบมากที่สุดในการหุงข้าวแดง ข้าวดำ และข้าวขาว ตามลำดับความสามารถในการต้านออกซิเดชันวิเคราะห์โดยวิธี DPPH และ ORAC พบว่า รำข้าวเป็นส่วนที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันมากที่สุด ซึ่งพบความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้ในข้าวแดง ข้าวดำ และข้าวขาว ตามลำดับ ชนิดของแอนโทไซยานินที่พบมากในรำข้าวดำ คือ Cyanidin-3-O-glucoside และ peonidin-3-O-glucoside

Chinprahast และคณะ (2016) ศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณของแอนโทไซยานินทั้งหมด ของข้าวต่างชนิดกัน คือ ข้าวก่ำคอยมูเซอ (ข้าวก่ำลิ้มผิว) ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสังข์หยด พบว่า ข้าวก่ำคอยมูเซอจะมีปริมาณฟีนอลิกและแอนโทไซยานินมากที่สุด ประมาณ 1027.95 มิลลิกรัมเทียบเท่ากับสารมาตรฐานกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม และ 336.89 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ แต่ข้าวสังข์หยดจะมีปริมาณฟีนอลิกและแอนโทไซยานินน้อยที่สุด คือ 433.64 มิลลิกรัมเทียบเท่ากับสารมาตรฐานกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม และ 1.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่จะมีปริมาณฟีนอลิกและแอนโทไซยานินเท่ากับ 532.45 มิลลิกรัมเทียบเท่ากับสารมาตรฐานกรดแกลลิกต่อ 100 กรัม และ 87.46 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม จากผลการทดลองสามารถระบุได้ว่า ปริมาณแอนโทไซยานินจะพบได้มากในข้าวที่มีสีค่อนข้างดำ ซึ่งข้าวก่ำคอยมูเซอจะเป็นข้าวที่มีสีดำมากที่สุด จึงพบแอนโทไซยานินปริมาณมาก นอกจากนี้งานวิจัยยังอธิบายถึงสารประกอบฟีนอลิกที่พบในข้าวไรซ์เบอร์รี่อีกด้วย คือ photocatechuic acid เป็นสารประกอบที่พบมากที่สุดในข้าวที่มีสี ดำ รวมถึง coumaric, vanillic acid และ ferulic ก็สามารถพบได้ในข้าวที่มีสีดำเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bhawamai และคณะ (2016) ศึกษาปริมาณของพอลิฟีนอลทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระภายหลังการชงชาข้าวดำ และภายหลังการชงชาข้าว พบว่าการชงชาข้าว 3 ครั้ง ไม่มีผลต่อปริมาณพอลิฟีนอลทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของชาดิบและชาสุก การชงชาข้าวจะทำให้ปริมาณพอลิฟีนอลทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลง การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP พบว่า การชงชาข้าวทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการต้านการอักเสบ

2.9.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ

Lyly และคณะ (2004) ศึกษาการเสริมเบตาแคโรทีนที่สกัดได้จากข้าวโอ๊ตและข้าวบาร์เลย์ลงในซูป ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซูปที่เสริมเบตาแคโรทีนก่อนและหลังแช่แข็ง พบว่า น้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นของเบตาแคโรทีนที่สกัดจากวัตถุดิบต่างกัน จะส่งผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของซูป ซึ่งเบตาแคโรทีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะทำให้ซูปมีความข้นหนืดมากขึ้น และซูปที่ผ่านการแช่แข็งจะไม่ส่งผลต่อน้ำหนักโมเลกุลของเบตาแคโรทีนและไม่ส่งผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของซูป การใช้เบตาแคโรทีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะสามารถเติมลงในซูปได้มากขึ้น โดยไม่ส่งผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณไฟเบอร์ให้กับซูปได้มากขึ้น

Girones-Vilaplana และคณะ (2012b) ศึกษาการเสริมผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ ได้แก่ Maqui, Acai และ Blackthorn ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ลงในเครื่องดื่มน้ำมะนาวเพื่อศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่า น้ำมะนาวและผลไม้สีแดงจะมีสัดส่วนของสารฟีนอลิกแตกต่างกัน เครื่องดื่มน้ำมะนาวที่เสริม Maqui berry จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด ซึ่งการเสริมผลไม้ตระกูลเบอร์รี่จะช่วยยังยั้งการเกิด cholinesterase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้สลายสารสื่อประสาทในร่างกายมนุษย์ ทำให้การทำงานของร่างกายผิดปกติ

Kam และคณะ (2012) ศึกษาการเสริมกรดโพลีกลึงไปนในชาหนึ่งที่ระดับความเข้มข้นของกรดโพลีกลึง 0.15, 0.3, 0.6 และ 1.2 กรัมกรดโพลีกลึงต่อ 300 กรัมชาสาร ด้วยวิธีการแช่ พบว่าการใช้ความเข้มข้นของกรดโพลีกลึงมากขึ้นและระยะเวลาการแช่มากขึ้น จะทำให้มีปริมาณของกรดโพลีกลึงในชาชงสุกมีมากขึ้น และการชงชาหลังการแช่ชาด้วยกรดโพลีกลึงที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ภายหลังการชงกรดโพลีกลึงจะคงเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 90

Crispín-Isidro และคณะ (2015) ศึกษาการเติมอินนูลินลงในโยเกิร์ตลดไขมัน เพื่อศึกษา

องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง (microstructure) และลักษณะความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โยเกิร์ตที่ใส่อินนูลินจะสามารถลดไขมันและการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากอินนูลินจะไปจับกับน้ำ ทำให้น้ำเคลื่อนที่ได้้น้อยลง ทำให้โครงสร้างสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้โปรตีนและปริมาณของแข็งทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น เมื่อดูถึงโครงสร้างภายใน พบว่าการเติมอินนูลินจะทำให้ทำให้โยเกิร์ตมีการฟอร์มเจลเกิดขึ้นบางส่วน ซึ่งไม่พบการฟอร์มเจลในโยเกิร์ตปกติ และการเติมอินนูลินจะมีแนวโน้มเพิ่มระดับความชอบโดยรวมของโยเกิร์ตอีกด้วย

Kraisangsri และ Nalinanon (2017) ศึกษาผลของการเสริมกลูโคซามีน (D-glucosamine) ปริมาณร้อยละ 1.13 (น้ำหนักต่อปริมาตร) หรือ 1,500 มิลลิกรัมต่อกระป๋องขนาด 307x113 เซนติเมตร ในผลิตภัณฑ์ข้าวต้มบรรจุกระป๋องที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการสเตอริไรเซชันต่างกัน (0, 5, 10, 30, 40, 60, 90 และ 120 นาที) และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพพบว่า ปริมาณกลูโคซามีนลดลงร้อยละ 33.7 ในระหว่างการฆ่าเชื้อ 10 นาทีแรก หลังจากนั้นจะค่อยๆลดลงหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อ 30 นาที จากผลการทดลองสามารถแนะนำได้ว่า ข้าวต้มบรรจุกระป๋องเสริมกลูโคซามีนสามารถทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่สำหรับผู้สูงอายุที่มีปัญหาเรื่องกระดูกและข้อต่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัตถุดิบและวิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ หจก. เนเจอร์ฟู้ดโปรดักส์, ไทย

3.1.2 สารที่ใช้ในการเตรียมไรซ์บอลและการวิเคราะห์

- 1) โซเดียมอัลจิเนต (Food grade) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด, ไทย
- 2) แคลเซียมคลอไรด์ (Food grade) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด, ไทย
- 3) กรดโพลีลิก (Food grade) จากบริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด, ไทย
- 4) เบตากลูแคน (Food grade) จากบริษัท เชียน ต็อกกิ่ง ไบโอเทค จำกัด
- 5) กลูโคซามีน (Food grade) จากบริษัท ต้าหมิงเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด
- 6) เกลือ จากบริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด
- 7) น้ำตาลทราย จากบริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด
- 8) Acai berry power จากบริษัท อาซาอึเบอร์รี่ไทยแลนด์ จำกัด
- 9) Inulin (Food grade) จากบริษัท นิวทรีชั่น เอสซี จำกัด

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4) (Merck, Germany)
- 3.2.2 โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) (Merck, Germany)
- 3.2.3 กรดบอริก (H_3BO_3) (Merck, Germany)
- 3.2.4 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) (Merck, Germany)
- 3.2.5 สารละลายอินดิเคเตอร์ (Merck, Germany)
- 3.2.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Carlo Erba Reagent, Italy)
- 3.2.7 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether 40-60) (Thailand)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 เอทานอล 95 % (C ₂ H ₅ OH)	(SSCV Coporation, Thailand)
3.2.9 Absolute เอทานอล (C ₂ H ₅ OH)	(Merck, Germany)
3.2.10 โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	(Carlo Erba Reagent, Italy)
3.2.11 โซเดียมอะซิเตท (C ₂ H ₃ NaO ₂)	(Merck, Germany)
3.2.12 เมทานอล (CH ₃ OH)	(Merck, Germany)
3.2.13 บิวทานอล (C ₄ H ₁₀ O)	(Carlo Erba Reagent, Italy)
3.2.14 กรดอะซิติก (CH ₃ COOH)	(RCI Labscan, Thailand)
3.2.15 กรดซัลฟิวริก (H ₂ SO ₄)	(RCI Labscan, Thailand)
3.2.16 DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)	(Sigma-Aldrich, USA)
3.2.17 TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine)	(Sigma-Aldrich, USA)
3.2.18 ไอร์รอน (III) คลอไรด์ (FeCl ₃)	(Merck, Germany)
3.2.19 สารมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox)	(Sigma-Aldrich, USA)
3.2.20 นินไฮดริน (C ₉ H ₆ O ₄)	(BDH Middle East LLC, UAE)
3.2.21 ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na ₂ HPO ₄)	(Merck, Germany)
3.2.22 โซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (NaH ₂ PO ₄)	(Ajax Finechem, New Zealand)
3.2.23 น้ำตาลฟรุกโตส	(Greater Poly Manufact., Thailand)
3.2.24 น้ำตาลกลูโคส	(Sigma-Aldrich, USA)
3.2.25 แผ่นซิลิกาเจล (TLC silica gel 60 plates)	(Merck, Germany)
3.2.26 แผ่นเพาะเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (Aerobic Count Plate)	(3M, Thailand)

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.3.1 หม้อสแตนเลสพร้อมฝาปิด
- 3.3.2 กะละมังสแตนเลส
- 3.3.3 แท่งแก้ว
- 3.3.4 ลังถึง
- 3.3.5 นาฬิกาจับเวลา
- 3.3.6 เข็มฉีดยา (Syringe)

3.3.7 เทอร์โมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.3.8 ซ้อนดวง ขนาด ¼ ซ้อนซา
- 3.3.9 กระจกนูนสแตนเลส
- 3.3.10 ทึบฟีสแตนเลส
- 3.3.11 ซ้อนคัสสาร
- 3.3.12 กล่องพลาสติกที่ทำจากโพลีเอทิลีน
- 3.3.13 บิวเรตและขาตั้ง
- 3.3.14 ขวดรูปชมพู
- 3.3.15 เพลทแก้ว
- 3.3.16 ลวดเขี่ยเชื้อ
- 3.3.17 ตะเกียงบุนเสน
- 3.3.18 เขยือกสแตนเลส
- 3.3.19 บีกเกอร์
- 3.3.20 กระจกบอควง
- 3.3.21 ขวดปรับปริมาตร
- 3.3.22 โถแก้ว Thin Layer Chromatography
- 3.3.23 เคชเคเตอร์
- 3.3.24 อะลูมิเนียมแกน
- 3.3.25 หลอดทดลอง
- 3.3.26 หลอด Centrifuge
- 3.3.27 กระจกกรอง Whatman No.4, No.1
- 3.3.28 Glass Cuvett
- 3.3.29 Buchner filter
- 3.3.30 ขวดแก้วสีชา
- 3.3.31 Magnetic bar
- 3.3.32 ไดร้เป้าผม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เครื่องมือวิเคราะห์และอุปกรณ์

3.4.1 ตู้บ่มเชื้อ	(Memmert, Model 400, Germany)
3.4.2 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง	(Schott Gerate, Germany)
3.4.3 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส	(Stable Micro System, TA-XT Plus, UK)
3.4.4 เครื่องวัดค่าสี	(Minolta, CR-400, Japan)
3.4.5 หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	(Sharp, 0.6 L KSH-206, Thailand)
3.4.6 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ	(Tomy, Es-315, Japan)
3.4.7 ตู้อบลมร้อน	(Memmert, UNB400, Germany)
3.4.8 เวอร์เนียคาลิเปอร์	(Mitutoyo, Japan)
3.4.9 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง	(Ohaus, ARC120, USA)
3.4.10 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง	(Sartorius, TE214S, Switzerland)
3.4.11 เครื่องปั่นอาหาร	(Philips, HR2068, Indonesia)
3.4.12 เครื่องปั่นมือถือ	(Buono, China)
3.4.13 เครื่องตีปั่นอาหาร	(BagMixer, 400 interscience, France)
3.4.14 ไมโครปิเปต	(Mettler Toledo, Pipet-Lite XLS, USA)
3.4.15 Multiple stirrer	(Velp Scientifica, Europe)
3.4.16 Hotplate stirrer	(IKA, C-MAG HS 7, China)
3.4.17 Water bath	(Memmert, WB-29, Germany)
3.4.18 Water bath Shaker	(Memmert, SV-2945, Germany)
3.4.19 Vacuum pump	(Sibata, WT 20, Japan)
3.4.20 เครื่อง Centrifuge	(Hettich, Universal 320, Germany)
3.4.21 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง	(Shimadzu, UV-1800, Japan)
3.4.22 Vortex	(Scientific Industries, Vortex-genie2, USA)
3.4.23 เครื่องวิเคราะห์หีไซมัน	(Soxhlet, SOX406, China)
3.4.24 เตาเผา (Muffle furnace)	(Nabertherm, LT40, Germany)
3.4.25 เครื่องย่อยโปรตีน	(Gerhardt, KB-8S, Germany)
3.4.26 เครื่องกลั่นโปรตีน	(Gerhardt, Vapodest VAP30, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการดำเนินงาน

3.5.1 การศึกษาผลของวิธีการเตรียมน้ำนมข้าวต่อคุณภาพของไรซ์บอลล

ทดลองเปรียบเทียบการเตรียมไรซ์บอลลจากน้ำนมข้าวที่มีวิธีการเตรียมแตกต่างกัน โดยเตรียมจากแป้งข้าว (คัดแปลงจาก ขวัญชาติ และศราวุธ, 2560) และเตรียมจากข้าวหุงสุก (คัดแปลงจาก ญาติาวี และประพันธ์, 2559) ดังมีรายละเอียดของวิธีการทดลองดังนี้

1) การเตรียมน้ำนมข้าวจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ภาคผนวก ค.1)

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เก็บเกี่ยวในเดือนตุลาคม (2559) ที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกแล้ว นำมาบดด้วยเครื่อง Pin mill (Sieve 100 mesh) แล้วมาทำการเก็บรักษาโดยบรรจุใส่ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์แบบสุญญากาศ (Vacuum Pack) ขนาดกว้าง 11.5×13 นิ้ว ถุงละ 1 กิโลกรัม ปิดผนึกด้วยเครื่องผนึกสุญญากาศ (Vacuum sealer) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เพื่อเตรียมสำหรับนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

การเตรียมน้ำนมข้าว ทำโดยนำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้มาทำการผสมกับน้ำกรอง ในอัตราส่วน 1:10 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ใส่ในหม้อสแตนเลส จากนั้นนำไปให้ความร้อนโดยวางในลังถึง รจนสารละลายมีอุณหภูมิ 85 – 90 องศาเซลเซียส แล้วเริ่มจับเวลา บั่นสารละลายด้วย Hand Blender เป็นเวลา 20 วินาที ทุกๆ 10 นาที จนครบ 40 นาที จะได้น้ำนมข้าว นำน้ำนมข้าวผสมกับสารละลายอัลจินเตในอัตราส่วน 2:1 ความเข้มข้นของอัลจินเตในของผสมรวมเท่ากับร้อยละ 1.75 เพื่อนำไปใช้ในการขึ้นรูปทรงกลม

2) การเตรียมน้ำนมข้าวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ภาคผนวก ค.2)

หุงข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (หุงโดยใช้ข้าวต่อน้ำ 1:3 โดยน้ำหนัก) จากนั้นผสมข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุกและน้ำในอัตราส่วน 1:3 โดยน้ำหนัก บั่นด้วยเครื่องบั่นผสม แบ่งการบั่นเป็น 2 รอบ แบ่งน้ำออกเป็น 3 ส่วน (ร้อยละ 27.5 : 27.5 : 45) รอบแรกใส่น้ำร้อยละ 27.5 ใช้ความเร็วปานกลางเป็นเวลา 3 นาที รอบที่สองใส่น้ำร้อยละ 27.5 ใช้ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 3 นาที เทส่วนผสมลงในสารละลายโซเดียมอัลจินเตที่ใส่น้ำร้อยละ 45 เป็นตัวทำละลาย โดยให้ความเข้มข้นของอัลจินเตเท่ากับร้อยละ 1.75 ของน้ำหนักทั้งหมดของของผสม บั่นของผสมด้วยเครื่องบั่นผสมมือถือ เป็นเวลา 4 นาที เพื่อให้ได้น้ำนมข้าว เพื่อนำไปใช้ในการขึ้นรูปทรงกลม

3) การขึ้นรูปทรงกลมเพื่อผลิตไรซ์บอล

การขึ้นรูปทรงกลม (ภาคผนวก ก.3) ทำได้โดยใช้ไซริงค์ดูดน้ำนมข้าวที่ผสมสารละลายโซเดียมอัลจินเตที่เตรียมได้จากวิธีการข้างต้น ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในช้อนตวงขนาด ¼ ช้อนชา แล้วจุ่มลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.75 ที่อุณหภูมิห้อง โดยแกว่งช้อนตวงเบาๆ เพื่อให้เกิดเจลล้อมรอบทรงกลมและร้อนออกจากช้อนตวง แช่ไรซ์บอลไว้ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 20 นาที จนได้ไรซ์บอล จากนั้นนำไรซ์บอลที่ได้ ล้างด้วยน้ำแล้วนำไปแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการพาสเจอร์ไรส์ไรซ์บอลด้วยความร้อนโดยการลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นนำไปใส่ในภาชนะที่ผ่านการฆ่าเชื้อและบรรจุน้ำที่ผ่านการสเตอริไรส์

4) การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของไรซ์บอล

นำไรซ์บอลที่เตรียมได้จากแป้งข้าวและข้าวหุงสุกมาวิเคราะห์คุณภาพ เพื่อคัดเลือกวิธีการที่ใช้เตรียมไรซ์บอลในการทดลองต่อไป โดยพิจารณาจากความสะดวก ความแข็งแรงของเจล การฟอร์มเป็นทรงกลม และคุณค่าทางโภชนาการ

4.1) การวิเคราะห์ทางเคมี

- 1) การวิเคราะห์ปริมาณแอนไอโซยานินด้วยวิธี pH-differential method (ดัดแปลงจาก Giusti และ Wrolstad, 2001) (ภาคผนวก ก.1)

4.2) การวิเคราะห์ทางกายภาพ

- 1) วิเคราะห์ขนาดและน้ำหนักของไรซ์บอลโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ และเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 2) วิเคราะห์ค่าสีของไรซ์บอลโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta CR-400 ซึ่งแสดงผลในรูปค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) (ภาคผนวก ก.1)
- 3) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของไรซ์บอลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-Xt Plus) โดยทำการวิเคราะห์แบบ Texture Profile Analysis (ภาคผนวก ก.2)
- 4) วิเคราะห์โครงสร้างภายในของไรซ์บอลโดยใช้เครื่อง scanning electron microscope (SEM) (ภาคผนวก ก.4) (ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การศึกษาผลของการเติมสารปรุงรสน้ำที่ส่งผลต่อคุณภาพของไรซ์บอล

3.5.2.1 การศึกษาผลของการเติมเกลือ

ทำการเตรียมไรซ์บอลตามวิธีที่คัดเลือกจากข้อ 3.5.1 ในระหว่างการเตรียมน้ำนมข้าวจะมีการใส่เกลือร้อยละ 0.5 และ 1 โดยน้ำหนักของของผสมน้ำนมข้าว นำไรซ์บอลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพตามวิธีการในข้อ 3.5.1

3.5.2.2 การศึกษาผลของการเติมน้ำตาล

ทำการเตรียมไรซ์บอลตามวิธีที่คัดเลือกจากข้อ 3.5.1 ในระหว่างการเตรียมน้ำนมข้าวจะมีการเติมน้ำตาลร้อยละ 4 และ 8 ของน้ำหนักของของผสมน้ำนมข้าว นำไรซ์บอลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพตามวิธีการในข้อ 3.5.1

3.5.3 การศึกษาผลของการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพต่อคุณภาพของไรซ์บอล

3.5.3.1 การศึกษาผลของการเสริมอินนูลิน

ทำการเตรียมไรซ์บอลตามวิธีการที่คัดเลือกจากข้อ 3.5.1 การเสริมอินนูลินจะทำการทดลอง โดยผสมอินนูลินลงในน้ำที่ใช้ต้มน้ำข้าวสุกเพื่อเตรียมน้ำนมข้าว โดยใส่อินนูลินในปริมาณร้อยละ 2, 4 และ 6 ของน้ำหนักของของผสม นำไรซ์บอลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพเพื่อคัดเลือกปริมาณของอินนูลินที่ใช้ในการทดลองต่อไป ดังนี้

- 1) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ขนาด น้ำหนัก สี และเนื้อสัมผัสตามวิธีการในข้อ 3.5.1
- 2) วิเคราะห์อินนูลินโดยประมาณโดยวิธี Thin layer chromatography (TLC) (ดัดแปลง

จาก Ariandi, 2015) (ภาคผนวก จ.2)

3.5.3.2 การศึกษาผลของการเสริมผงอาซาอิเบอร์รี่

ทำการเตรียมไรซ์บอลตามวิธีการที่คัดเลือกจากข้อ 3.5.3.1 การเสริมสารต้านอนุมูลอิสระโดยการใส่ผงอาซาอิเบอร์รี่ ทำโดยการผสมผงอาซาอิเบอร์รี่ในน้ำที่ใช้ต้มน้ำข้าวสุกเพื่อเตรียมน้ำนมข้าว ในปริมาณร้อยละ 0.1, 0.25 และ 0.4 ของน้ำหนักของของผสม นำไรซ์บอลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพเพื่อคัดเลือกปริมาณของผงอาซาอิเบอร์รี่ที่ใช้ในการทดลองต่อไป ดังนี้

- 1) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ขนาด น้ำหนัก สี และเนื้อสัมผัสตามวิธีการในข้อ 3.5.1
- 2) การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential method (ดัดแปลงจาก

Giusti และ Wrolstad, 2001) (ภาคผนวก จ.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH assay (ดัดแปลงจาก Murakami, 2004) (ภาคผนวก จ.3) และวิธี FRAP (ดัดแปลงจาก Benzie และ Strain, 1996) (ภาคผนวก จ.4)

3.5.3.3 การศึกษาผลของการเสริมกลูโคซามีน

ทำการเตรียมไรซ์บอลตามวิธีการที่คัดเลือกจากข้อ 3.5.3.2 การเสริมกลูโคซามีนจะทำโดยการผสมกลูโคซามีนลงในน้ำที่ใช้ตีปั่นข้าวสูกเพื่อเตรียมน้ำนมข้าว โดยใส่กลูโคซามีนปริมาณร้อยละ 0.5, 0.75 และ 1 ของน้ำหนักของของผสม นำไรซ์บอลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพเพื่อคัดเลือกปริมาณของกลูโคซามีนที่ใช้ในการทดลองต่อไป ดังนี้

- 1) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ขนาด น้ำหนัก สี และเนื้อสัมผัสตามวิธีการในข้อ 3.5.1
- 2) วิเคราะห์ปริมาณกลูโคซามีนตามวิธีการของ Wu และคณะ (2005) (ภาคผนวก จ.5)

3.5.3.4 การศึกษาผลของการเสริมกรดโฟลิก

ทำการเตรียมไรซ์บอลตามวิธีการที่คัดเลือกจากข้อ 3.5.3.3 ทำการผสมกรดโฟลิกลงในน้ำที่ใช้ตีปั่นข้าวสูกเพื่อเตรียมน้ำนมข้าว โดยเสริมกรดโฟลิกร้อยละ 0.0007, 0.0010 และ 0.0012 นำไรซ์บอลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพเพื่อคัดเลือกปริมาณของกรดโฟลิกที่ใช้ในการทดลองต่อไป โดย

- 1) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ขนาด น้ำหนัก สี และเนื้อสัมผัสตามวิธีการในข้อ 3.5.1

3.5.4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ

ทำการเตรียมไรซ์บอลตามวิธีการที่คัดเลือกจากข้อ 3.5.3 จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไรซ์บอล ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า (AOAC, 2012) และใยอาหาร (ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

3.5.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพในระหว่างการเก็บรักษา

ทำการเตรียมไรซ์บอลตามวิธีการที่คัดเลือกจากข้อ 3.5.3 จากนั้นนำไปเก็บรักษาในถ้วยพลาสติกที่ทำจากโพลิโพรพิลีนที่ผ่านการลวกด้วยความร้อน 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างตรวจสอบทุก 3 วัน เป็นเวลา 15 วัน โดยกำหนดเกณฑ์มาตรฐานตามเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารต้องไม่เกิน 10^6 โคโลนีต่อกรัม (กองสุขาภิบาลอาหาร, 2540) ในแต่ละครั้งทำการสุ่มตัวอย่าง 25 กรัม จากถ้วยพลาสติก 2 ถ้วย ทำการตรวจสอบคุณภาพดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงวันเวสตาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบริษัทหรือหน่วยงานการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ขนาด น้ำหนัก สี และเนื้อสัมผัสตามวิธีการในข้อ 3.5.1
- 2) วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential method (ดัดแปลงจาก Giusti และ Wrolstad, 2001) (ภาคผนวก จ.1)
- 3) วิเคราะห์อินนูลินโดยประมาณ โดยวิธี Thin layer chromatography (TLC) (ดัดแปลงจาก Ariandi, 2015) (ภาคผนวก จ.2)
- 4) วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH assay (ดัดแปลงจาก Murakami, 2004) (ภาคผนวก จ.3) และวิธี FRAP (ดัดแปลงจาก Benzie และ Strain, 1996) (ภาคผนวก จ.4)
- 5) วิเคราะห์ปริมาณกลูโคซามีนของไรซ์บอลตามวิธีการของ Wu และคณะ (2005) (ภาคผนวก จ.5)
- 6) วิเคราะห์ปริมาณกรดฟอลิกตามวิธีการ 960.46 (AOAC, 2016) (ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล)
- 7) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างโดยใช้เครื่อง pH-meter (ภาคผนวก จ.7) และหาปริมาณกรดโดยใช้เทคนิคการไทเทรต (AOAC, 2012) (ภาคผนวก จ.6)
- 8) วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) รายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัม (ภาคผนวก จ.1)

3.5.6 การศึกษาผลของวิธีการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนต่อคุณภาพของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ

ทำการเตรียมไรซ์บอลที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ด้วยความร้อนตามวิธีการที่คัดเลือกจากข้อ 3.5.3 เป็นตัวอย่างควบคุม (control) และทำเตรียมไรซ์บอลตามวิธีการที่คัดเลือกจากข้อ 3.5.3 แต่ใช้วิธีการฆ่าเชื้อเป็นสเตอริไรส์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ทำการตรวจสอบคุณภาพของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้งสองวิธี ดังนี้

- 1) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ขนาด น้ำหนัก สี และเนื้อสัมผัสตามวิธีการในข้อ 3.5.1
- 2) วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential method (ดัดแปลงจาก Giusti และ Wrolstad, 2001) (ภาคผนวก จ.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) วิเคราะห์อินนูลินโดยประมาณโดยวิธี Thin layer chromatography (TLC) (คัดแปลงจาก Ariandi, 2015) (ภาคผนวก จ.2)
- 4) วิเคราะห์ปริมาณกลูโคซามีนของไรซ์บอลตามวิธีการของ Wu และคณะ (2005) (ภาคผนวก จ.5)

3.5.7 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ (Complete randomize design, CRD) โดยให้นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยได้จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสม สะดวก รวดเร็ว สามารถขึ้นรูปทรงกลมได้ และมีปริมาณคุณค่าทางโภชนาการมากที่สุด ไรซ์บอลที่ถูกรีดจากนํ้ามันข้าวทั้งสองวิธี พบว่าสามารถที่จะฟอร์มเจลได้อย่างสมบูรณ์ทั้งสองวิธี ไรซ์บอลที่เตรียมได้จากนํ้ามันข้าวทั้งสองวิธีถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพ ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่า ขนาดและน้ำหนักของไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุกมีขนาดและน้ำหนักมากกว่าไรซ์บอลที่เตรียมจากแป้งข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นํ้ามันข้าวที่เตรียมจากข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุกมีการใช้สัดส่วนของข้าวมากกว่าการเตรียมนํ้ามันข้าวจากแป้งข้าว พบว่านํ้ามันข้าวที่เตรียมจากข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุกมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 8.76 ในขณะที่นํ้ามันข้าวที่เตรียมจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 4.65 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในนํ้าที่

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะทางกายภาพและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของไรซ์บอลที่มีการเตรียมด้วยวิธีการแตกต่างกัน

Properties	Cooked rice	Rice flour
Size (mm)	14.47±0.05 ^b	14.25±0.09 ^a
Weight (g)	1.51±0.02 ^b	1.45±0.07 ^a
L*	31.51±1.19 ^a	35.18±0.35 ^b
a*	10.63±0.48 ^b	8.36±0.09 ^a
b*	1.62±0.11 ^a	3.59±0.33 ^b
Hardness (g•force)	1505.42±27.87 ^b	1449.93±44.42 ^a
Springiness (mm)	0.84±0.02 ^b	0.80±0.00 ^a
Cohesiveness ^{ns}	0.64±0.02	0.63±0.01
Gumminess (N) ^{ns}	949.23±38.76	915.99±1.03
Chewiness (N)	789.99±9.12 ^b	758.08±1.54 ^a
Anthocyanin content (mg/10 g samples)	3.2043±0.32 ^b	0.7676±0.15 ^a

หมายเหตุ : ^{a-b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

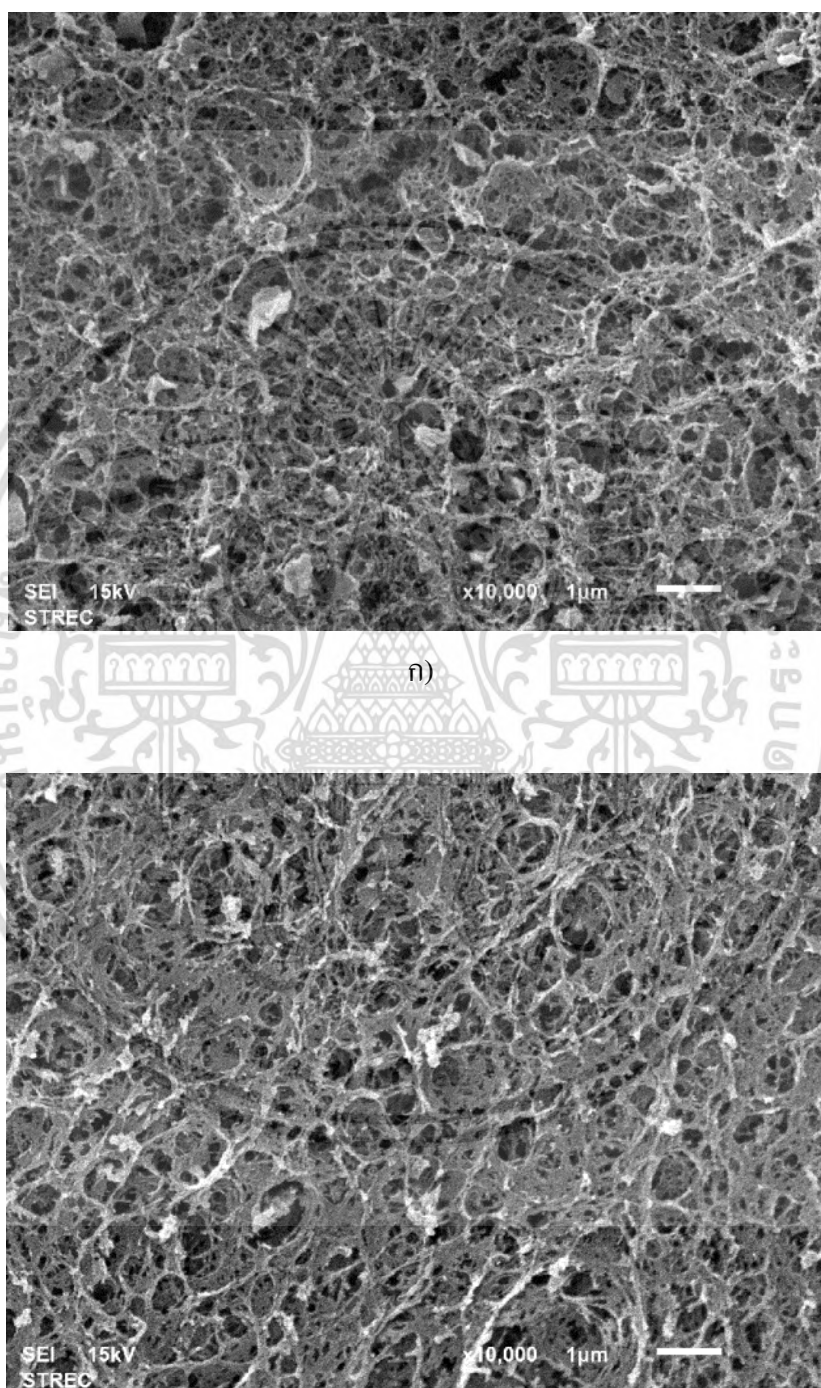
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าจะส่งผลให้น้ำหนักของไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุกมีน้ำหนักที่มากกว่า นอกจากนี้ น้ำนมข้าวที่เตรียมจากแป้งข้าวซึ่งมีปริมาณน้ำมากกว่า การเกิดเจลสามารถเกิดได้รวดเร็วกว่า เนื่องจากโอกาสที่ประจุลบของโซเดียมอัลจินเตจะเกิดพันธะเชื่อมข้ามกับประจุบวกของแคลเซียมได้ง่ายขึ้น เพราะไม่มีของแข็งหรือสตาร์ชเป็นตัวขัดขวางการเกิดเจล (Chrastil, 1991) เป็นผลให้การดูดซึมของน้ำเข้าสู่ไรซ์บอลทำได้น้อยลงกว่าการเกิดเจลแบบอื่นๆ ส่งผลให้ขนาดและน้ำหนักของไรซ์บอลที่เตรียมจากน้ำนมข้าวที่เตรียมจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าน้อยกว่าไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุก

การเตรียมไรซ์บอลด้วยวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ทำให้มีการใช้สัดส่วนของข้าวและน้ำแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อค่าสีของไรซ์บอลอีกด้วย จากตารางที่ 4.1 พบว่าไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุกมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ในการทดลองจะมีสีค่อนข้างออกไปทางแดงเข้มจนถึงม่วงดำ ซึ่งการเตรียมข้าวหุงสุกจะมีการใช้สัดส่วนของข้าวมากกว่า ทำให้ไรซ์บอลจะมีสีค่อนข้างเข้ม และสูญเสียความสว่าง และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุกจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสัดส่วนของข้าวที่มากกว่า

ผลการทดลองด้านลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่า ไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุกจะมีค่าความแข็ง (Hardness) มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับไรซ์บอลที่เตรียมจากแป้งข้าว การเตรียมน้ำนมข้าวด้วยข้าวหุงสุกซึ่งมีสัดส่วนของข้าวมากกว่า ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมากกว่า อาจเป็นผลทำให้ความแข็งของเจลไรซ์บอลแข็งขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Pumpho และ Puechkamutr (2015) และ Rattanasatkul (2017) ที่รายงานว่า การเพิ่มอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เจลทรงกลมที่ผลิตได้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการวัดเนื้อสัมผัสสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของไรซ์บอลด้วยกล้องอิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope) (ภาพที่ 4.2) โครงสร้างภายในของไรซ์บอลเป็นลักษณะ โครงสร้างร่างแหแบบเส้นใย ซึ่งเป็นโครงสร้างที่พบในเจลที่เกิดจากการจับกันแบบกล่องไข่ (egg-box model filament structure) (Pumpho และ Puechkamutr, 2015) โดยพบว่าโครงสร้างของไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุกมีโครงสร้างจับกันอย่างแน่นมากกว่าไรซ์บอลที่เตรียมจากแป้งข้าว และโครงสร้างร่างแหมีการจับกันอย่างมีมิติ (three-dimensional structure) และเป็นระเบียบมากกว่า เป็นผลให้ค่าความแข็งของไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุกมีค่ามากกว่า นอกจากนี้การที่มีโครงสร้างที่มีมิติและมีระเบียบจึงเป็นผลให้สามารถที่จะคืนตัวหรือยืดหยุ่นได้เมื่อได้รับแรงกระทำจากหัววัด ทำให้ไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุกมีค่า Springiness มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งยังส่งผลให้ค่า gumminess และ chewiness ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุกมีค่ามากกว่าไรซ์บอลที่เตรียมจากแป้งข้าว เนื่องจากการจับกันของโครงสร้างร่างแหเป็นไปอย่างเป็นระเบียบและมีมิติ ทำให้ต้องใช้แรงในการทำลายโครงสร้างมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ต้องใช้แรงในการเคี้ยวไรซ์บอลมากขึ้น



ข)

ภาพที่ 4.2 โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เตรียมจากน้ำนมข้าวทั้งสองวิธีที่กำลังขยาย 10,000 เท่า:

ก) ไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุก ; ข) ไรซ์บอลที่เตรียมจากแป้งข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินของไรซ์บอลพบว่า ปริมาณของแอนโทไซยานินของไรซ์บอลที่เตรียมด้วยข้าวหุงสุกมีค่า 3.20 มิลลิกรัมต่อ 10 กรัมตัวอย่าง ในทางกลับกันไรซ์บอลที่เตรียมจากแป้งข้าวมีค่า 0.77 มิลลิกรัมต่อ 10 กรัมตัวอย่าง เนื่องจากไรซ์บอลที่ผ่านการเตรียมด้วยข้าวหุงสุกจะใช้สัดส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่มากกว่าไรซ์บอลที่เตรียมจากแป้งข้าว จึงทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่า นอกจากนี้แอนโทไซยานินในแป้งข้าวที่ใช้เตรียมไรซ์บอลอาจเกิดการสูญเสียไปในระหว่างขั้นตอนการเตรียมน้ำนมข้าวที่ต้องใช้เวลานานในการทำให้แป้งข้าวเกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) เนื่องจากว่าแอนโทไซยานินที่อยู่ในรูปของแป้งข้าวจะสูญเสียไปได้ง่ายกว่าเมื่อโดนความร้อน ทำให้ cyanidin-3-glucoside จะเสียดสภาพเปลี่ยนไปเป็น protocatechuic acid (Hiemori et al., 2009; Bhawamai et al., 2016).

การเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำนมข้าวเพื่อใช้ในการขึ้นรูปทรงกลม จะพิจารณาถึงความสะดวก รวดเร็ว ความแข็งแรงของเจล การฟอร์มเป็นทรงกลม และคุณสมบัติที่ส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค การขึ้นรูปทรงกลมโดยใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุกจึงถูกเลือกไปใช้ในการทดลองต่อไป เนื่องจากขั้นตอนการเตรียมมีความสะดวกและรวดเร็ว รวมถึงให้เจลที่มีความแข็งแรง อีกทั้งยังมีสัดส่วนของข้าวมากกว่า ส่งผลให้มีแอนโทไซยานินมากกว่า จึงทำให้ผู้บริโภคได้รับประโยชน์มากขึ้น ภาพที่ 4.3 แสดงตัวอย่างของไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุก



ภาพที่ 4.3 ไรซ์บอลที่เตรียมจากข้าวหุงสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาผลของการเติมสารปรุงรสชาติที่ส่งผลต่อคุณภาพของไรซ์บอล

4.2.1 ผลการศึกษาผลของการเติมเกลือลงในไรซ์บอล

การเติมเกลือลงในไรซ์บอลที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 0.5 และ 1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอล ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า ขนาดและน้ำหนักของไรซ์บอลจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อมีการเติมเกลือ ขนาดของไรซ์บอลเมื่อเติมเกลือร้อยละ 0.5 เพิ่มขึ้นจาก 14.56 มิลลิเมตร ไปเป็น 15.20 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจาก 1.56 กรัม ไปเป็น 1.74 กรัม เมื่อมีการเติมเกลือร้อยละ 0.5 จากผลการทดลองดังกล่าว สามารถอธิบายได้ว่า อาจเกิดจากโซเดียมไอออนแทรกเข้าไปอยู่ในสายของกรดกลูคูโรนิก (G-block) (Zhang และคณะ, 1998; Zhao และคณะ, 2017) โซเดียมอาจจะเข้าไปรบกวนและแย่งแคลเซียมไอออนในการจับกับหมู่คาร์บอกซิลของกรดกลูคูโรนิก จึงลดการเกิดการสร้างพันธะเชื่อมข้ามในโครงสร้างกล่องไข่ (egg-box model) เป็นผลให้การเกิดเจลเกิดได้ลดลง (Puguan และคณะ, 2014) ในระหว่างการแช่เม็ดทรงกลมในน้ำเพื่อเกิดเจล น้ำจะสามารถซึมผ่านเข้าสู่เจลได้มากขึ้น เป็นผลให้ไรซ์บอลที่เติมเกลือมีขนาดและน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้โซเดียมไอออนที่จับกับกรดกลูคูโรนิกด้วยพันธะอย่างอ่อน (weak gel) ทำให้เกิดโครงสร้างที่คล้ายกับเจล (gel-like structure) แต่โครงสร้างที่เกิดขึ้นจะไม่แข็งแรงเหมือนกับการจับกันระหว่างหมู่คาร์บอกซิลกับแคลเซียมไอออนที่เกิดเป็นเจลอย่างแท้จริง (Seale และคณะ, 1982) เป็นผลให้เมื่อเติมเกลือลงในไรซ์บอลจะทำให้ค่าความแข็งของไรซ์บอลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าเมื่อเติมเกลือร้อยละ 1 ค่าความแข็งของไรซ์บอลลดลงจาก 1514 กรัม•แรง ไปเป็น 688 กรัม•แรง ผลการวิเคราะห์ค่าสีของไรซ์บอลที่เติมเกลือสอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องขนาด เมื่อเติมเกลือ น้ำเข้าสู่ภายในเจลมากขึ้น ไรซ์บอลมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นผลให้ค่าความสว่างของไรซ์บอลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.2)

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เติมเกลือและไม่เติมแสดงดังภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ พบว่าโครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เติมเกลือ จะเกาะกันอย่างหลวมๆ ไม่แน่นอนหนาเหมือนกับไรซ์บอลที่ไม่มีการเติมเกลือ โดยจะพบช่องว่างระหว่างโครงสร้างมาก เป็นผลให้น้ำซึมเข้าสู่โครงสร้างภายในเจลได้มาก ไรซ์บอลจึงมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งการจับกันของโครงสร้างร่างแหอย่างแน่นหนาแข็งแรงไม่ค่อยพบพื้นที่ว่างระหว่างโครงสร้างของเจล ทำให้ไรซ์บอลที่ไม่ได้เติมเกลือมีค่าความแข็งมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของโรซบอลที่มีการเติมเกลือและน้ำตาลที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

Properties	0 %	Salt 0.5%	Salt 1%	Sugar 4%	Sugar 8%
Size (mm)	14.56±0.20 ^a	15.23±0.04 ^b	15.20±0.08 ^b	15.26±0.12 ^b	15.48±0.05 ^c
Weight (g)	1.56±0.00 ^a	1.74±0.01 ^b	1.73±0.02 ^b	1.75±0.03 ^b	1.84±0.02 ^c
L*	31.34±1.78 ^a	33.58±0.67 ^c	32.37±0.69 ^{ab}	33.07±0.03 ^{bc}	32.17±0.86 ^{ab}
a* ^{ns}	10.70±0.05	10.57±0.06	10.96±0.18	10.74±0.62	10.46±0.09
b*	1.89±0.05 ^b	1.86±0.05 ^b	2.10±0.07 ^c	1.89±0.14 ^b	1.57±0.10 ^a
Hardness (g•force)	1514.75±12.78 ^d	1034.63±18.04 ^b	688.92±48.94 ^a	1127.25±30.82 ^c	1068.41±15.36 ^b
Springiness (mm)	0.86±0.01 ^a	0.87±0.01 ^b	0.91±0.01 ^d	0.89±0.00 ^c	0.86±0.01 ^a
Cohesiveness	0.66±0.00 ^b	0.68±0.01 ^c	0.73±0.00 ^d	0.66±0.00 ^b	0.65±0.00 ^a
Gumminess (N)	973.25±12.78 ^c	770.88±13.10 ^b	505.32±22.07 ^a	952.42±12.01 ^d	881.99±9.96 ^c
Chewiness (N)	856.16±22.91 ^d	689.61±9.86 ^b	473.65±16.04 ^a	766.07±13.79 ^c	758.93±10.14 ^c

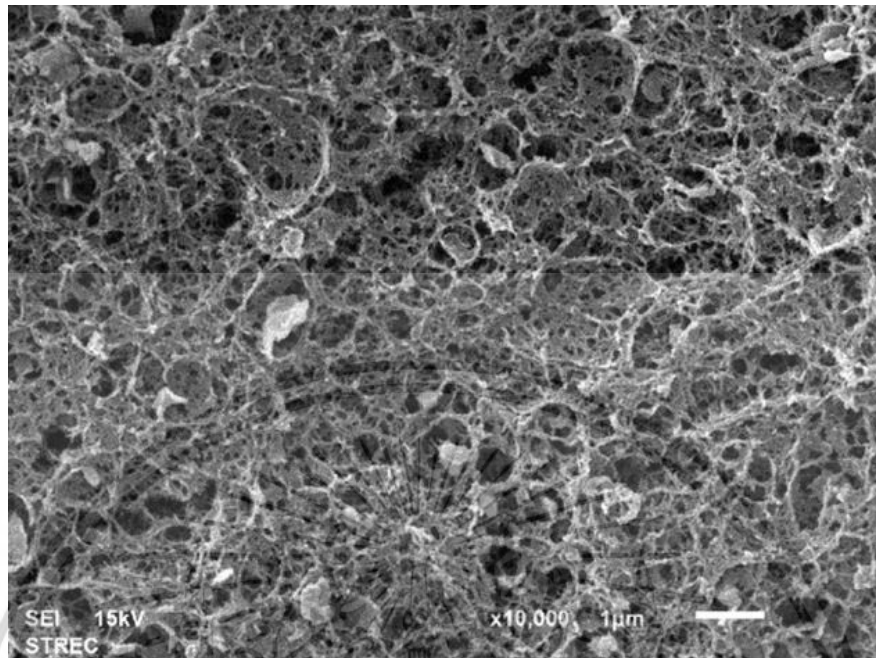
หมายเหตุ : ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างไรไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p > 0.05$)

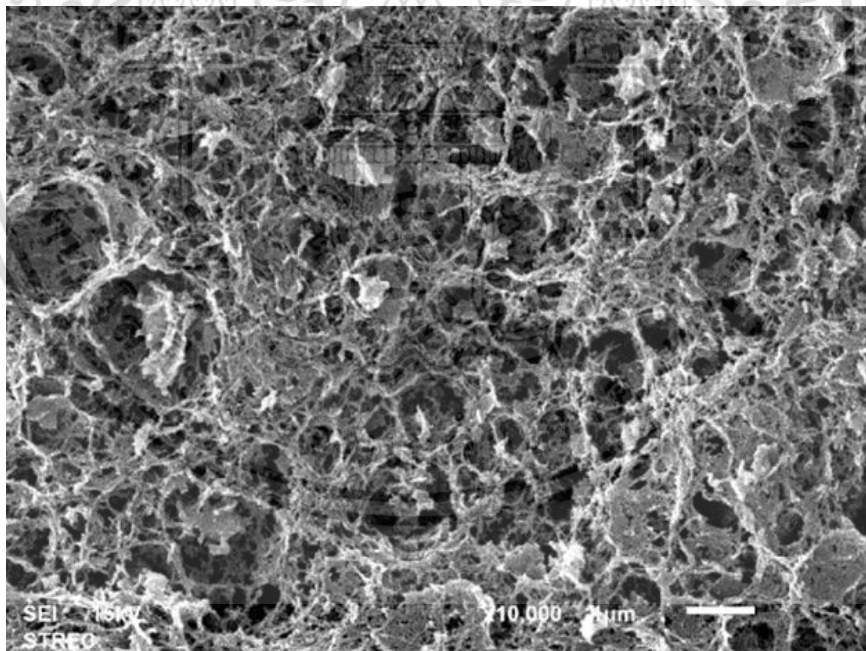
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

นอกจากนี้การเติมเกลือทำให้โครงสร้างร่างแหสามารถถูกทำลายได้ง่ายกว่าดังที่กล่าวมาข้างต้น เป็นผลให้แรงที่ใช้ในการเคี้ยวน้อยกว่า จึงเป็นผลให้ค่า gumminess และค่า chewiness ของโรซบอลที่เติมเกลือมีค่าน้อยกว่าโรซบอลที่ไม่ได้เติมเกลืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.2) อย่างไรก็ตาม ค่า springiness และค่า cohesiveness ของโรซบอลที่เติมเกลือมีค่าเพิ่มขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือโรซบอลที่ผ่านการเติมเกลือจะมีค่าความยืดหยุ่น (elasticity) มากขึ้น การสร้างพันธะอย่างอ่อนของโซเดียมไอออนระหว่างสายของกรดกลูโรนิก ทำให้เจลมีความอ่อนนุ่มกว่า อาจทำให้โรซบอลสามารถฟื้นฟูได้ง่ายขึ้น (recovery) เมื่อได้รับความเสียหายจากแรงกด จึงมีค่าความยืดหยุ่นมากขึ้น (Seale และคณะ, 1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



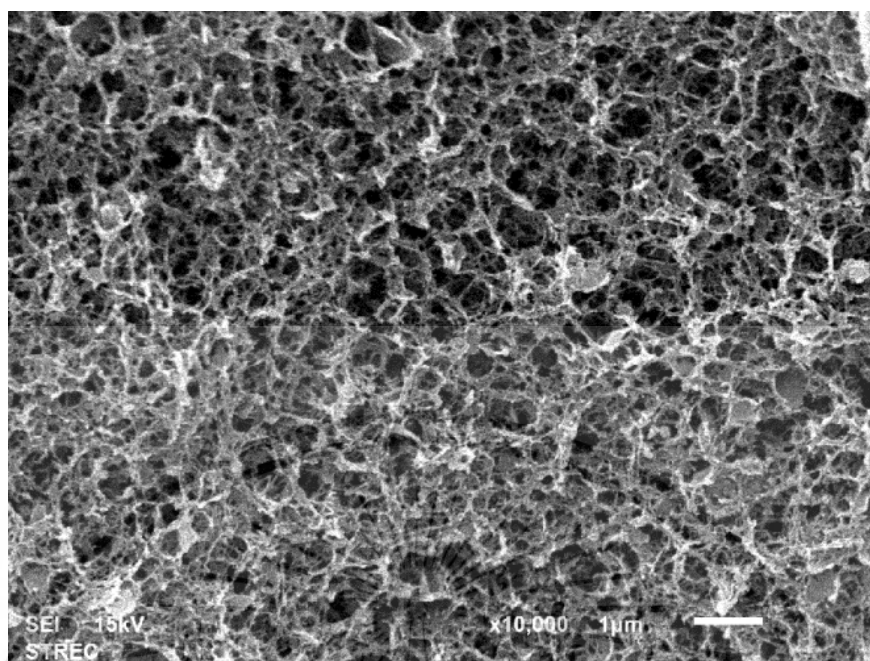
ข)

ภาพที่ 4.4 โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เติมสารปรุงรสชาติอาหารที่กำลังขยาย 10000 เท่า:

ก) ไรซ์บอลที่ไม่ได้เติมเกลือหรือน้ำตาล (control); ข) ไรซ์บอลที่เติมเกลือ 1 % ;

ค) ไรซ์บอลที่เติมน้ำตาล 8 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)

ภาพที่ 4.4 โครงสร้างภายในของโรซบอลที่เติมสารปรุงรสชาติอาหารที่กำลังขยาย 10,000 เท่า (ต่อ):

ก) โรซบอลที่ไม่ได้เติมเกลือหรือน้ำตาล (control); ข) โรซบอลที่เติมเกลือ 1 % ;

ค) โรซบอลที่เติมน้ำตาล 8 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการศึกษาผลของการเติมน้ำตาลลงในไรซ์บอล

การเติมน้ำตาลที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 8 จะส่งผลต่อไรซ์บอลในด้านของลักษณะทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 4.2 เช่นเดียวกับการเติมเกลือ พบว่าการเติมน้ำตาลจะส่งผลให้ขนาดและน้ำหนักของไรซ์บอลมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความสว่างของไรซ์บอลเพิ่มขึ้น และค่าความแข็งของไรซ์บอลจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับไรซ์บอลที่ไม่ได้เติมน้ำตาล อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมเกลือ พบว่าการเติมเกลือทำให้ค่าความแข็งของไรซ์บอลเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่า ไรซ์บอลที่เติมเกลือร้อยละ 1 มีค่าความแข็งเท่ากับ 688 กรัม•แรง ในขณะที่ไรซ์บอลที่เติมน้ำตาลร้อยละ 8 มีค่าความแข็งเท่ากับ 1068 กรัม•แรง

ทฤษฎีของการเกิดเจลระหว่างโซเดียมอัลจินตกับแคลเซียมไอออนเกิดจากพันธะหลัก 2 พันธะคือ หมู่คาร์บอกซิลของกรดกลูโรรินิกของอัลจินต เกิดพันธะเชื่อมข้ามกับแคลเซียมไอออน เกิดพันธะไอออนิก (ionic bonding) (Stevens และคณะ, 2004; George and Abraham, 2006; Puguan และคณะ, 2014; Paques และคณะ, 2014) หรืออีกแบบหนึ่งคือ การเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) ระหว่างแคลเซียมไอออนกับหมู่ไฮดรอกซิลของกรดกลูโรรินิก หรือออกซิเจนอะตอม (Kashima และ Imai, 2012; Selimoglu และ Elibol, 2010; Kühbeck และคณะ, 2015) การเติมน้ำตาลซูโครสที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมาก อาจส่งผลต่อความสามารถในการเกิดเจลของอัลจินตได้ ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำตาลอาจจะเข้าไปขัดขวางการเกิดเจลระหว่างหมู่ไอออนลบของกรดกลูโรรินิกกับแคลเซียมไอออน หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ หมู่ไฮดรอกซิลของน้ำตาลจะเข้าแข่งจับกับแคลเซียมแทน ทำให้การเกิดเจลเกิดได้ช้าลง จึงเป็นผลให้น้ำซึมผ่านเข้าสู่ภายในเจลมากขึ้น ขนาดของเม็ดทรงกลมจึงใหญ่ขึ้น มีน้ำหนักมากขึ้น ค่าความแข็งของเจลลดลง

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เติมน้ำตาลแสดงดังภาพที่ 4.4 เช่นเดียวกับการเติมเกลือ พบว่าไรซ์บอลที่เติมน้ำตาลร้อยละ 8 จะมีโครงสร้างของเจลที่จับกันหลวมกว่า มีความแน่นหนาน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับไรซ์บอลที่ไม่มีการเติมสารปรุงรสชาติ (control) โดยพบว่ามีโครงสร้างของเจลที่เป็นระเบียบ มีโครงสร้างร่างแหจับกันอย่างแน่นหนา จึงเป็นผลให้ค่าความแข็งของไรซ์บอลที่เติมน้ำตาลมีค่าความแข็งลดลง แรงที่ใช้ในการเคี้ยวลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างโครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เติมเกลือและน้ำตาลพบว่า โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เติมน้ำตาลมีโครงสร้างร่างแหที่เป็นระเบียบมากกว่า ในขณะที่โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เติมเกลือมีช่องว่างภายในที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวนมาก ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์

เนื้อสัมผัสที่พบว่า การเติมเกลือร้อยละ 1 ทำให้ค่าความแข็งของไรซ์บอลลดลงมาก (ตารางที่ 4.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการเติมสารปรุงแต่งรสชาติลงในไรซ์บอลพบว่า จะทำให้ค่าความแข็งของไรซ์บอลลดลง ซึ่งถ้าหากต้องการเติมสารปรุงแต่งรสชาติลงในไรซ์บอลเพื่อให้ได้รสชาติ โดยยังคงรักษาความแข็งของเม็ดทรงกลมไว้ได้ อาจทำได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนของข้าวสุกในการเตรียมน้ำนมข้าว อย่างไรก็ตามการเติมสารปรุงรสรสชาติอาหาร เช่น การเติมเกลือร้อยละ 1 ทำให้เม็ดทรงกลมมีค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะเหมาะสมกับอาหารที่ต้องการความยืดหยุ่นของเม็ดเจล

4.3 ผลการศึกษาผลของการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพต่อคุณภาพของไรซ์บอล

เพื่อเป็นการเสริมคุณประโยชน์ให้กับไรซ์บอล จึงได้ทดลองเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพชนิดต่างๆ ได้แก่ เส้นใยอาหาร (dietary fiber) สารต้านอนุมูลอิสระ กลูโคซามีน และกรดโฟลิก ลงในไรซ์บอลทีละชนิด ตามลำดับ โดยผลการทดลองมีดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาผลของการเสริมอินนูลินลงในไรซ์บอล

ก่อนหน้านี้ผู้วิจัยได้ทดลองใช้เส้นใยอาหารจาก B-glucan ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.5 และ 3 ซึ่งเป็นกลุ่มเส้นใยอาหารที่ไม่มีรสชาติมาลองเสริมลงในไรซ์บอล โดยแบ่งลักษณะของการเสริมเป็น 2 ลักษณะ คือ การเติม B-glucan ผสมลงไปกับน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวและเติมลงในขั้นตอนการปั่นผสมของน้ำนมข้าว พบว่าการเติม B-glucan ผสมลงไปกับน้ำที่ใช้ในการหุงข้าวจะทำให้เมล็ดข้าวสุกไม่ทั่วถึง ข้าวแข็ง และมีลักษณะเหนียวเป็นเมือก (ภาพภาคผนวกที่ ข.5) เนื่องจาก B-glucan เป็น โมเลกุลที่ค่อนข้างใหญ่ มีการเชื่อมต่อกันด้วยน้ำตาลกลูโคสด้วยพันธะ คือ β -(1.3) และ β -(1.4) linkage- β -D-glucopyranosyl บางครั้งอาจเชื่อมต่อกันถึง 1,500-250,000 glucose residues (Gardiner, 2000; Klis และคณะ, 2002) ทำให้ B-glucan ไม่สามารถถูกดูดซึมเข้าไปในเมล็ดข้าวได้ และเมื่อเสริม B-glucan ลงในน้ำนมข้าว ทำให้น้ำนมข้าวมีความหนืดมากและไม่เหมาะสมในการเตรียมไรซ์บอล ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกเส้นใยอาหารจากแหล่งอื่นแทน โดยในการทดลองนี้ได้เลือกใช้อินนูลิน ซึ่งเป็นเส้นใยอาหารที่หาง่าย ราคาไม่แพง แต่อาจมีข้อจำกัดในรสชาติของความหวาน โดยทดลองเสริมลงในน้ำนมข้าวในความเข้มข้นร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 ผลของการเสริมอินนูลินต่อลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลแสดงดังตารางที่ 4.3

การเพิ่มความเข้มข้นของอินนูลินจะส่งผลให้ขนาดและน้ำหนักของไรซ์บอลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทางกลับกัน ค่าความแข็งของไรซ์บอลจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับไรซ์บอลที่ไม่ได้เสริมอินนูลิน (control) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า

เอกลสารเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่ช่วยในการเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์สุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการช่วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของอินนูลินจะประกอบด้วยการเชื่อมต่อกันของน้ำตาลฟรุกโทส (DF= 2-60) (Roberfroid, 2005) ทำให้โครงสร้างของอินนูลินจะเต็มไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งอาจไปขัดขวางการเกิดเจลระหว่างหมู่คาร์บอกซิลกับแคลเซียมไอออน (Selimoglu และ Elibol, 2010) ทำให้เจลเกิดขึ้นได้ช้าลง น้ำจึงซึมผ่านเข้าสู่เจลมากขึ้น เป็นผลให้ไรซ์บอลที่เสริมอินนูลินมีขนาดและน้ำหนักมากขึ้น รวมทั้งการรบกวนการเกิดเจลของหมู่ไฮดรอกซิลของอินนูลิน ทำให้โครงสร้างร่างแหล่องไขเกิดได้น้อยลง เป็นผลให้ค่าความแข็งของไรซ์บอลลดลง นอกจากนี้อินนูลินเป็นเส้นใยอาหารที่จับกับน้ำได้ดี (Robinson และ Tamime, 1999) จึงทำให้สามารถมีอันตรกิริยา (interaction) กับน้ำในเม็ดเจล เป็นผลให้ปริมาณน้ำในไรซ์บอลเพิ่มขึ้น ความแข็งของไรซ์บอลจึงลดลง รวมถึงค่าแรงที่ใช้ในการกัด (gumminess และ chewiness)

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่มีการเสริมอินนูลินที่ความเข้มข้นต่างกัน

Properties	Inulin 0 %	Inulin 2%	Inulin 4%	Inulin 6%
Size (mm)	14.45±0.06 ^a	14.75±0.07 ^b	15.01±0.10 ^c	15.22±0.05 ^d
Weight (g)	1.59±0.03 ^a	1.67±0.04 ^b	1.74±0.02 ^c	1.76±0.02 ^c
L*	32.44±0.08 ^a	32.50±0.16 ^a	32.84±0.14 ^b	32.49±0.18 ^a
a*	7.40±0.40 ^{ab}	7.28±0.13 ^{ab}	7.56±0.19 ^b	7.23±0.07 ^a
b* ^{ns}	1.87±0.15	1.82±0.06	2.07±0.19	1.92±0.30
Hardness (g•force)	1528.01±40.61 ^d	1400.41±24.76 ^c	1262.65±28.65 ^b	1148.79±21.86 ^a
Springiness (mm)	0.85±0.02 ^a	0.86±0.01 ^b	0.89±0.01 ^c	0.90±0.01 ^d
Cohesiveness	0.65±0.00 ^a	0.66±0.00 ^b	0.67±0.01 ^b	0.67±0.01 ^b
Gumminess (N)	1000.58±22.57 ^d	922.55±11.04 ^c	811.89±17.01 ^b	743.76±31.50 ^a
Chewiness (N)	855.11±20.81 ^d	804.04±14.97 ^c	742.24±16.50 ^b	684.94±10.06 ^a

หมายเหตุ : ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)
 ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p > 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์อินนูลินโดยประมาณในไรซ์บอลทำโดยการใช้วิธี TLC method ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในห้องปฏิบัติการ (Petkova and Denev, 2013; Ariandi และคณะ, 2015) ผลการวิเคราะห์ที่แสดงในภาพที่ 4.5 แถบที่ 1 ถึง 4 แสดงแถบของน้ำตาลมาตรฐานและอินนูลิน แถบที่ 5 แสดงไรซ์บอลที่ไม่ได้เติมอินนูลิน (control) พบว่าจะไม่พบแถบสีดำของอินนูลิน อย่างไรก็ตาม ไรซ์บอลที่ผ่านการเสริมอินนูลินที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 2 (แถบที่ 6), ร้อยละ 4 (แถบที่ 7) และ ร้อยละ 6 (แถบที่ 8) จะพบแถบสีดำเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของอินนูลินที่เสริมลงในไรซ์บอลมากขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีปริมาณของอินนูลินในไรซ์บอลเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของอินนูลินที่เสริมลงไปมากขึ้น



ภาพที่ 4.5 Thin-layer chromatograph ของน้ำตาลมาตรฐาน อินนูลิน และไรซ์บอลที่ผ่านการเสริมอินนูลินที่ความเข้มข้นต่างกัน: 1) กลูโคส ; 2) ฟรุกโตส ; 3) ซูโครส ; 4) อินนูลิน ; 5) ไรซ์บอลที่เสริมอินนูลิน 0 % , 6) ไรซ์บอลที่เสริมอินนูลิน 2 % ; 7) ไรซ์บอลที่เสริมอินนูลิน 4 % และ 8) ไรซ์บอลที่เสริมอินนูลิน 6 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองทางด้านลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่เสริมอินนูลิน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ไรซ์บอลมีเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงเลือกไรซ์บอลที่เสริมอินนูลินร้อยละ 2 เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป เนื่องจากไรซ์บอลมีการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะทางกายภาพน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นคือ มีขนาดเพิ่มขึ้นจาก 14.45 มิลลิเมตร ไปเป็น 14.75 มิลลิเมตร ค่าสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างไรซ์บอลที่ไม่มีการเสริมอินนูลิน

4.3.2 ผลการศึกษาผลของการเสริมอาซาอิเบอร์รี่ลงในไรซ์บอล

ไรซ์บอลที่ผ่านการเสริมอินนูลินร้อยละ 2 จะถูกเลือกนำมาทำการทดลองต่อ โดยการศึกษาการเสริมผงอาซาอิเบอร์รี่ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0.1, 0.25 และ 0.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่เสริมอาซาอิเบอร์รี่ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าการเสริมอาซาอิเบอร์รี่ไม่ได้ทำให้ค่าขนาด น้ำหนัก และลักษณะทางเนื้อสัมผัสของไรซ์บอลเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยยังคงมีขนาด น้ำหนัก และลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับไรซ์บอลที่ไม่มีการเสริมอาซาอิเบอร์รี่ มีเพียงค่าสีที่พบว่า มีค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเสริมอาซาอิเบอร์รี่ ผงอาซาอิเบอร์รี่มีสีแดงสว่าง ในขณะที่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสีม่วงเข้ม การเสริมผงอาซาอิเบอร์รี่จึงทำให้ค่าความสว่างและค่าสีแดงของไรซ์บอลเพิ่มมากขึ้น

การเสริมผงอาซาอิเบอร์รี่จะส่งผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไรซ์บอลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของไรซ์บอลที่เสริมอินนูลินร้อยละ 2 และเสริมผงอาซาอิเบอร์รี่ในปริมาณที่แตกต่างกัน ผลของอาซาอิเบอร์รี่ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากถึง 90 ชนิด ประกอบไปด้วยสารในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) สารในกลุ่มลิกนอยด์ (lignoids) และแอนโทไซยานิน (Gallori และคณะ, 2004; Schauss และคณะ, 2006; Pacheco-Palencia และคณะ, 2007) อีกทั้งอาซาอิเบอร์รี่ยังเป็นผลไม้ที่อยู่ในอันดับ 1 ในกลุ่มของอาหารที่ให้สารต้านอนุมูลอิสระ (Grange และ Bennert, 2011) เป็นผลให้การเสริมผงอาซาอิเบอร์รี่ลงในไรซ์บอล ทำให้ไรซ์บอลมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะตัวอย่างไรซ์บอลที่เสริมผงอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 46.53 ไปเป็นร้อยละ 68.14 และความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่มีการเสริมอินนูลินร้อยละ 2 และผงอาซาอิเบอร์รี่ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

Properties	Acai 0 %	Acai 0.1 %	Acai 0.25 %	Acai 0.4 %
Size (mm) ^{ns}	14.70±0.04	14.74±0.09	14.75±0.11	14.73±0.06
Weight (g) ^{ns}	1.60±0.03	1.62±0.02	1.60±0.02	1.63±0.03
L*	31.44±0.16 ^a	32.39±0.14 ^b	32.45±0.09 ^b	32.48±0.08 ^b
a*	8.43±0.15 ^a	9.30±0.10 ^{bc}	9.39±0.38 ^c	8.91±0.55 ^b
b*	1.75±0.09 ^a	1.95±0.14 ^{ab}	2.12±0.25 ^b	2.19±0.30 ^b
Hardness (g•force) ^{ns}	1401.01±32.43	1397.44±46.76	1408.97±14.11	1415.17±23.46
Springiness (mm) ^{ns}	0.85±0.01	0.85±0.02	0.85±0.01	0.86±0.01
Cohesiveness ^{ns}	0.66±0.00	0.66±0.01	0.65±0.00	0.65±0.01
Gumminess (N)	898.82±18.17 ^b	893.51±17.62 ^{ab}	897.33±4.50 ^b	878.24±6.53 ^a
Chewiness (N)	742.76±5.79 ^b	748.52±5.83 ^b	745.33±8.55 ^b	733.54±3.36 ^a

หมายเหตุ : ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)
^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p > 0.05$).

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 4.5 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไรซ์บอลที่เสริมอินนูลินร้อยละ 2 และเสริมผงอาซาอิเบอร์รี่ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

Properties	Acai 0 %	Acai 0.1 %	Acai 0.25 %	Acai 0.4 %
Anthocyanin (mg/10g sample)	3.2289±0.18 ^a	3.7367±0.15 ^b	4.4530±0.15 ^c	4.7314±0.22 ^c
DPPH (% Scavenging activity)	46.53±2.34 ^a	59.48±2.60 ^b	62.71±1.61 ^b	68.14±0.86 ^c
FRAP (µg Trolox eq./10g sample)	29.57±1.89 ^a	37.07±1.48 ^b	45.13±1.10 ^c	56.79±3.07 ^d

หมายเหตุ : ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นจาก 29.57 ไปเป็น 56.79 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Girones-Vilaplana และคณะ (2012b) พบว่าการใส่ผงอาซาอิเบอร์รี่ลงในน้ำมะนาวจะทำให้ค่า IC_{50} ของวิธีการทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH•, $O_2^{\cdot-}$, HOCl, •OH, AChE และ BChE ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทุกวิธีการทดสอบ จากผลการทดลอง ผู้วิจัยจึงเลือกไรซ์บอลที่เสริมอินนูลินร้อยละ 2 และอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 ที่ให้ค่าความสามารถความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงสุด เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

4.3.3 ผลการศึกษาผลของการเสริมกลูโคซามีนลงในไรซ์บอล

ไรซ์บอลที่ผ่านการเสริมอินนูลินร้อยละ 2 และผงอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 ถูกนำมาทดลองต่อโดยการเสริมกลูโคซามีนในปริมาณต่างๆ จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ถ้าใช้ปริมาณของกลูโคซามีนสูง จะทำให้น้ำนมข้าวมีรสเปรี้ยว และสีเหลืองของกลูโคซามีนจะรบกวนสีของน้ำนมข้าว ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเสริมกลูโคซามีนในน้ำนมข้าวในปริมาณร้อยละ 0.5, 0.75 และ 1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและปริมาณกลูโคซามีนที่เหลืออยู่ของไรซ์บอลแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคซามีนจะทำให้ขนาดและน้ำหนักของไรซ์บอลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความแข็งของไรซ์บอลและค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคซามีน โดยเฉพาะถ้ากลูโคซามีนเท่ากับร้อยละ 1 ทำให้ลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไปมาก เมื่อเทียบกับไรซ์บอลที่ไม่ได้เสริมกลูโคซามีน โครงสร้างของกลูโคซามีนประกอบด้วย โมเลกุลของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันและมีหมู่อะมิโนเกาะอยู่ (Huskisson, 2008) อาจทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคซามีนรบกวนหรือขัดขวางการสร้างโครงสร้างกล่องไประหว่างหมู่คาร์บอกซิลิกของอัลจินตกับแคลเซียมไอออน (Selimoglu และ Elibol, 2010) เป็นผลให้โครงสร้างตาข่ายของเจลมีความแข็งแรงลดลง ความแข็งแรงของไรซ์บอลที่เสริมกลูโคซามีนจึงลดลง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลูโคซามีนในไรซ์บอลแสดงดังตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ปริมาณกลูโคซามีนอาศัยหลักการการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโนกับนินไฮดริน (Wu และคณะ, 2005) ในไรซ์บอลที่ไม่ได้เสริมกลูโคซามีนพบว่า ตรวจพบกลูโคซามีน 9.81 มิลลิกรัมต่อ 10 กรัมตัวอย่าง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากหมู่อะมิโนของโปรตีนที่อยู่ในข้าวไรเบอร์รี่ ซึ่งมีรายงานว่าในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีโปรตีนประมาณร้อยละ 8 (นรินทร์ภพ และคณะ, 2556) อย่างไรก็ตาม เมื่อเสริมกลูโคซามีนลงใน

น้ำหนักข้าวก่อนขึ้นรูปเป็นโรซบอล ทำให้ปริมาณกลูโคซามีนในโรซบอลเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น โรซบอลที่เสริมกลูโคซามีนร้อยละ 0.75 จะพบกลูโคซามีนในโรซบอลเท่ากับ 34.84 มิลลิกรัมต่อ 10 กรัมตัวอย่าง

ตารางที่ 4.6 ลักษณะทางกายภาพและปริมาณกลูโคซามีนของโรซบอลที่มีการเสริมอินนูลินร้อยละ 2 ผงอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 และกลูโคซามีนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

Properties	Glu 0 %	Glu 0.5 %	Glu 0.75 %	Glu 1 %
Size (mm)	14.65±0.07 ^a	14.68±0.05 ^a	14.69±0.02 ^{ab}	14.74±0.02 ^b
Weight (g)	1.52±0.03 ^a	1.53±0.01 ^{ab}	1.55±0.02 ^{bc}	1.57±0.01 ^c
L*	33.18±0.11 ^{ab}	32.94±0.30 ^a	33.22±0.12 ^b	33.29±0.26 ^b
a*	8.89±0.30 ^a	9.03±0.10 ^{ab}	9.21±0.12 ^b	9.15±0.20 ^b
b*	0.97±0.06 ^b	0.85±0.04 ^a	1.00±0.12 ^b	1.00±0.07 ^b
Hardness (g•force)	1450.95±25.67 ^d	1383.96±32.36 ^c	1332.75±20.03 ^b	1300.60±23.96 ^a
Springiness (mm)	0.85±0.01 ^a	0.86±0.01 ^b	0.87±0.01 ^b	0.87±0.01 ^b
Cohesiveness	0.64±0.00 ^a	0.64±0.00 ^a	0.65±0.00 ^b	0.66±0.00 ^c
Gumminess (N)	952.01±25.26 ^d	919.76±4.46 ^c	866.61±18.73 ^b	826.03±11.42 ^a
Chewiness (N)	785.32±10.95 ^c	790.69±9.88 ^c	755.11±9.70 ^b	713.76±4.14 ^a
Glucosamine content (mg/10 g sample)	9.81±0.07 ^a	26.34±0.37 ^b	34.84±0.54 ^c	50.54±0.41 ^d

หมายเหตุ : ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

Glu หมายถึง กลูโคซามีน

จากผลการทดลอง ผู้วิจัยเลือกโรซบอลที่เสริมกลูโคซามีนร้อยละ 0.75 เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป เนื่องจากลักษณะปรากฏด้านขนาดและสีของโรซบอลที่เสริมกลูโคซามีนร้อยละ 0.75 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับโรซบอลที่ไม่ได้เสริมกลูโคซามีน (control) นอกจากนี้ ถ้าคำนวณจากการบริโภคโรซบอลในแต่ละครั้ง (serving size, 80 กรัม) พบว่าจะได้รับปริมาณกลูโคซามีนถึง 278.49 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูงสำหรับความต้องการของร่างกาย ประกอบกับ ร่างกายมนุษย์สามารถที่จะสังเคราะห์กลูโคซามีนได้ (Simanek และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลังงานวิจัยที่ดำเนินการขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยู่ใช้เห็นประโยชน์ประการใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะ, 2005) ดังนั้นการรับประทานไรซ์บอลที่เสริมกลูโคซามีนสามารถช่วยลดความเสี่ยงของโรคกระดูกเสื่อม (Black และคณะ, 2009)

4.3.4 ผลการศึกษาผลของการเสริมกรดโฟลิกลงในไรซ์บอล

ไรซ์บอลที่ผ่านการเสริมอินนูลินร้อยละ 2 ผงอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 และกลูโคซามีนร้อยละ 0.75 ถูกนำมาทดลองต่อไปโดยการเสริมกรดโฟลิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน กรดโฟลิกเป็นวิตามินที่ค่อนข้างสูญสลายได้ง่ายด้วยความร้อน ค่าความเป็นกรดต่าง โดยเฉพาะกับแสงและความร้อน (Gazzali และคณะ, 2016) สามารถละลายได้ดีในน้ำ และมีข้อจำกัดเมื่อละลายน้ำจะทำให้สีเหลือง ดังนั้นจากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ปริมาณของกรดโฟลิกที่ควรเสริมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.0007 ถึงร้อยละ 0.0012 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของไรซ์บอลเมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดโฟลิกที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 4.7

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่เสริมกรดโฟลิกพบว่า ลักษณะทางกายภาพโดยรวม เช่น ขนาด น้ำหนัก ค่าสี และลักษณะเนื้อสัมผัสของไรซ์บอลที่ไม่ได้เสริมและเสริมกรดโฟลิกในช่วงร้อยละ 0.0007 ถึงร้อยละ 0.0012 ไม่มีความแตกต่างกัน การเสริมกรดโฟลิกในช่วงที่ทดลองไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพและลักษณะเนื้อสัมผัสของไรซ์บอล ดังนั้นผู้วิจัยเลือกตัวอย่างไรซ์บอลที่เสริมกรดโฟลิกในปริมาณร้อยละ 0.0010 เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป เนื่องจากที่ปริมาณนี้เมื่อใช้การคำนวณ เทียบกับปริมาณกรดโฟลิกร้อยละ 200 ของปริมาณกรดโฟลิกที่ควรบริโภคต่อวัน (200 % RDI) เมื่อรับประทานไรซ์บอล 1 serving size หรือประมาณ 80 กรัม อย่างไรก็ตาม กรดโฟลิกสามารถละลายน้ำและอาจแพร่ออกมาในน้ำที่ใช้แช่ไรซ์บอลระหว่างการขึ้นรูป ทำให้ปริมาณกรดโฟลิกที่เหลืออยู่ลดลง ซึ่งปริมาณกรดโฟลิกที่หลงเหลือในไรซ์บอลที่เสริมกรดโฟลิกร้อยละ 0.0010 จะรายงานผลในบทต่อไป

จากผลการทดลองทั้งหมดของการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพลงในไรซ์บอลพบว่า สามารถเสริมอินนูลินร้อยละ 2 ผงอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 กลูโคซามีนร้อยละ 0.75 และกรดโฟลิกร้อยละ 0.001 ของน้ำหนักของน้ำนมข้าว ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบของลักษณะทางกายภาพและลักษณะเนื้อสัมผัสของไรซ์บอลที่เสริมและไม่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ พบว่าในทางสถิติ ขนาด น้ำหนัก และค่าสีมีความแตกต่างกัน ค่าความแข็งและค่าแรงที่ใช้เคี้ยวลดลงเมื่อมีการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่มีการเสริมอินนูลินร้อยละ 2 ผงอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 กลูโคซามีนร้อยละ 0.75 และกรดโพลีลิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

Properties	Folic acid 0 %	Folic acid 0.0007 %	Folic acid 0.0010 %	Folic acid 0.0012 %
Size (mm) ^{ns}	14.70±0.04	14.71±0.05	14.70±0.05	14.71±0.02
Weight (g) ^{ns}	1.56±0.02	1.55±0.02	1.56±0.03	1.56±0.02
L* ^{ns}	33.12±0.19	33.11±0.29	33.19±0.25	33.16±0.19
a* ^{ns}	8.57±0.13	8.57±0.16	8.57±0.06	8.56±0.13
b* ^{ns}	0.52±0.07	0.58±0.06	0.57±0.09	0.56±0.10
Hardness (g•force)	1322.20±26.36 ^a	1355.33±17.59 ^b	1334.51±26.00 ^{ab}	1340.60±16.81 ^{ab}
Springiness (mm) ^{ns}	0.87±0.01	0.87±0.01	0.86±0.02	0.87±0.01
Cohesiveness ^{ns}	0.66±0.00	0.66±0.00	0.66±0.00	0.67±0.00
Gumminess (N) ^{ns}	863.12±12.53	859.13±15.70	867.66±11.88	857.64±13.81
Chewiness (N) ^{ns}	753.41±13.39	757.57±12.75	745.84±18.25	758.46±6.27

หมายเหตุ : ^{a-b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

RDI หมายถึง ปริมาณแนะนำที่ควรได้รับจากการบริโภคต่อวัน

ผลการศึกษารวิเคราะห์โครงสร้างภายในของไรซ์บอล (SEM) ที่ผ่านการเสริมและไม่เสริม ส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพแสดงในภาพที่ 4.6 โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่เสริมและไม่เสริม ส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพประกอบด้วยเส้นใยประสานกันเป็นร่างแห (filament network structure) โดยจะพบว่าการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพทำให้โครงสร้างภายในของไรซ์บอลเปลี่ยนไป โครงสร้างภายในของไรซ์บอลที่ไม่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพประกอบด้วยเส้นใยจับกันกระจาย แน่น พบช่องว่างน้อย ในขณะที่ไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพมีเส้นใยจับกันเป็นกลุ่มก้อน เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างมาก ดังที่อธิบายข้างต้น ส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่เสริมเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น อินนูลินและกลูโคซามีน อาจไปรบกวนการสร้างโครงสร้างกล่องไข ทำให้โครงสร้างร่างแหขาดตอนไม่ต่อเนื่อง จึงเกิดช่องว่างระหว่างโครงสร้างร่างแห จึงทำให้ค่าความแข็งของไรซ์บอลลดลง ดังที่แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่ไม่ได้เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพและไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ

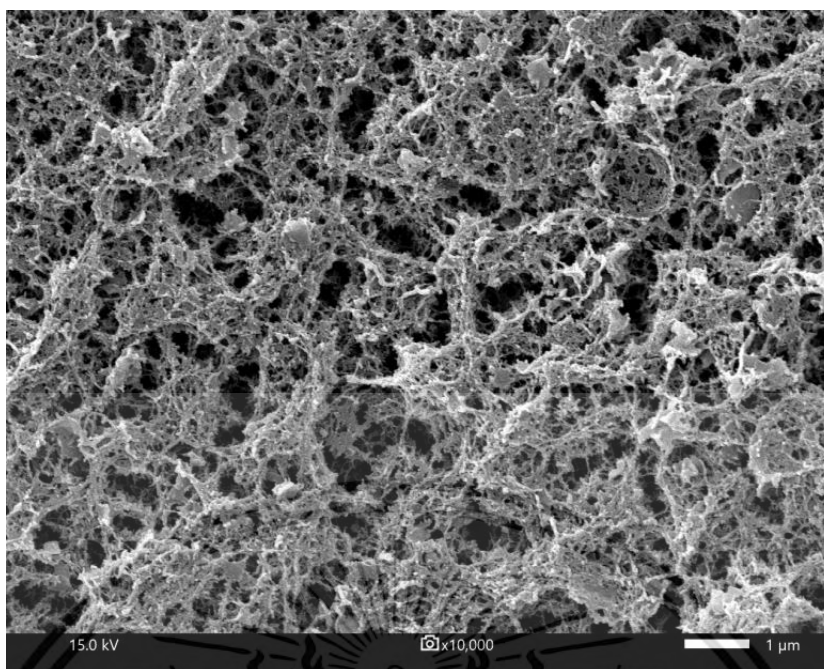
Properties	Rice ball without fortified	Rice ball with fortified
Size (mm)	14.48±0.06 ^a	14.70±0.05 ^b
Weight (g)	1.52±0.03 ^a	1.56±0.03 ^b
L*	32.44±0.08 ^a	33.19±0.25 ^b
a*	7.40±0.40 ^a	8.57±0.06 ^b
b*	1.87±0.15 ^b	0.57±0.09 ^a
Hardness (g•force)	1528.01±40.61 ^b	1334.51±26.00 ^a
Springiness (mm) ^{ns}	0.85±0.02	0.86±0.02
Cohesiveness ^{ns}	0.65±0.00	0.66±0.00
Gumminess (N)	1000.58±22.57 ^b	867.66±11.88 ^a
Chewiness (N)	855.11±20.81 ^b	745.84±18.25 ^a

หมายเหตุ : ^{a-b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

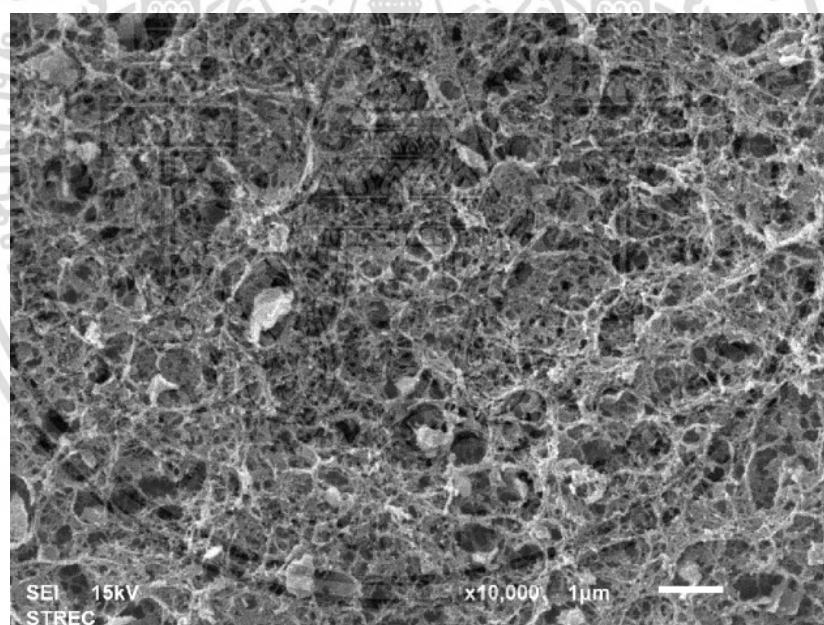
^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

Rice ball with fortified หมายถึง ไรซ์บอลที่ผ่านการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ ได้แก่ อินนูลินร้อยละ 2, อาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4, กลูโคซามีนร้อยละ 0.75 และกรดโฟลิกร้อยละ 0.0010



ก)



ข)

ภาพที่ 4.6 โครงสร้างภายในของไฮโดรเจลที่กำลังขยาย 10,000 เท่า:

ก) ไฮโดรเจลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ ; ข) ไฮโดรเจลที่ไม่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมเชิงสุขภาพแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่า ไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมเชิงสุขภาพมีปริมาณความชื้นร้อยละ 89.61 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 1.59 ปริมาณไขมันร้อยละ 0.80 ปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) ร้อยละ 1.66 ซึ่งเป็นปริมาณที่ยังไม่รวมกับปริมาณใยอาหารจากอินนูลินที่ต้องใช้เอ็นไซม์ในการวิเคราะห์ที่เจาะจง (Petkova และ Denev, 2015) ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.62 และปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวมทั้งหมดร้อยละ 5.72 ไรซ์บอลจึงจัดเป็นอาหารที่ ย่อยง่าย มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก และการเพิ่มส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ ได้แก่ ใยอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ กลูโคซามีน รวมถึงกรดโฟลิก ไรซ์บอลจึงจัดเป็นอาหารทางเลือกให้กับผู้สูงอายุ ที่ต้องการอาหารที่ย่อยได้ง่ายและมีคุณประโยชน์

ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ

Chemical composition (%)	Fortified rice ball
Moisture	89.61±0.06
Protein	1.59±0.21
Fat	0.80±0.04
Dietary fiber	1.66±0.09
Ash	0.62±0.01
Total carbohydrate	5.72±0.41

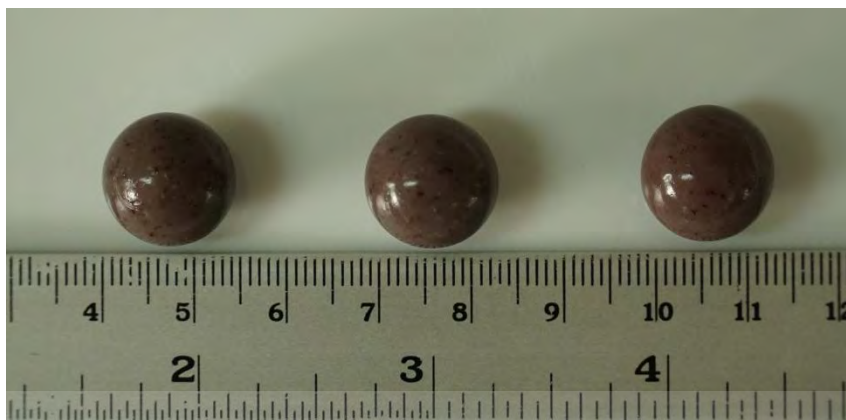
4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพในระหว่างการเก็บรักษา

ทำการเตรียมไรซ์บอลตามวิธีการที่คัดเลือก จากนั้นนำไปเก็บรักษาในด้วยพลาสติกที่ทำจาก โพลีโพรพิลีนที่ผ่านการลวกด้วยความร้อน 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างตรวจสอบทุก 3 วัน เป็นเวลา 15 วัน ทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ผลการทดลองการศึกษการเปลี่ยนแปลงของไรซ์บอลในด้านกายภาพในระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดง ในตารางที่ 4.10 จากผลการทดลองพบว่า ขนาดและและน้ำหนักของไรซ์บอลจะมีค่ามากขึ้นอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อมีการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยเฉพาะช่วง 3 วันแรก ซึ่งไม่สามารถ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ภาพที่ 4.7) ขนาดของไรซ์บอลจะมีแนวโน้มคงที่ในวันที่ 12 และน้ำหนักของไรซ์บอลจะมีแนวโน้มคงที่ในวันที่ 9 การเพิ่มขึ้นของขนาดและน้ำหนัก อาจเนื่องมาจากการที่ไรซ์บอลมีโครงสร้างร่างแหที่มีรูพรุนจึงสามารถดูดน้ำเข้าไปเก็บไว้ในโครงสร้างเจลได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ไรซ์บอลมีขนาดและน้ำหนักมากขึ้นตามไปด้วย

สำหรับค่าความแข็งของไรซ์บอลพบว่า ค่าความแข็งของไรซ์บอลจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะในช่วง 3 วันแรก ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจาก 1347 กรัม•แรง ไปเป็น 1505 กรัม•แรง และจะเริ่มคงที่ในวันที่หกของการเก็บรักษา ซึ่งตรงข้ามกับการศึกษาของ Rattanaratkul (2017) ที่พบว่าค่าความแข็งของเต้าหู้ดำทรงกลมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากไรซ์บอลประกอบด้วยแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก การเก็บรักษาไรซ์บอลที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) จะส่งผลให้อะไมโลสและอะไมโลเพคตินในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เกิดเหตุการณ์ที่เรียกว่า ริโทกราเดชัน ทำให้มีการเชื่อมต่อของโครงสร้างภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุล และจัดเรียงโครงสร้างใหม่เป็นแบบ Crystalline ทำให้ไรซ์บอลมีค่าความแข็งมากขึ้น (Ottenhof และ Farhat, 2004; Schierbaum และคณะ, 1992; Klucinec และ Tompson, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jung และคณะ (2017) ที่พบว่า เมื่อนำข้าวมาเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อมีการเก็บรักษาที่นานขึ้นจะพบว่าการเกิดริโทกราเดชันมากขึ้น และยังส่งผลให้ค่าความแข็งของข้าวมีค่ามากขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Xia และคณะ (2015) ได้ศึกษาการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อดูถึงการเกิดริโทกราเดชัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งของข้าวอย่างมากในช่วงเวลาการเก็บรักษาที่ 3 วันแรก และจะค่อยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในการเก็บรักษาวันถัดๆ ไป นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Lu และคณะ (1997) พบว่าการเกิดริโทกราเดชันของอะไมโลสจะเกิดขึ้นได้มากเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 15, 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส และจะเกิดริโทกราเดชันได้อย่างรวดเร็วเป็นอย่างมากที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 58.8 และจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของการเก็บรักษาไรซ์บอล ที่พบว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งของไรซ์บอลที่เปรียบเสมือนค่าที่ใช้ติดตามการเกิดริโทกราเดชันของสตาร์ชได้ จะพบว่ามีค่ามากขึ้นในช่วง 0-3 วันแรกของการเก็บรักษา และเมื่อค่าความแข็งของไรซ์บอลเพิ่มขึ้น แรงที่ต้องใช้ในการเคี้ยวจึงเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่า Gumminess และ Chewiness มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพนานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) วันที่ 0



ข) วันที่ 3



ค) วันที่ 6

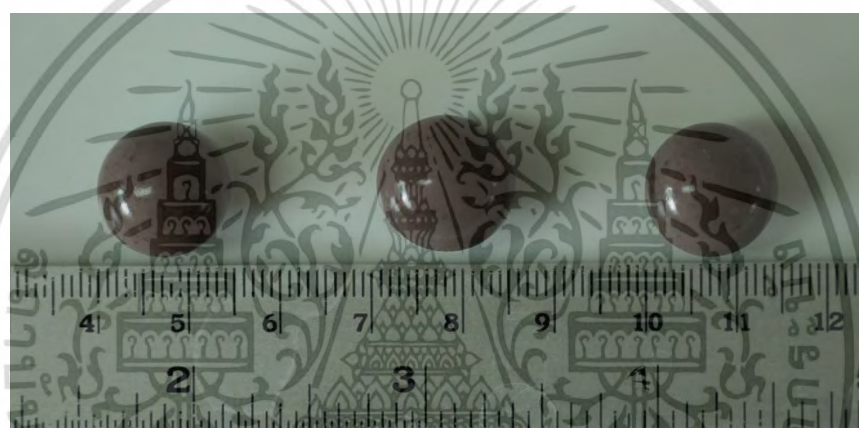
ภาพที่ 4.7 ขนาดของไรซ์บอลที่อายุการเก็บรักษาต่างกัน: ก) วันที่ 0 ;

ข) วันที่ 3 ; ค) วันที่ 6 ; ง) วันที่ 9 ; จ) วันที่ 12 ; ฉ) วันที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ง) วันที่ 9



จ) วันที่ 12



ฉ) วันที่ 15

ภาพที่ 4.7 ขนาดของไรซ์บอลที่อายุการเก็บรักษาต่างกัน (ต่อ):

ก) วันที่ 0 ; ข) วันที่ 3 ; ค) วันที่ 6 ; ง) วันที่ 9 ; จ) วันที่ 12 ; ฉ) วันที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในด้านค่าสีของไรซ์บอลที่เก็บรักษาตลอดระยะเวลา 15 วัน (ตารางที่ 4.10) พบว่า ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาการเก็บนานขึ้น ส่วนค่าสีแดงมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา การที่ไรซ์บอลดูดน้ำเข้าไปมากขึ้น ประกอบกับสีม่วงแดงของแอนโทไซยานินในข้าวไรซ์เบอร์รี่และสีแดงของผงอาซาอิเบอร์รี่อาจละลายบางส่วนออกมาละลายอยู่ในน้ำที่ใช้แช่ไรซ์บอล ดังภาพที่ 4.8 แสดงภาพของน้ำที่ใช้แช่ไรซ์บอลตลอดการเก็บรักษา พบว่าสีของน้ำที่ใช้แช่มีสีส้มแดงเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นผลให้ค่าสีแดงของไรซ์บอลลดลงเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์ค่าสีสอดคล้องกับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในไรซ์บอล พบว่าในช่วงสามวันแรกของการเก็บรักษา ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงอย่างมาก และจะเริ่มคงที่เมื่อเก็บรักษาในวันที่หก แอนโทไซยานินในไรซ์บอลอาจละลายออกไปอยู่ในน้ำที่แช่ในไรซ์บอล ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว (ภาพที่ 4.8) นอกจากนี้แอนโทไซยานินยังอาจสูญเสียจากปัจจัยของแสงในระหว่างการเก็บรักษา (Rakkimuthu และคณะ, 2016) Sipahli และคณะ (2016) รายงานว่า บรรจุภัณฑ์ที่แสงผ่านเข้าออกได้ จะสามารถทำให้แอนโทไซยานินสูญสลายไปได้มากกว่าบรรจุภัณฑ์ที่บดแสงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงด้านเคมีของไรซ์บอลในระหว่างการเก็บรักษาแสดงในตารางที่ 4.11 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไรซ์บอลจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธีคือ DPPH และ FRAP ซึ่งใช้ทฤษฎีในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ต่างกัน กล่าวคือ DPPH จะเป็นความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระ จนอนุมูลอิสระไปเกิดปฏิกิริยาต่อไม่ได้ แต่ FRAP จะเป็นความสามารถในการรีดิวซ์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ จากผลการทดลองพบว่า ไรซ์บอลที่ผ่านการเก็บรักษาจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ลดลงอย่างมากในช่วงสามวันแรกของการเก็บรักษา คือ มีค่าลดลงจากร้อยละ 63 ไปเป็นร้อยละ 56 และหลังจากนั้นมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ผลการทดลองความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP มีค่าลดลงต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มต่างๆรวมทั้งแอนโทไซยานินในข้าวไรซ์เบอร์รี่และผงอาซาอิเบอร์รี่ที่ละลายออกมาในน้ำที่ใช้แช่ เป็นผลให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไรซ์บอลลดลง อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองพบว่า สารต้านออกซิเดชันที่อยู่ในไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพเมื่อเก็บรักษาไว้ เป็นกลุ่มที่มีความไวต่อการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ในการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินจะได้จากการคำนวณหาปริมาณของ cyanidin-3-glucoside เท่านั้น แต่ปริมาณของ peonidin-3-glucoside ที่พบเป็นอันดับสองในกลุ่มแอนโทไซยานินของข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Sompong และคณะ, 2011) รวมทั้งแอนโทไซยานินในกลุ่ม cyanidin-3-rutinoside ของผงอาซาอิเบอร์รี่ (Pacheco-เอกสาร์นเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Palencia และคณะ, 2009; Gouvêa และคณะ, 2012) ไม่ได้ถูกนำมาคำนวณ อาจเป็นไปได้ว่า สารฟีนอลิกเหล่านี้ที่มีอยู่ในไรซ์บอลมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จึงทำให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH หลังจากวันที่สามของการเก็บรักษาไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณของกลูโคซามีนที่หลงเหลืออยู่ในไรซ์บอลเมื่อเวลาผ่านไป (ตารางที่ 4.11) เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ด้านกายภาพและเคมีพบว่า ในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 3 ปริมาณกลูโคซามีนจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หลังจากวันที่ 3 เป็นต้นไป ปริมาณกลูโคซามีนจะคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา การสูญเสียกลูโคซามีนของไรซ์บอลอาจเนื่องมาจาก การที่กลูโคซามีนอาจจะละลายออกไปอยู่ในน้ำที่ใช้แช่ไรซ์บอลบางส่วน ทำให้ปริมาณกลูโคซามีนลดลง เมื่อถึงจุดสมดุลในวันที่ 3 ปริมาณกลูโคซามีนภายในไรซ์บอลกับภายนอกของน้ำที่ใช้แช่ไรซ์บอลมีปริมาณเท่ากัน ทำให้หลังจากวันที่ 3 ปริมาณของกลูโคซามีนในไรซ์บอลจึงมีค่าค่อนข้างคงที่

การวิเคราะห์ปริมาณกรดโฟลิกในไรซ์บอล (สถาบันโภชนาการ, มหาลัษ्หมิคล) จะทำในวันที่ 0 และวันที่ 15 ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณกรดโฟลิกที่หลงเหลืออยู่ภายหลังจากการเสริมลงไปไนไรซ์บอล ในวันที่ 0 มีปริมาณเท่ากับ 25.05 ± 0.21 ไมโครกรัมต่อ 10 กรัมตัวอย่าง ซึ่งเท่ากับ 200.40 ± 1.70 ไมโครกรัมต่อไรซ์บอลหนึ่งหน่วยบริโภค (ประมาณ 80 กรัม) ในขณะที่ไรซ์บอลในวันที่ 15 จะมีปริมาณกรดโฟลิกเท่ากับ 17.20 ± 1.27 ไมโครกรัมต่อ 10 กรัมตัวอย่าง ซึ่งเท่ากับ 137.60 ± 10.18 ไมโครกรัมต่อไรซ์บอลหนึ่งหน่วยบริโภค (ประมาณ 80 กรัม) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณกรดโฟลิกที่เหลืออยู่ของไรซ์บอลที่เสริมกรดโฟลิกในวันที่ 0 มีมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับไรซ์บอลที่เสริมกรดโฟลิกในวันที่ 15 ซึ่งปริมาณกรดโฟลิกที่เหมาะสมที่ควรได้รับต่อวัน ประมาณ 400 ไมโครกรัม (100 % RDI) (Institute of Medicine, 1998) ซึ่งการบริโภคไรซ์บอล 1 หน่วยบริโภค จะช่วยเสริมกรดโฟลิกได้ อย่างไรก็ตาม ดังที่กล่าวมาข้างต้น ปริมาณกรดโฟลิกที่เสริมลงในน้ำนมข้าว เพื่อให้ได้ไรซ์บอลเท่ากับร้อยละ 200 ของปริมาณที่ควรได้รับต่อวัน (200 % RDI) แต่จะลดลงเหลือร้อยละ 50.1 ของปริมาณที่ควรได้รับต่อวัน (50.1 % RDI) ในวันที่ 0 และลดลงเหลือร้อยละ 34.4 ของปริมาณที่ควรได้รับต่อวัน (34.4 % RDI) ในวันที่ 15 กรดโฟลิกเป็นวิตามินที่ละลายน้ำได้ดีมาก (Araújo และคณะ, 2011) ทำให้สูญเสียได้ง่ายโดยการแพร่ออกจากโครงสร้างร่างแหของไรซ์บอล จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของไรซ์บอลในระหว่างการเก็บรักษา จะพบว่ามีข้อจำกัดของการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพลงในไรซ์บอล โดยเฉพาะในช่วงสามวันแรกของการเก็บรักษาจะมีการสูญเสียส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพเหล่านี้ โครงสร้างร่างแหที่เกิดจากเส้นใยระหว่างอัลจินตและเอกสทรันเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมมีช่องว่าง ทำให้สารอาหารซึมผ่านเข้าออกได้ การแก้ไขอาจทำได้โดยทำการเอ็นแคปซูล (encapsulation) ส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพเหล่านี้ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีความว่องไว (affinity) กับน้ำ น้อยลง ส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพจึงละลายออกมาอยู่ในน้ำคั้นนอกถดลง อย่างไรก็ตาม การเอ็นแคปซูลส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพอาจมีผลต่อการเกิดเจลของอัลจินตและแคลเซียมไอออน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ลักษณะทางกายภาพของโรซบอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน

Properties	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12	Day 15
Size (mm)	14.67±0.04 ^a	14.73±0.04 ^b	14.76±0.02 ^b	14.77±0.05 ^b	14.81±0.02 ^c	14.85±0.02 ^c
Weight (g)	1.56±0.02 ^a	1.57±0.03 ^a	1.58±0.02 ^{ab}	1.62±0.04 ^c	1.61±0.00 ^{bc}	1.62±0.02 ^c
L*	32.26±0.34 ^a	32.51±0.10 ^{ab}	33.72±0.09 ^b	32.78±0.52 ^b	33.38±0.10 ^c	33.89±0.17 ^d
a*	9.59±0.19 ^c	8.94±0.54 ^d	8.83±0.21 ^c	8.40±0.33 ^b	7.98±0.29 ^b	7.51±0.14 ^a
b*	1.15±0.36 ^b	1.26±0.20 ^b	1.55±0.26 ^c	1.62±0.09 ^c	0.86±0.14 ^a	1.56±0.18 ^c
Hardness (g•force)	1347.62±35.61 ^a	1505.67±7.05 ^b	1524.58±26.28 ^{bc}	1544.92±30.34 ^c	1547.29±10.86 ^c	1529.47±27.75 ^{bc}
Springiness (mm)	0.87±0.01 ^b	0.85±0.01 ^a	0.85±0.01 ^a	0.85±0.01 ^a	0.84±0.01 ^a	0.84±0.01 ^a
Cohesiveness ^{ns}	0.63±0.00	0.63±0.00	0.63±0.01	0.62±0.00	0.62±0.01	0.62±0.00
Gumminess (N)	894.61±13.72 ^a	919.92±15.21 ^b	923.98±9.07 ^b	958.64±16.94 ^c	957.50±12.01 ^c	948.76±17.17 ^c
Chewiness (N)	744.05±13.35 ^a	756.06±5.37 ^{ab}	761.10±16.54 ^{abc}	777.72±8.41 ^c	765.51±27.04 ^{bc}	763.78±11.45 ^{bc}

หมายเหตุ : ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่

($p > 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 4.11 ลักษณะทางเคมีของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน

Properties	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9	Day 12	Day 15
Anthocyanin (mg/10g sample)	4.5059±0.28 ^c	2.0707±0.29 ^b	1.3693±0.18 ^a	1.4806±0.07 ^a	1.2691±0.22 ^a	1.1021±0.19 ^a
DPPH (% Scavenging activity)	63.74±0.45 ^b	56.82±1.23 ^a	54.86±2.99 ^a	58.87±2.45 ^{ab}	57.46±4.22 ^a	58.19±4.37 ^{ab}
FRAP (µg Trolox eq./10 g sample)	53.05±0.98 ^d	29.85±0.73 ^c	24.85±4.75 ^b	22.97±0.12 ^b	21.52±1.39 ^{ab}	18.74±1.62 ^a
Glucosamine content (mg/10 g sample)	32.00±1.72 ^b	17.85±0.27 ^a	17.69±0.31 ^a	17.74±0.27 ^a	17.77±0.06 ^a	17.80±0.02 ^a
Folic acid content (µg/10 g sample)	25.05±0.21 ^b	NA	NA	NA	NA	17.20±1.27 ^a

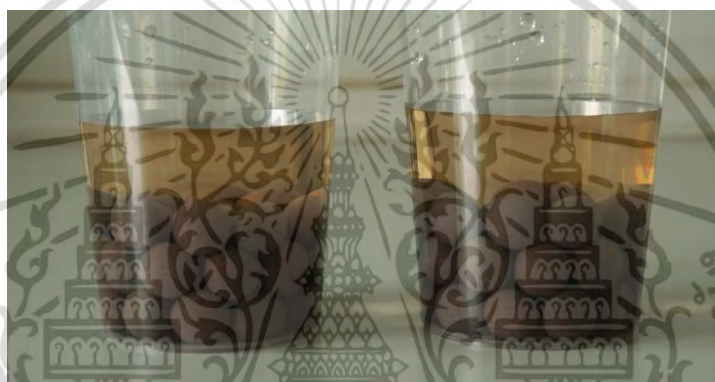
หมายเหตุ : ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

NA หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์



ก) วันที่ 0



ข) วันที่ 3



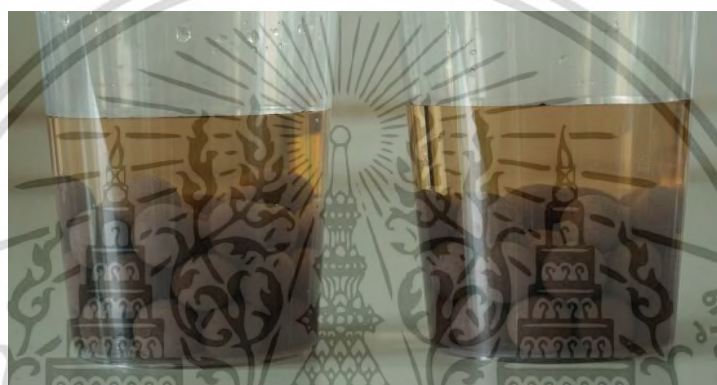
ค) วันที่ 6

ภาพที่ 4.8 ลักษณะสีของน้ำที่ใช้แช่ไรโซบอคที่อายุการเก็บรักษาต่างกัน: ก) วันที่ 0 ;
ข) วันที่ 3 ; ค) วันที่ 6 ; ง) วันที่ 9 ; จ) วันที่ 12 ; ฉ) วันที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ง) วันที่ 9



จ) วันที่ 12

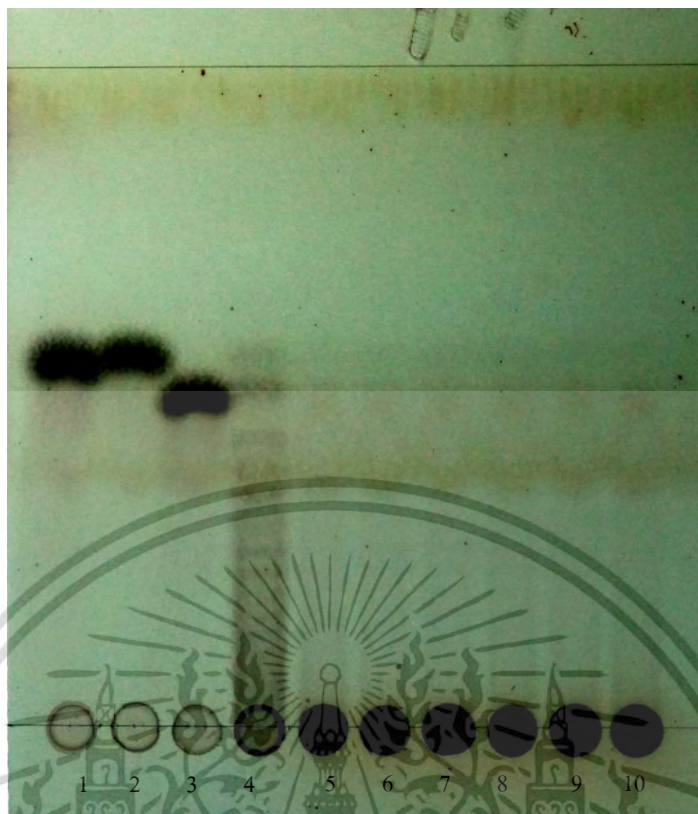


ฉ) วันที่ 15

ภาพที่ 4.8 ลักษณะสีของน้ำที่ใช้เซโรซบอลลที่อายุการเก็บรักษาต่างกัน (ต่อ):

ก) วันที่ 0 ; ข) วันที่ 3 ; ค) วันที่ 6 ; ง) วันที่ 9 ; จ) วันที่ 12 ; ฉ) วันที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 Thin-layer chromatograph ของน้ำตาลมาตรฐาน อินนูลิน และไรซ์บอลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ: 1) กลูโคส ; 2) ฟรุกโตส ; 3) ซูโครส ; 4) อินนูลิน ; 5) วันที่ 0 ; 6) วันที่ 3 ; 7) วันที่ 6 ; 8) วันที่ 9 ; 9) วันที่ 12 ; 10) วันที่ 15

การวิเคราะห์ปริมาณอินนูลินโดยประมาณด้วยวิธี Thin layer chromatography ของไรซ์บอลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.9 ผลการทดลองพบว่าแตกต่างจากส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพชนิดอื่น กล่าวคือ จะพบว่าความเข้มของแถบสีดำที่แสดงถึงปริมาณอินนูลินของไรซ์บอลที่ผ่านการเก็บรักษามีความเข้มสม่ำเสมอคล้ายกันตลอดอายุการเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 15 (แถวที่ 5 – แถวที่ 10) ซึ่งอาจารย์ได้ว่าปริมาณอินนูลินที่หลงเหลืออยู่ในไรซ์บอลมีปริมาณคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากอินนูลินเป็นเส้นใยอาหารที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ (Roberfroid, 2005) การแพร่ผ่านออกจากโครงสร้างของเจลออกสู่น้ำที่ใช้แช่จึงทำได้ยากกว่าส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพชนิดอื่น เช่น กรดโพลีกล หรือแอนโทไซยานิน

นอกจากคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมี คุณภาพด้านจุลินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญในด้านความปลอดภัยของการบริโภค ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพเก็บรักษาที่ช่วงเวลาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดที่คำนวณในรูปกรดแลคติกอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.03-0.04 มีค่า pH อยู่ในช่วงเป็นกลาง 7.17 ถึง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.33 และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของคุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหาร ที่ระบุว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อกรัม (กองสุขาภิบาลอาหาร, 2540) จากผลการทดลองแสดงว่าไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่ผ่านการให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรส์สามารถเก็บรักษาได้อย่างน้อย 15 วัน

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของไรซ์บอลในระหว่างการเก็บรักษา

Storage Time (Day)	pH	Total acidity (%)	Total Plate Count (CFU/g)
Day 0	7.33±0.01 ^d	0.03±0.00 ^{ab}	ND
Day 3	7.33±0.02 ^d	0.03±0.00 ^a	ND
Day 6	7.31±0.02 ^{cd}	0.04±0.00 ^b	ND
Day 9	7.27±0.01 ^b	0.04±0.00 ^{ab}	ND
Day 12	7.28±0.01 ^{bc}	0.03±0.00 ^{ab}	ND
Day 15	7.17±0.02 ^a	0.03±0.00 ^{ab}	ND

หมายเหตุ : ^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

ND หมายถึง ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.6 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไรซ์บอลเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการสเตอริไรส์

ไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพบรรจุในขวดแก้วถูกนำมาผ่านการฆ่าเชื้อด้วยการให้ความร้อนด้วยวิธีการสเตอริไรส์ ผลการวิเคราะห์คุณภาพของไรซ์บอลที่ผ่านการสเตอริไรส์เปรียบเทียบกับไรซ์บอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรส์แสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่าการสเตอริไรส์ทำให้คุณภาพของไรซ์บอลเปลี่ยนแปลงในทุกด้าน โดยเฉพาะค่าความแข็งของไรซ์บอลลดต่ำลงมาก คือ มีค่าความแข็งลดลงจาก 1347 กรัม•แรง ไปเป็น 243 กรัม•แรง รวมทั้งไรซ์บอลที่ผ่านการสเตอริไรส์สูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยืดหยุ่น เมื่อพิจารณาจากลักษณะปรากฏของโรซบอลที่ผ่านการสเตอริไรส์แสดงดังภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.13 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของโรซบอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนด้วยวิธีการต่างกัน

Properties	Pasteurization	Sterilization
Size (mm)	14.68±0.04 ^a	15.28±0.07 ^b
Weight (g)	1.56±0.02 ^a	1.74±0.01 ^b
L*	32.09±0.26 ^b	31.28±0.16 ^a
a*	9.59±0.19 ^a	10.75±0.12 ^b
b*	1.15±0.36 ^a	2.92±0.13 ^b
Hardness (g•force)	1347.62±35.61 ^b	243.65±24.78 ^a
Springiness (mm)	0.87±0.01 ^b	0.56±0.05 ^a
Cohesiveness	0.63±0.00 ^b	0.34±0.02 ^a
Gumminess (N)	894.65±13.78 ^b	88.78±11.45 ^a
Chewiness (N)	744.05±13.35 ^b	47.72±11.31 ^a
Anthocyanin (mg/10g sample)	4.5059±0.28 ^b	0.6012±0.19 ^a
Glucosamine content (mg/10g sample)	32.00±0.75 ^b	11.71±0.23 ^a

หมายเหตุ : ^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

พบว่าโรซบอลบางเม็ดมีรอยร้าวที่ผิว และเมื่อพิจารณาเนื้อด้านในของโรซบอลพบว่า โครงสร้างภายในของเม็ดเจลโรซบอลถูกทำลาย มีรอยแหวกไม่สม่ำเสมอ (ภาพที่ 4.11) ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ความร้อนระดับสเตอริไรส์ ซึ่งมีการใช้ความร้อนสูงร่วมกับความดันทำให้โครงสร้างร่างแหของโรซบอลเสียหาย และเมื่อโครงสร้างของโรซบอลเสียหายถูกทำลาย ส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพรวมทั้งตัวเม็ดเจลโรซบอลเองละลายออกมาอยู่ในน้ำที่แช่โรซบอลดังแสดงในภาพที่ 4.12 จะพบว่าน้ำที่แช่โรซบอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนด้วยวิธีสเตอริไรส์มีสีเข้มขึ้นมาก และพบว่าเม็ดคอนเล็กกระจายตัวอยู่ในน้ำ เป็นผลให้ปริมาณแอนโทไซยานินและกลูโคซามีนในโรซบอลที่ผ่านการสเตอริไรส์ลดต่ำลงมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับโรซบอลที่ผ่านการให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรส์ นอกจากนั้นการใช้ความดันสูงอาจทำ
 เอกสารฉบับนี้เผยแพร่ทางเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าเอกสารฉบับนี้มีความสำคัญ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้แอนโทไซยานินสูญเสียหายไป (Bakowska และคณะ, 2003; Francis, 1989; Gradinaru และคณะ, 2003) รวมทั้งกลูโคซามินที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อโดนความร้อนสูงในระดับสเตอริไรส์ (Kraisangsri และ Nalinanon, 2017)



ภาพที่ 4.10 ขนาดและลักษณะของโรซบอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนด้วยวิธีสเตอริไรส์



ภาพที่ 4.11 ลักษณะภายในของเม็ดโรซบอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนด้วยวิธีสเตอริไรส์



ภาพที่ 4.12 ลักษณะสีของน้ำที่ใช้แช่โรซบอลที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนด้วยวิธีสเตอริไรส์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาเบไซประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ไรซ์บอลเตรียมจากการขึ้นรูปทรงกลมของน้ำนมข้าวไรซ์เบอร์รี่ ผลการทดลองพบว่าการใช้ข้าวหุงสุกในการเตรียมน้ำนมข้าวเป็นวิธีการเตรียมที่สะดวก รวดเร็วและให้คุณค่าทางโภชนาการของไรซ์บอลมากกว่าการเตรียมน้ำนมข้าวจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ การเติมสารปรุงแต่งรสชาติอาหาร เช่น เกลือ น้ำตาล ทำให้ขนาด น้ำหนัก และค่าความแข็งของไรซ์บอลเพิ่มขึ้น การเติมเกลือหรือน้ำตาลทำให้โครงสร้างร่างแหของเจลมีช่องว่างมากขึ้น การเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ ได้แก่ อินนูลิน และ กลูโคซามีน จะทำให้ไรซ์บอลมีค่าความแข็งลดลงและมีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่การเสริมด้วยผงอาซาอิเบอร์รี่และกรดโพลีลิก ไม่มีผลต่อค่าความแข็งของเจล แต่การใส่ผงอาซาอิเบอร์รี่จะช่วยทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของไรซ์บอลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองพบว่าสามารถเสริมอินนูลินร้อยละ 2 ผงอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 กลูโคซามีนร้อยละ 0.75 และกรดโพลีลิกร้อยละ 0.0010 ลงในไรซ์บอลได้ เมื่อเก็บรักษาไรซ์บอลที่เสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าโดยรวมขนาด น้ำหนัก และค่าความแข็งของไรซ์บอลเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยเฉพาะในช่วงสามวันแรกของการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงมาก หลังจากนั้นจะค่อยๆ เริ่มคงที่ ผลการวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์แสดงให้เห็นว่าไรซ์บอลที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์สามารถเก็บรักษาได้อย่างน้อย 15 วัน อย่างไรก็ตาม การสเตรอไรส์สามารถทำลายโครงสร้างของไรซ์บอลที่ผ่านการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพได้ ทำให้ไรซ์บอลสูญเสียความยืดหยุ่นและคุณค่าทางโภชนาการ ไรซ์บอลที่ผ่านการเสริมส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการประกอบอาหารหรือตกแต่งงานในธุรกิจการจัดและบริการอาหาร และเป็นการเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้กับไรซ์บอล ซึ่งมีประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพและผู้สูงอายุ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในประเทศไทยอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. อาจใช้เทคนิคเอ็นแคปซูลเลท (encapsulation) ส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพ เพื่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจทำให้ไรซ์บอลสามารถกักเก็บส่วนผสมอาหารเชิงสุขภาพไว้ภายในได้ ไม่ซึมผ่านออกมาอยู่ในน้ำที่ใช้แช่
2. ทำการทดสอบ Home Use Test โดยนำตัวอย่างไรซ์บอลไปให้ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านอาหาร เชฟ เจ้าของร้านอาหาร เพื่อทดลองประยุกต์ใช้ไรซ์บอลในการประกอบอาหารหรือจัดจานอาหาร และทำการกรอกแบบสอบถามรวมถึงให้คะแนนความพึงพอใจ
3. ทดลองใช้วิธีการให้ความร้อนแบบสเตอริไรส์ ที่สามารถลดการใช้เวลา เพื่อให้ส่งผลต่อคุณภาพของไรซ์บอลน้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2554). ข้าวกล้องงอกข้าวไรซ์เบอร์รี่. สืบค้นออนไลน์จาก:
URL:<http://http://www.moac.go.th> (27/11/60)
- กองสุขภาพอาหาร. 2540. คู่มือการสุขภาพอาหารสำหรับเจ้าหน้าที่. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: องค์การ
สงเคราะห์ทหารผ่านศึก.
- ขวัญชาติ พรหมสวัสดิ์ และศรายุทธ นิลกำแหง. 2560. “ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไรซ์บอล”. ปัญหาพิเศษ
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรม
เกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และสรรพคุณเพื่อสุขภาพ. 2560. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.honestdocs.co/riceverry-and-its-benefits>. (วันที่สืบค้นข้อมูล: 11 สิงหาคม 2560)
- ญาติวิไล ลิขิตสมบุญ และประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม. 2559. “การเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้เทคนิค
การขึ้นรูปทรงกลม”. ในการประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 14. มหาวิทยาลัย
นเรศวร. พิษณุโลก.
- นรินทร์ภพ ช่วยการ, ฉัญญา เลหากุลจิตต์, อุทัยวรรณ สุทธิสันสนีย์, ฉัตรภา หัตถโกศล และพร้อม
ลักษณะ สมบูรณ์ปัญญากุล. 2556. อิทธิพลของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพ
และทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมไขมันต่ำ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 44(2): 589-592.
- นิดดา หงส์วิวัฒน์. 2552. ข้าวกล้อง มหัศจรรย์อาหารต้านโรค. แสงแดด. กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2537. กรดโฟลิก (Folic acid). โภชนศาสตร์เบื้องต้น. หน้า 165-167. กรุงเทพฯ: โอ
เอส พรินติ้ง เฮาส์.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ภัททิรา ยิ่งเลิศรัตนกุล และประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม. 2554. หน้า 661-669. ในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.
- รัชณี ตันตะพานิชกุล. 2544. เคมีอาหาร. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
กรุงเทพมหานคร. 404 หน้า.
- วรรณมา ตูลย์ชัย. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. พิมพ์ครั้งที่ 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศรัณย์ภัทร มุรธาชัยลักษณ์ และเอกพงษ์ กรรดิพนิชกุล. 2559. การผลิตไรซ์บอลโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบทรงกลม. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศิริพร ตันจ้อ, ครรชิต จุฑประสงค์, ชนัญชิตา ไชยโต และ สนั่น จอกลอย. 2555. อินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ในแก่นตะวันสายพันธุ์ต่างๆ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 17(11): 25-34.
- ศิวาพร ศิวเวช. 2546. วัตถุประสงค์ของอาหาร (เล่ม 1). พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. นครปฐม.
- ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวและห้องปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ข้าว. ไม่ปรากฏปี. ข้าวไรซ์เบอร์รี่. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.dna.kps.ku.ac.th/index.php/articles-rice-rsc-rgdu-knowledge/29-2015-03-27-02-04-15/53-riceberry>. 11 สิงหาคม 2560
- ศิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2547. โภชนศาสตร์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัญชติ ศรีจำเริญ. 2555. อาหารเพื่อสุขภาพ สารอาหารเชิงพันธุภาพและกลไกการทำงาน. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H. and Dilshad, S. M. R. 2012. Beta glucan: a valuable functional ingredient in foods. *Journal of Food Science and Nutrition*. 52: 201-212.
- Ahmad, A., Munir, B., Abrar, M., Bashir, S., Adnan, M, and Tabassum, T. 2012. Perspective of β -glucan as functional ingredient for food industry. *Journal of Nutrition and Food Science*. 2: 2.
- Alexandre, D., and Cunha, R. L. 2004. Conservação do açaí pela tecnologia de obstáculos. *Ciências e Tecnologia em Alimentos*. 24(1): 114–119.
- Allen, L., de Benoist, B., Dary, O. and Hurrell, R. 2006. Guidelines on food fortification with micronutrients. Switzerland: WHO Press.
- Araújo, M. M., Marchioni, E., Bergaentzle, M., Zhao, M., Kuntz, F., Hahn, E. and Villavicencio, A. L. C. H. 2011. Irradiation stability of folic acid in powder and aqueous solution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 1244–1248.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ariandi, Y. and Meryandini, A. 2015. Enzymatic hydrolysis of copra meal by mannanase from *Streptomyces* sp. BF3.1 for the production of mannoooligosaccharides. *HAYATI Journal of Biosciences*. 22(2): 79-86.
- Ayhan, D. 2005. β -glucan and mineral nutrient contents of cereals grown in Turkey. *Journal of Food Chemistry*. 90(4): 773-777.
- Bakowska, A., Kucharska, A. Z. and Oszmianski, J. 2003. The effect of heating, UV irradiation, and storage on stability of the anthocyanin-polyphenol copigment complex. *Food Chemistry*. 81: 349-355.
- Benzie, I. F. F. and Strain, J. J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*. 239: 70-76.
- Berry, R. J., Mulinare, J. and Hamner, H. C. 2010. Folic acid fortification: neural tube defect risk reduction—a global perspective. In *Folate in Health and Disease*, 2nd ed.; Bailey, L.B., Ed. USA: CRC Press: Boca Raton. pp. 179–204.
- Bhattachaejee, P., Singhal, R. S. and Kulkarni, P. R., 2002. Basmati rice: A review. *Journal of Food Science and Technology*. 37(2): 1-12.
- Bhawamai, S., Lin, S. H., Hou, Y. Y. and Chen, Y. H. 2016. Thermal cooking changes the profile of phenolic compounds, but does not attenuate the anti-inflammatory activities of black rice. *Food and Nutrition Research*. 60: 32941.
- Black, C., Clar, C., Henderson, R., MacEachern, C., McNamee, P., Quayyum, Z., Royle, P. and Thomas, S. 2009. The clinical effectiveness of glucosamine and chondroitin supplements in slowing or arresting progression of osteoarthritis of the knee: a systematic review and economic evaluation. *Health Technology Assessment*. 13(52): 1-148.
- Bobbio, F. O., Druzian, J. I., Abrao, P. A., Bobbio, P. A., and Fadelli, S. 2000. Identification and quantification of anthocyanins from the acai fruit (*Euterpe oleracea*) Mart. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 20: 388–390.
- Bornet, F. R. J. 2008. Fructo-oligosaccharides and other fructans: chemistry, structure and nutritional effects. pp. 480–493. *Advanced Dietary Fibre Technology*. Blackwell Science.

- Borradale, D., Isenring, E., Hacker, E. and Kimlin, M. G. 2014. Exposure to solar ultraviolet radiation is associated with a decreased folate status in women of childbearing age. *Journal of Photochemistry Photobiology B*. 131: 90–95
- Boulet, S. L., Yang, Q., Mai, C., Kirby, R. S., Collins, J. S., Robbins, J. M., Meyer, R., Canfield, M. A. and Mulinare, J. 2008. Trends in the postfortification prevalence of spina bifida and anencephaly in the United States. *Birth Defects Research Part A: Clinical and Molecular Teratology*. 82: 527–532.
- Bower, C. and Stanley, F. J. 1989. Dietary folate as a risk factor for neural-tube defects: evidence from a case-control study in Western Australia. *The Medical Journal of Australia*. 150: 613–619.
- Braz de Oliveira, A. J., Gonçalves, R. A. C. and Chierito, T. P. C. 2011. Structure and degree of polymerisation of fructooligosaccharides present in roots and leaves of *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni. *Food Chemistry*. 129: 305–311.
- Buckeridge, M. S., Rayon, C., Urbanowicz, B., Tine, M. A. S. and Carpita, N. C. 2004. Mixed linkage (1-3) (1-4) – β -D-glucans of grasses. *Journal of Cereal Chemistry*. 81: 115-127.
- Burkus, Z. and Temelli, F. 2000. Stabilization of emulsions and foams using barley β -glucan. *Journal of Food Research International*. 33: 27-33.
- Campos, S. D. S., Bovi, M. L. A. and Iaderoza, M. 1991. Characterization of palm heart harvested from several crossing combinations between *E. oleracea* Mart and *E. edulis* Mart growing under different conditions. I. Raw-material. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 26:637–646.
- Canuto, G. A. B., Xavier, A. A. O., Neves, L. C., and Benassi, M. T. 2010. Physical and chemical characterization of fruit pulps from Amazonia and their correlation to free radical scavenger activity. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32: 1196–1205.
- Centers for Disease Control and Prevention. 2010. CDC Grand Rounds: Additional Opportunities to Prevent Neural Tube Defects with Folic Acid Fortification. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 59: 980–984.
- Centers for Disease Control and Prevention. 1992. Recommendations for the use of folic acid to reduce the number of cases of spina bifida and other neural tube defects. *MMWR Recommendations and Reports*. 41: 1–7.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chantorn, S. T., Pongsapipatana, N., Keawsompong, S., Ingkakul, A., Haltrich, D. and Nitisinprasert, S. 2013. Characterization of mannanase S1 from *Klebsiella oxytoca* KUB-CW2-3 and its application in copra mannan hydrolysis. *Science Asia*. 39: 236-245.
- Chen, L. T. and Rivera, M. A. 2004. The Costa Rican experience: reduction of neural tube defects following food fortification programs. *Nutrition Reviews*. 62: S40–S43.
- Chen, P. N., Kuo, W. H., Chiang, C. L., Chiou, H. L., Hsieh, Y. S. and Chu, S. C. 2006. Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. *Journal of Chemico-Biological Interactions*. 163: 218–229.
- Chinprahast, N., Tungsomboon, T. and Nagao, P. 2016. Antioxidant activities of Thai pigmented rice cultivars and application in sunflower oil. *International Journal of Food Science and Technology*. 51: 46-53.
- Choi, S. and Manson, J. 2002. Folate status: effects on pathways of colorectal carcinogenesis. *Journal of Nutrition*. 132: 2413S–2418S.
- Chrastil, J. 1991. Gelation of calcium alginate. Influence of rice starch or rice flour on the gelation kinetics and on the final gel structure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39: 878-876.
- Clewell, A., Qureshi, I., Endres, J., Horváth, J., Financsek, I., Neal-Kababick, J., Jade, K and Schauss, A. G. 2010. Toxicological evaluation of a dietary supplement formulated for male sexual health prior to market release. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 57: 55–61.
- Costa, A. G. V., Garcia-Diaz, D. F., Jimenez, P., and Silva, P. I. 2013. Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red-black berries. *Journal of Functional Foods*. 5: 539–549.
- Costa, P. A., Ballus, C. A., Teixeira, J., and Godoy, H. T. 2010. Phytosterols and tocopherols content of pulps and nuts of Brazilian fruits. *Food Research International*. 43: 1603–1606.
- Crider, K. S., Bailey, L. B. and Berry, R. J. 2011. Folic acid food fortification-Its history, effect, concerns, and future directions. *Nutrition*. 3: 370-384.

- Crispín-Isidro, G., Lobato-Calleros, C., Espinosa-Andrews, H., Alvarez-Ramirez, J. and Vernon-Carter, E. J. 2015. Effect of inulin and agave fructans addition on the rheological, microstructural and sensory properties of reduced-fat stirred yogurt. *LWT- Food Science and Technology*. 62: 438-444.
- Czeizel, A., and Dudas, I. 1992. Prevention of the first occurrence of neural tube defects by periconceptual vitamin supplementation. *The New England Journal of Medicine*. 327: 32–35.
- Dawkins, N. L. and Nnanna, I. A. 1995. Studies on oat gum [(1-3, 1-4)- β -D-glucan]: composition, molecular weight estimation and rheological properties. *Journal of Food Hydrocolloids*. 9: 1-7.
- DeBree, A., vanDusseldorp, M., Brouwer, I. A., vanhetHof, K. H. and SteegersTheunissen, R. P. M. 1997. Folate intake in Europe: recommended, actual and desired intake. *European Journal of Clinical Nutrition*. 51(10): 643–660.
- Delgado-Vargas, F., Jimenez, A. R. and Paredes-Lopes, O. 2000. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins and betalains-characteristics, biosynthesis, processing and stability. *Journal of Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 40: 173-289.
- De Lima Yamaguchi, K. K., Pereira, L. F. R., Lamarão, C. V., Lima, E. S. and de Veiga-Junior, V. F. 2015. Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. *Food Chemistry*. 179: 137-151.
- Petkova, N. and Denev, P. 2015. Methods for determination of inulin. *International Scientific-Practical Conference "Food, Technologies & Health" Proceedings Book*.
- Dongowski, G., Huth, M., Gebhardt, E. and Flamme, W. 2002. Dietary fiber-rich barley products beneficially affect the intestinal tract of rats. *Journal of Nutrition*. 132: 3704-3714.
- Draget, K. I., Steinsvåg, K., Onsøyen, E. and Smidsrød, O., 1997. Na- and K-alginate; effect on Ca²⁺ - gelation. *Carbohydrate Polymers*. 35: 1-6.
- FAOSTAT, 2018. The FAO Rice market monitor on April. Volume 21, Issue No.1. [Online]. Available: <http://faostat.fao.org/economic/RMM>. 25 Sep 2018.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- FDA. 1997. Final rule for food labeling: health claims: oats and coronary heart disease. Federal Regulations. 62: 3584-3681.
- FDA. 1996. Food labeling: health claims: oats and coronary heart disease. Food and Drug Administration, proposed rule. Federal Register. 61: 296-313.
- Francis, F. J. 1989. Food colorants: Anthocyanins. Critical Reviews of Food Science and Nutrition. 28: 273-314.
- Frasson, A. P., and Canssi, C. M. 2008. Análise da qualidade de cremes com hidroquinona 2% manipulados no município de Ijuí/RS. Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada. 29: 197-201.
- Gallori, S., Bilia, A., Bergonzi, M., Barbosa, W. and Vincieri, F. 2004. Polyphenolic constituents of fruit pulp of *Euterpe oleracea* Mart. (Acai palm). Chromatographia. 59: 739-743.
- Gardinaru, G., Biliaderis, C. G., Kallithraka, S., Kefalas, P. and Garcia-Viguera, C. 2003. Thermal stability of *Hibiscus sabdariffa* L. anthocyanin in solution and in solid state: Effect of copigmentation and glass transition. Food Chemistry. 83: 423-436.
- Gardiner, T. 2000. Beta-glucan biological activities: a review. 1-39. [Online]. Available: <http://www.usa.glycoscience.com>. 7 August 2005.
- Gazzali, A. M., Lobry, M., Colombeau, L., Acherar, S., Azaïs, H., Morden, S., Arnoux, P., Baros, F., Vanderesse, R. and Frochot, C. 2016. Stability of folic acid under several parameters. European Journal of Pharmaceutical Sciences. 93: 419-430.
- George, M. and Abraham, T. E., 2006. Polyionic hydrocolloids for the intestinal delivery of protein drugs: Alginate and chitosan – a review. Journal of Controlled Release. 114(1): 1-14.
- Gibberd, F. B., Nicholls, A., Dunne, J. F. and Chaput de Saintonge, D. M. 1970. Toxicity of folic acid. Lancet. 1: 360-361.
- Girones-Vilaplana, A., Mena, P., Gracia-Vigera, C. and Moreno, D. A. 2012a. A novel beverage rice in antioxidant phenolics: Maqui berry (*Aristotelia chilensis*) and lemon juice. Journal of LWT Food science and Technology. 47: 279-286.

- Girones-Vilaplana, Valentao, P. A., Moreno, D., Ferreres, F., Gracia-Vigera, C. and Andrade, P. B. 2012b. New beverages of lemon juice enriched with the exotic berries maqui, acai and blackthorn: bioactive components and in vitro biological properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60: 6571-6580.
- Glicksman, S. 1983. *Food Hydrocolloids*. Volume 2. USA: Boca Raton Press.
- Gouvêa, A. C. M. S., Araujo, M. C. P., Schulz, D. F., Pacheco, S., Godoy, R. L. O. and Cabral, L. M. C. 2012. Anthocyanins standards (cyaniding-3-O-glucoside and cyaniding-3-O-rutinoside) isolation from freeze-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) by HPLC. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 32: 43-46
- Grange, K. and Bennert, J. 2011. *The miracle of superfruit*. 2nd edition.
- Guía Clínica. 2007. Tratamiento Médico en personas de 55 años y más con Artrosis de Cadera y/o rodilla, Leve o Moderada, Minsal, Santiago. Chile. <http://web.minsal.cl/portal/url/item/a01c4b10a7c5219ae04001011f017145.pdf>.
- Guisti, M. M. and Wrolstad, R. E. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. (F1.21-F1.2.13). New York: John Wiley & Sons.
- Guo, H., Ling, W., Wang, Q., Liu, C., Hu, Y. and Xia, M. 2007. Effect of anthocyanin-rich extract from black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) on hyperlipidemia and insulin resistance in fructose-fed rats. *Journal of Plant Foods Human Nutrition*. 62: 1-6.
- Hao, L., Yang, Q. H., Li, Z., Bailey, L. B., Zhu, J. H., Hu, D. J., Zhang, B. L., Erickson, J. D., Zhang, L., Gindler, J., Li, S. and Berry, R. J. 2008. Folate status and homocysteine response to folic acid doses and withdrawal among young Chinese women in a large-scale randomized double-blind trial. *American Journal of Clinical Nutrition*. 88(2): 448-457.
- Heath-Heckman, E. A. and McFall-Ngai, M. J. 2011. The occurrence of chitin in the hemocytes of invertebrates. *Zoology*. 114(4): 191-198.
- Heinrich, M., Dhanji, T., and Casselman, I. 2011. Açai (*Euterpe oleracea*) – A phytochemical and pharmacological assessment of the species health claims. *Phytochemistry Letters*. 4: 10-21.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Herculano, F. E. B. 2013. Produção industrial de cosméticos: o protagonismo da biodiversidade vegetal da Amazônia. Tese. UFAM, 146p.
- Herrera M. G., Lozano-Esquivel I. E., Ponce de León-Ramirez Y. R. and Martinez-Padilla L. P. 2012. Effect of added calcium chloride on the physicochemical and rheological properties of aqueous mixture of sodium caseinate/sodium alginate and respective oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*. 29: 175-184.
- Herrmann, W. and Obeid, R. 2011. Vitamins in the Prevention of Human Diseases. Walter de Gruyter GMBH, Berlin.
- Hertrampf, E. and Cortes, F. 2004. Folic acid fortification of wheat flour: Chile. *Nutrition Reviews*. 62: S44–S48; discussion S49.
- Hiemori M., Koh E. and Mitchell A. E. 2009. Influence of cooking on anthocyanins in black rice (*Oryza sativa* L. *japonica* var. SBR). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 1908-14.
- Homma, A. K., Maia, C., and Nicoli, L. 2006. Açaí: novos desafios e tendências. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*. 1: 7–23.
- Hu, C., Zawistowski, J., Ling, W. and Kitts, D. D. 2003. Black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 5271–5277.
- Hunter, R., Barnes, J., Oakeley, H. F. and Matthews, D. M. 1970. Toxicity of folic acid given in pharmacological doses to healthy volunteers. *Lancet*. 1: 61–63.
- Huskisson, E. C. 2008. Glucosamine and chondroitin for osteoarthritis. *The Journal of International Medical Research*. 36(6): 1161-1179.
- Ichikawa, H., Ichiyangi, T., Xu, B., Yoshii, Y., Nakajima, M. and Konishi, T., 2001. Antioxidant activity of anthocyanin extract from purple black rice. *Journal of Medicinal Food*. 4: 211-218.
- Institute of Medicine. 1998. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes: Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline. Washington, DC: National Academy Press. pp. 196–305.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Janick J and Paul R. 2008. Arecaeae. In: Encyclopedia of Fruits and Nuts. CABI, Cambridge, MA, pp. 128–130.
- Jenkins, A. L., Jenkins, D. J., Zdravkovic, U., Wursch, P. and Vuksan, V. 2002. Depression of the glycemic index by high levels of beta-glucan fiber in two functional foods tested in type 2 diabetes. *European Journal of Clinical Nutrition*. 56: 622-628.
- Kam, K., Murray, J., Arcot, J. and Ward, R., 2012c. 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, 587-594.
- Karimi, R., Azizi, M. H., Ghasemlou, M. and Vaziri, M. 2015. Application of inulin in cheese as prebiotic: fat replacer and texturizer: a review. *Carbohydrate Polymers*. 119: 85–100.
- Kashima, K. and Imai, M. 2012. Advanced membrane material from marine biological polymer and sensitive molecular-size recognition for promising separation technology. INTECH Open Access Publisher.
- Kelly-Quagliana, K. A., Nelson, P. D. and Buddington, R. K. 2003. Dietary oligofructose and inulin modulate immune functions in mice. *Nutrition Research*. 23(2): 257–267.
- Kim, M. J., Hyun, J. N., Kim, J. A., Park, J. C., Kim, M. Y., Kim, J. G., Lee, S. J., Chun, S. C. and Chung, I. M. 2007. Relationship between phenolic components, anthocyanin content and antioxidant activity in colored barley germplasm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55: 4802-4809.
- Klucinec, J. D. and Tompson, D.B. 1999. Amylose and amylopectin interact in retrogradation of dispersed high-amylose starches. *Cereal Chemistry*. 76: 282-291.
- Kohn, R. 1975. Ion binding on polyuronates-alginate and pectin. *Journal of Pure and Applied Chemistry*. 42: 371-397.
- Kong, J. M., Chia, L. S., Goh, N. K., Chia, T. F. and Brouillard, R. 2003. Analysis and Biological activity of anthocyanin. *Phytochemistry*. 64: 923-933.
- Kraisangsri, J. and Nalinanon, S. 2017. Effects of sterilization times on physicochemical properties of canned gruel produced from red jasmine brown rice fortified with D-glucosamine. *Journal of KMITL Science and Technology*. 17(2).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Krasovskaya, V. 2012. Antioxidant properties of berries: review of human studies and their relevance in the context of the European food safety authority. Ph.D.Thesis Of Hogeschool van Amsterdam.
- Kühbeck, D., Mayr, J., Häring, M., Hofmann, M., Quignard, F. and Díaz, D. D., 2015. Evaluation of the nitroaldol reaction in the presence of metal ion-crosslinked alginates. *New Journal of Chemistry*. 39: 2306-2315.
- Leardkamolkarn, V., Thongthep, W., Suttiarporn, P., Kongkachuichai, R., Wongpornchai, S., Wanavijitr, A., 2011. Chemopreventive properties of the bran extracted from a newly-developed Thai rice: The Riceberry. *Food Chemistry*. 125(3): 978-985.
- Lee, P. and Rogers, M. A. 2012. Effect of calcium source and exposure-time on basic caviar spherification using sodium alginate. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 1: 96-100.
- Letexier, D., Diraison, F., and Beylot, M. 2003. Addition of inulin to a moderately high-carbohydrate diet reduces hepatic lipogenesis and plasma triacylglycerol concentrations in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 77(3): 559–564.
- Lindenbaum, J. and Allen, R. 1995. Clinical spectrum and diagnosis of folate deficiency. In L. Bailey (Ed.), *Folate in health and disease* (pp. 43-50). New York: Marcel Dekker.
- Liu, H. H., Chien, J. T. and Kuo, M. I. 2013. Ultra high pressure homogenized soy flour for tofu making. *Food Hydrocolloids*. 32: 278-285.
- Lu, T. J., Jane, J. L. and Keeling, P. L. 1997. Temperature effect on retrogradation rate and crystalline structure of amylose. *Carbohydrate Polymers*. 33: 19-26.
- Lyly, M., Marttila, M. S., Suortti, T., Autio, K., Poutanen, K. and Liisa L. 2004. The sensory characteristics and rheological properties of soups containing oat and barley β -glucan before and after freezing. *Journal of Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 37: 749-761.
- Marchetti, C., Palaia, I., Giorgini, M., De Medici, C., Iadarola, R., Vertechy, L., Domenici, L., Di Donato, V., Tomao, F., Muzii, L. and Panici, P. B. 2014. Targeted drug delivery via folate receptors in recurrent ovarian cancer: a review. *OncoTargets and Therapy*. 7: 1223–1236.

- Mancini, F. and McHugh, T. H. 2000. Fruit-alginate interaction in novel restructured products. *Journal of Nutrition*, 44: 152-157.
- Mastroiacovo, P., and Leoncini, E. 2011. More folic acid, the five questions: Why, who, when, how much and how. *Biofactors*. 37(4): 272–279.
- Matheu, V., Gracia Bara, M. T., Pelta, R., Vivas, E. and Rubio, M. 1999. Immediate-hypersensitivity reaction to glucosamine sulfate. *Allergy*. 54: 643.
- Menezes, E. M. S., Rosenthal, A., Sabaa-Srur, A., Carmargo, L., Calado, V., and Santos, A. 2008. High hydrostatic pressure effect on enzyme activity of açai pulp. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 28: 14–19.
- Mulinare, J., Cordero, J. F., Erickson, J. D. and Berry, R. J. 1988. Periconceptional use of multivitamins and the occurrence of neural tube defects. *JAMA*. 260: 3141–3145.
- Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba, T. 2004. Effects of thermal treatment on radical-scavenging activity of single and mixed polyphenolic compounds. *Journal of Food Science*. 69(1): 7-10.
- Myhrovold, N., Chris, Y. and Maxime, B. 2011. *Modernist cuisine: The art and science of cooking, volume 4 ingredients and preparation*. USA: Bellevue: The cooking lab.
- Nilkamhaeng, S., Puechkamutr, Y., 2018, February. The production of rice ball from black Jasmine rice using sodium alginate. Proceeding presented at International Conference on Food and Applied Bioscience, Chiang Mai University, Chiang Mai. 38-44.
- Nussinovitch, A. 1997. *Hydrocolloid Application; Agronomy and Utilization*. New York: Academic press.
- Off, M. K., Steindal, A. E., Porojnicu, A.C., Juzeniene, A., Vorobey, A., Johnsson, A. and Moan, J. 2005. Ultraviolet photodegradation of folic acid. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 80: 47–55.
- Ottenhof, M. A., Farhat, I. A. 2004. Starch retrogradation. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*. 21: 215-228.

- Pacheco-Palencia, L. A., Duncan, C. E. and Talcott, S. T. 2009. Phytochemical composition and thermal stability of two commercial acai species, *Euterpe oleracea* and *Euterpe precatonensis*. *Food Chemistry*. 115: 1199-1239.
- Pacheco-Palencia, L. A., Hawken, P. and Talcott, S. T. 2007. Phytochemical, antioxidant and pigment stability of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) as affected by clarification, ascorbic acid fortification and storage. *Food Research International*. 40: 620–628.
- Pagliarussi, M. S. A. 2010. cadeia produtiva agroindustrial do açaí: estudo da cadeia e proposta de um modelo matemático. 65f. TCC, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Paques, J. P., Van Der Linder, E., Van Rijn, C. J. M. and Sagis, L. M. C. 2014. Preparation methods of alginate nanoparticles. *Adv. Journal of Colloid and Interface Science* 209: 163-171.
- Pavelká, K., Gatterov'á, J., Olejarov'á, M., Machacek, S., Giacovelli, G. and Rovati, L. C. 2002. Glucosamine sulfate use and delay of progression of knee osteoarthritis: a 3-year, randomized, placebo-controlled, double-blind study. *Archives of Internal Medicine*. 162(18): 2113-2123.
- Perry, J. R. and Ying, W. 2016. A review of physiological effects of soluble and insoluble dietary fibers. *Journal of Nutrition and Food Sciences*. 6(2).
- Petkova, N. and Denev, P. 2013. Evaluation of fructan contents in the taproots of plants *Lactuca serriola* L. and *Sonchus oleraceus* L. 2013. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*. 17: 117-122.
- Pitija, K., Nakornriab, M., Sriseadka, T., Vanavichit, A. and Wongpornchai, S. 2013. Anthocyanin content and antioxidant capacity in bran extracts of some Thai black rice varieties. *International Journal of Food Science & Technology*. 48(2): 300-308.
- Prangthip, P., Surasiang, R., Charoensiri, R., Leardkamolkarn, V., Komindr, S., Yamborisut, U., Vanavichit, A. and Kongkachuichai, R. 2013. Amelioration of hyperglycemia, hyperlipidemia, oxidative stress and inflammation in streptozotocin-induced diabetic rats fed a high fat diet by riceberry supplement. *Journal of Functional Foods*. 5(1): 195-203.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Puguan, J. M. C., Yu, X. H. and Kim, H. 2014. Characterization of structure, physic-chemical properties and diffusion behavior of Ca-Alginate gel beads prepared by different gelation methods. *Journal of Colloid and Interface Science*. 432: 109-116.
- Pumpho, W. and Puechkamutr, Y. 2015. Tofu-ball production from spherification technique using sodium alginate. The 53rd Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University. Bangkok.
- Rakkimuthu, R., Palmurugan, S. and Shanmugapriya, A. 2016. Effect of temperature, light, pH on the stability of anthocyanin pigments in *coccoulus hirsutus* fruits. *International Journal of Multidisciplinary Research and Modern Education*. 2(2): 2454 – 6119.
- Rattanaratkul, N. 2017. Study on the production of sesame tofu by spherification technique. (Master's thesis). King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok.
- Ray, J., Meier, C., Vermeulen, M., Boss, S., Wyatt, P. and Cole, D. 2002. Association of neural tube defects and folic acid food fortification in Canada. *The Lancet*. 360: 2047–2048.
- Reginster, J. Y., Deroisy, R., Rovati, L. C., Lee, R. L., Lejeune, E., Bruyere, O., Giacovelli, G., Henrotin, Y., Dacre, J. E. and Gossett, C. 2001. Long-term effects of glucosamine sulphate on osteoarthritis progression: a randomised, placebo-controlled clinical trial, *The Lancet*. 357(9252): 251–256.
- Ribeiro, J. C., Antunes, L. M., Aissa, A. F., Darin, J. D., De Rosso, V. V., Mercadante, A. Z. and Bianchi-Mde, L. 2010. Evaluation of the genotoxic and antigenotoxic effects after acute and subacute treatments with acai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.) on mice using the erythrocytes micronucleus test and the comet assay. *Mutation Research*. 695: 22–28.
- Roberfroid, M. B. 2000. Prebiotics and probiotics: are they functional foods?. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 71(6): 1682–1687.
- Roberfroid, M. B. 2005. Introducing inulin-type fructans. *The British Journal of Nutrition*. 93: Suppl 1:S13-25.
- Roberfroid, M. B. 2007. Inulin-type fructans: functional food ingredients. *The Journal of Nutrition*. 137(11): 2493S–2502S.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F. and Mancini-Filho, J. 2010. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*. 121: 996–1002.
- Salazar, J., Bello, L., Chávez, M., Añez, R., Rojas, J. and Bermúdez, V. 2014. Glucosamine for osteoarthritis: biological effects, clinical efficacy and safety on glucose metabolism. Hindawi Publishing Corporation.
- Sabbe, S., Verbeke, W., Deliza, R., Matta, V., and Van Damme, P. 2009. Effect of a health claim and personal characteristics on consumer acceptance of fruit juices with different concentrations of acai (*Euterpe oleracea* mart). *Appetite*. 53: 84–92.
- Sayed, A. R., Bourne, D., Pattinson, R., Nixon, J. and Henderson, B. 2008. Decline in the prevalence of neural tube defects following folic acid fortification and its cost-benefit in South Africa. *Birth Defects Research Part A: Clinical and Molecular Teratology*. 82: 211–216.
- Schauss, A. G. 2010. Acai (*Euterpe oleracea* Mart.): A macro and nutrient rich palm fruit from the Amazon rain forest with demonstrated bioactivities in vitro and in vivo. In D. R. Watson & V. R. Preedy (Eds.), *Bioactive Foods Promotion Health* (pp. 479–490). Oxford: Academic Press.
- Schauss, A. G., Wu, X., Prior, R. L., Ou, B., Huang, D., Ownes, J., Agarwal, A., Jensen, G. S., Hart, A. N. and Shambrom, E. 2006. Antioxidant and other bioactivities of the freeze-dried Amazonian palm berry, *Euterpe oleracea* Mart. (Acai). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 7796–7802.
- Schierbaum, F., Radosta, S., Vorweg, W., Yuriev, V., Braudo, E. E. and German, M. L. 1992. Formation of thermally reversible maltodextrin gels as revealed by low resolution H-NMR. *Carbohydrate Polymers*. 18: 155-163.
- Schreckinger, M. E., Lotton, J., Lila, M. A. and de Mejia, E. G. 2010. Berries from South America: a comprehensive review on chemistry, health potential, and commercialization. *Journal of Medical Food*. 13(2): 233-246.
- Seale, M., Morris, E. R. and Ress, D. A. 1982. Interactions of alginates with univalent cations. *Carbohydrate Research*. 110: 101-112.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Selimoglu, S. M. and Elibol, M. 2010. Alginate as an immobilization material for Mab production via encapsulated hybridoma cells. *Critical Reviews in Biotechnology*. 30(2): 145-159.
- Seshadri, S. 2001. Prevalence of micronutrient deficiency particularly of iron, zinc and folic acid in pregnant women in South East Asia. *British Journal of Nutrition*. 85(Suppl. 2): S87–S92.
- Shao, Y. F., Xu, F. F., Sun, X., Bao, J. S. and Beta, T. 2014. Phenolic acids, anthocyanins, and antioxidant capacity in rice (*Oryza sativa* L.) grains at four stages of development after flowering. *Food Chemistry*. 143: 90-96.
- Shibuya K, Murray, C. J. L. Congenital anomalies. 1998. In: Murray CJL, Lopez AD, eds. *Health dimensions of sex and reproduction*. USA: Harvard University Press: 455–512.
- Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., Shakeel, A., Ansari, A. and Niazi, S. 2016. Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*. 147: 444-454.
- Simanek, V., Kren, V., Ulrichova, J. and Gallo, J. 2005. The efficacy of glucosamine and chondroitin sulfate in the treatment of osteoarthritis: are these saccharides drugs or nutraceuticals?. *Biomedical papers of the Medical Faculty of the University Palacky, Olomouc, Czech Republic*. 149: 51 – 56.
- Simonovska, B. 2000. Determination of inulin in foods. *Journal of AOAC International*. 83(3), 675-678.
- Sipahli, S., Mdhanlall, V. and Mellem, J. J. 2016. Stability and degradation kinetics of crude anthocyanin extracts from *H. sabdariffa*. *Food Science and Technology*. 37(2): 209-215.
- Smithells, R., Nevin, N., Seller, M., Sheppard, S., Harris, R., Read, A., Fielding, D., Walker, S., Schorah, C. and Wild, J. 1983. Further experience of vitamin supplementation for prevention of neural tube defect recurrences. *Lancet*. 1: 1027–1031.
- Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Martin, G. and Berghofer, E. 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry*. 124: 132-140.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Souza, M. O., Silva, M., Silva, M. E., Oliveira, R. P., and Pedrosa, M. L. 2010. Diet supplementation with açai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp improves biomarkers of oxidative stress and the serum lipid profile in rats. *Nutrition*. 26: 804–810.
- Spada, P. D., Dani, C., Bortolini, G. V., Funchal, C., Henriques, J. A., and Salvador, M. 2009. Frozen fruit pulp of *Euterpe oleraceae* Mart. (acai) prevents hydrogen peroxide-induced damage in the cerebral cortex, cerebellum, and hippocampus of rats. *Journal of Medicinal Food*. 12: 1084–1088.
- Spallholz, J. E., Boylan, L. M. and Driskell, J. A. 1998. Folic acid. In *Nutrition Chemistry and Biology*. 2nd ed. CRC Press LLC. pp. 95-100.
- Spector, T. D. and MacGregor, A. J. 1999. Epidemiology of rheumatic diseases. In: *ABC of Rheumatology*, 2nd edn (Snaith ML, ed). London: BMJ Books. pp. 82 – 86.
- Steven, M. M., Qanadilo, H. F., Langer, R. and Shastri, V.P. 2004. A rapid-curing alginate gel system: Utility in periosteum-derived cartilage tissue engineering. *Biomaterials*. 25(5): 887-894.
- Sutharut, J. and Sudarat, J. 2012. Total anthocyanin content and antioxidant activity of germinated colored rice. *International Food Research Journal*. 19(1): 215-221.
- Tallia, A. F. and Cardone, D. A. 2002. Asthma exacerbation associated with glucosamine–chondroitin supplement. *The Journal of the American Board of Family Practice*. 15: 481 – 484.
- Tamime, A. Y. and Robinson, R. K. 1999. *Yoghurt: Science and technology* (2nd ed.). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Tapadinhas, M. J., Rivera, I. C. and Bignamini, A. A. 1982. Oral glucosamine sulphate in the management of arthrosis: report on a multi-centre open investigation in Portugal. *Pharmatherapeutica*. 3: 157 – 168.
- Temelli, F. 2001. Potential food applications of barley beta-glucan concentrate. Barley country. Alberta Barley Commission.
- Tudorica, C. M., Jones, T. E. R., Kuri, V. and Brennan, C. S. 2004. The effect of refined barley β -glucan on the physic-structural properties of low-fat dairy products: curd yield, microstructure, texture and rheology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84: 1159-1169.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- United States Department of Agriculture. Basic Report: 20445, Rice, white, long-grain, regular, unenriched, cooked without salt. National Nutrient Database for Standard Reference Release 28 slightly revised May, 2016. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show>. 26 November 2017
- Valle-Jones, J. C. 1985. An open study of oat bran meal biscuits (“Lejfibre”) in the treatment of constipation in the elderly. *Journal of Current Medical Research and Opinion*. 9: 716-720
- Vega, C. and Castells, P. 2012. Spherification. In: Vega, C., Ubbink, J., van der Linden, E. (Eds.), *the kitchen as the laboratory*. New York: Columbia University Press. pp.25-32.
- Vora, A., Riga, A., Dollimore, D. and Alexander, K. S., 2002. Thermal stability of folic acid. *Thermochemica Acta*. 392: 209–220.
- Vorobei, A. V. and Vorobei, P. A. 2011. Photosensitized degradation of folic acid. *Journal of Applied Spectroscopy*. 78: 614–616.
- Waiyawuththanapoom, P., Waiyawuththanapoom, W. and Tirastitam, P., 2015. Social media as a distribution channel for Thailand’s rice berry product. *International Journal of Economics and Management Engineering*. 9(3): 904–907.
- Wald, D., Law, M. and Morris, J., 2002. Homocysteine and cardiovascular disease: evidence on causality from a meta-analysis. *British Medical Journal*. 325: 476–482.
- Wang, J., Rosell, C. M. and Benedito de Barber, C. 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Journal of Food Chemistry*. 79: 221-226.
- Williams, L. J., Mai, C. T., Edmonds, L. D., Shaw, G. M., Kirby, R. S., Hobbs, C. A., Sever, L. E., Miller, L. A., Meaney, F. J. and Levitt, M. 2002. Prevalence of spina bifida and anencephaly during the transition to mandatory folic acid fortification in the United States. *Teratology*. 66: 33–39.
- Wongkham, J., Ratanasiri, T., Paibool1, M., Chatvised1, P., Suttasee1, N., Saksiriwuttho, P. and Wichajarn, K. 2016. Maternal Knowledge and Attitude on Folic Acid Intakes to Prevent Birth Defects of Pregnant Women. *Journal of Srinagarind Medical*. 31(4).

- Wu, Y., Hussain, M. and Fassihi, R. 2005. Development of a simple analytical methodology for determination of glucosamine release from modified release matrix tablets. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 38: 263-269.
- Xia, W., Liu, C. M., Luo, S. J., Xu, X. F. and Fu, G. M. 2015. Effect of low temperature on the retrogradation behavior of rice gels with different milling degrees. *Starch/Stärke*. 67: 1044-1052.
- Yalpani, M. 1988. *Polysaccharides: Syntheses, Modifications and Structure/Property Relations (Studies in Organic Chemistry)*. Amsterdam, Netherland: Elsevier Science.
- Yang, Q., Cogswell, M. E., Hamner, H. C., Carriquiry, A., Bailey, L. B., Pfeiffer, C. M. and Berry, R. J. 2010. Folic acid source, usual intake, and folate and vitamin B-12 status in US adults: National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2003–2006. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 91: 64–72.
- Zhang, H. C., Zheng, H. H., Zhang, Q. Z., Wang, J. J. and Konno, M. 1998. The interaction of sodium alginate with univalent cations. *Biopolymer*. 46: 395-402.
- Zhao, C. X., Zhang, C., Kang, H. L., Xia, Y. Z. and Sui, K. Y. 2017. Gelation of Na-alginate aqueous solution: A study of sodium ion dynamics via NMR relaxometry. *Carbohydrate Polymers*. 169: 206-212.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ ก.1 ค่าความหนืดของน้ำนมข้าวที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีและวัตถุดิบที่แตกต่างกัน

Properties	RPM	Toque (%)	Viscosity (Cp)	Shear stress (D/CM ₂)	Shear rate (1/sec)	
Rice flour	10	1.70	911.8	22.2	2.20	
	20	3	749.8	32.7	4.40	
	25	3.6	691.1	39.0	5.50	
	30	4.2	655.9	43.3	6.60	
	35	4.6	630.7	49.6	7.70	
	40	4	479.9	43.3	8.80	
	45	5.2	554.9	54.9	9.90	
	50	4.8	460.7	50.7	11.0	
	55	5.5	479.9	58.1	12.1	
	70	6.24	425.1	66.5	15.4	
	100	6.9	340.7	75.0	22.0	
	150	8.7	268.6	87.6	33.0	
	Cooked rice	10	0.2	144	2.1	2.20
		20	1	239.9	10.6	4.40
		25	1.4	268.7	15.8	5.50
30		1.3	192.0	13.7	6.60	
50		2.7	230.4	25.3	11.0	
60		2.8	216.0	28.5	13.2	
70		3.2	226.2	33.8	15.4	
80		3.56	228.0	40.1	17.6	
100		4.5	266.8	44.3	22.0	
120		5.4	212.0	53.8	26.4	
	150	5.7	185.6	62.3	33.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ ก.2 ค่าความหนืดของน้ำนมข้าวกับอัลจิเนตที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีและวัตุดิบที่แตกต่างกัน

Properties	RPM	Toque (%)	Viscosity (Cp)	Shear stress (D/CM ₂)	Shear rate (1/sec)
Rice flour + Al	10	32.6	16173	357.9	2.20
	20	50	12021	530.0	4.40
	25	61.2	11729	645.1	5.50
	30	66.9	10702	706.3	6.60
	35	74.6	10242	779.3	7.70
	40	79.3	9514	830.0	8.80
	45	88.6	9427	933.3	9.90
Cooked rice + Al	50	90.9	8696	956.5	11.0
	55	98.1	8551	1035	12.1
	10	62.6	30138	667.5	2.20
	12	77.0	30893	815.1	2.64
	14	86.6	29856	921.6	3.08
	15	91.4	29402	972.6	3.30
	16	98.5	29634	1047	3.52

หมายเหตุ: Al หมายถึง อัลจิเนต

ตารางภาคผนวกที่ ก.3 ลักษณะทางกายภาพของโรซบอลที่เสริมเบตากลูแคนที่ความเข้มข้น วิธีการเสริมเบตากลูแคน และน้ำที่ใช้แช่โรซบอลแตกต่างกัน

Condition	Size	Weight	L*	a*	b*	Hardness (g•force)	Springiness (m)	Cohesiveness	Gumminess (N)	Chewiness (J)
Control	14.62±0.08 ^b	1.64±0.03 ^b	32.30±0.11 ^a	8.34±0.12 ^f	2.25±0.06 ^{de}	1509.97±19.98 ^{bcd}	0.86±0.01 ^{bc}	0.66±0.00 ^c	973.25±12.78 ^{def}	859.16±22.91 ^{cd}
CR 0.5% in W	15.00±0.04 ^{cd}	1.67±0.01 ^c	32.92±0.43 ^{bc}	7.39±0.05 ^c	1.64±0.13 ^a	1528.70±21.69 ^{cd}	0.86±0.01 ^{bc}	0.66±0.00 ^c	953.10±45.62 ^{cde}	848.29±6.50 ^{bcd}
CR 0.5% in B	15.16±0.14 ^f	1.80±0.01 ^f	32.94±0.26 ^{bcd}	7.19±0.03 ^b	1.87±0.13 ^b	1484.39±44.21 ^b	0.90±0.01 ^{ef}	0.67±0.00 ^c	951.08±12.40 ^{cde}	859.53±4.63 ^{cd}
BW 0.5% in W	14.72±0.02 ^b	1.58±0.02 ^a	32.53±0.78 ^{ab}	8.29±0.15 ^f	2.66±0.08 ^f	1624.29±67.85 ^c	0.83±0.02 ^a	0.64±0.00 ^a	1008.39±61.11 ^{efg}	867.99±17.85 ^d
BW 0.5% in B	14.94±0.39 ^c	1.69±0.02 ^c	32.74±0.19 ^{bc}	7.65±0.04 ^d	2.37±0.17 ^e	1585.17±152.60 ^{de}	0.85±0.02 ^b	0.66±0.11 ^b	1033.23±79.99 ^g	933.62±36.99 ^c
CR 1.5% in W	14.69±0.08 ^b	1.64±0.02 ^b	33.51±0.11 ^e	7.07±0.11 ^b	1.60±0.19 ^a	1423.64±114.74 ^b	0.87±0.01 ^{cd}	0.66±0.01 ^{bc}	943.57±62.99 ^{bcd}	817.75±43.93 ^{ab}
CR 1.5% in B	15.12±0.07 ^{ef}	1.73±0.03 ^{de}	33.35±0.12 ^{de}	6.84±0.19 ^a	1.77±0.15 ^{ab}	1417.12±81.53 ^b	0.89±0.01 ^{ef}	0.67±0.00 ^c	943.50±55.34 ^{bcd}	826.19±39.28 ^{abc}
BW 1.5% in W	15.05±0.11 ^{de}	1.69±0.02 ^c	33.09±0.04 ^{cd}	8.40±0.09 ^f	2.69±0.11 ^{fg}	1431.88±42.44 ^{bc}	0.88±0.00 ^d	0.66±0.00 ^c	959.06±22.96 ^{de}	854.02±14.78 ^{bcd}
BW 1.5% in B	15.35±0.08 ^g	1.81±0.03 ^f	33.06±0.05 ^{cd}	7.65±0.06 ^d	2.32±0.18 ^e	1295.62±16.10 ^a	0.91±0.00 ^f	0.68±0.00 ^e	887.08±8.02 ^{ab}	821.95±8.73 ^{abc}
CR 3% in W	14.50±0.03 ^a	1.58±0.00 ^a	32.55±0.50 ^{ab}	6.76±0.15 ^a	1.75±0.13 ^{ab}	1443.49±93.45 ^{bc}	0.86±0.02 ^{bc}	0.66±0.01 ^c	959.03±49.93 ^{de}	845.52±27.40 ^{bcd}
CR 3% in B	15.03±0.53 ^{cde}	1.76±0.02 ^c	32.72±0.52 ^{abc}	6.75±0.10 ^a	2.12±0.06 ^d	1324.46±76.49 ^{ad}	0.89±0.02 ^{ef}	0.68±0.00 ^d	894.71±19.44 ^{abc}	792.36±24.34 ^a
BW 3% in W	15.10±0.12 ^{def}	1.72±0.06 ^d	32.30±0.70 ^a	7.97±0.06 ^e	2.84±0.15 ^g	1498.65±76.49 ^{bc}	0.88±0.01 ^{de}	0.69±0.00 ^e	1024.94±49.59 ^{fg}	914.27±42.86 ^c
BW 3% in B	15.49±0.08 ^h	1.83±0.02 ^f	32.87±0.36 ^{bc}	7.58±0.20 ^d	2.41±0.18 ^e	1242.50±83.18 ^a	0.92±0.01 ^g	0.69±0.01 ^f	870.53±50.41 ^a	806.94±47.63 ^a

หมายเหตุ : ^{a-h} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$); ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

CR หมายถึง โรซบอลที่ผลิตโดยการเสริมเบตากลูแคนลงในขั้นตอนการหุงข้าว; BW หมายถึง โรซบอลที่ผลิตโดยการเสริมเบตากลูแคนลงในขั้นตอนการปั่นผสมข้าวหุงสุกกับน้ำ; W หมายถึง แช่โรซบอลในน้ำเปล่า; B หมายถึง แช่โรซบอลในน้ำที่ผสมเบตากลูแคน

ตารางภาคผนวกที่ ก.4 ลักษณะทางกายภาพของไรซ์บอลที่เสริมอินนูลินและอาซาอิเบอร์รี่ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

Properties	In 2%	In 4%	In2%, A0.1%	In2%, A0.25 %	In2%, A0.4%	In4%, A0.1%	In4%, A0.25%	In4%, A0.4%
Size (mm)	14.70±0.04 ^a	14.98±0.15 ^b	14.74±0.09 ^a	14.75±0.11 ^a	14.73±0.06 ^a	14.99±0.11 ^b	15.00±0.10 ^b	15.01±0.07 ^b
Weight (g)	1.60±0.03 ^a	1.67±0.05 ^b	1.62±0.02 ^a	1.60±0.02 ^a	1.63±0.03 ^a	1.67±0.03 ^b	1.69±0.06 ^b	1.69±0.02 ^b
L*	31.44±0.16 ^a	31.74±0.14 ^b	32.39±0.14 ^c	32.45±0.09 ^c	32.48±0.08 ^c	32.51±0.08 ^c	32.58±0.29 ^c	33.34±0.18 ^d
a*	8.43±0.15 ^a	8.98±0.19 ^{bcd}	9.30±0.10 ^{dc}	9.39±0.38 ^c	8.91±0.55 ^{bc}	9.22±0.16 ^{cde}	9.25±0.09 ^{cde}	8.65±0.26 ^{ab}
b*	1.75±0.09 ^a	1.96±0.18 ^{abc}	1.95±0.14 ^{abc}	2.12±0.25 ^{bc}	2.19±0.30 ^c	1.87±0.21 ^{ab}	1.96±0.13 ^{abc}	2.05±0.30 ^{bc}
Hardness (g•force)	1401.01±32.43 ^b	1241.22±40.58 ^a	1397.44±46.76 ^b	1408.97±14.11 ^b	1415.17±23.46 ^b	1257.46±37.14 ^a	1234.84±22.43 ^a	1259.16±18.15 ^a
Springiness (mm)	0.85±0.01 ^a	0.87±0.01 ^{bc}	0.85±0.02 ^a	0.85±0.01 ^a	0.86±0.01 ^{ab}	0.88±0.02 ^c	0.88±0.01 ^c	0.88±0.01 ^c
Cohesiveness	0.66±0.00 ^{ab}	0.67±0.01 ^c	0.66±0.01 ^{ab}	0.65±0.00 ^a	0.65±0.01 ^a	0.66±0.01 ^{bc}	0.67±0.01 ^c	0.66±0.01 ^{ab}
Gumminess (N)	898.82±18.17 ^b	814.47±22.52 ^a	893.51±17.62 ^b	897.33±4.50 ^b	878.24±6.53 ^b	794.51±15.26 ^a	813.43±22.90 ^a	808.94±20.01 ^a
Chewiness (N)	742.76±5.79 ^b	700.60±19.65 ^a	748.52±5.83 ^b	745.33±8.55 ^b	733.54±3.36 ^b	686.43±5.77 ^a	697.91±26.25 ^a	696.72±10.82 ^a
Anthocyanin (mg/10g sample)	3.2289±0.18 ^a	3.2830±0.16 ^a	3.7367±0.15 ^b	4.4530±0.15 ^c	4.7314±0.22 ^c	3.7962±0.13 ^b	4.4863±0.22 ^c	4.5702±0.24 ^c
DPPH (% Savenging Activity)	46.53±2.34 ^a	47.32±2.72 ^a	59.48±2.60 ^b	62.71±1.61 ^b	68.14±0.86 ^c	59.42±3.41 ^b	62.45±0.20 ^b	66.93±1.04 ^c
FRAP (µg Trolox eq./10g sample)	29.57±1.89 ^a	28.67±1.08 ^a	37.07±1.48 ^b	45.13±1.10 ^c	56.79±3.07 ^d	35.68±2.47 ^b	44.70±2.66 ^c	57.35±6.20 ^d

หมายเหตุ : ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$); ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

In หมายถึง อินนูลิน

A หมายถึง อาซาอิเบอร์รี่

ตารางภาคผนวกที่ ก.5 ลักษณะทางกายภาพของโรซบอลที่เสริมอินนูลินร้อยละ 2 ผงอาซาอิเบอร์รี่ร้อยละ 0.4 และกลูโคซามีนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

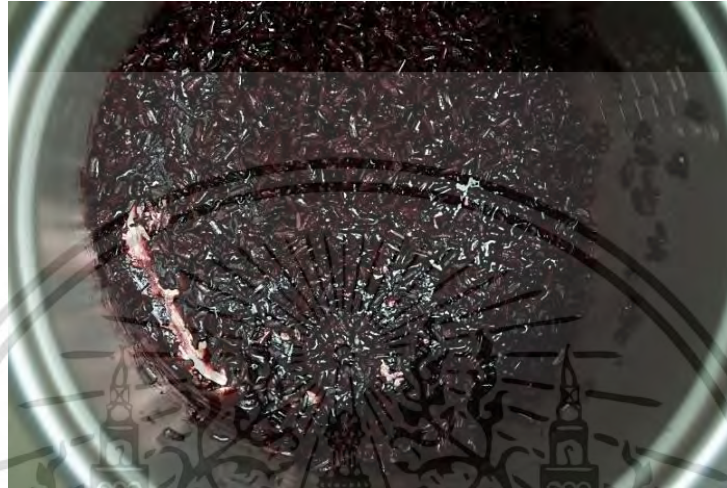
Properties	Glu 0 %	Glu 0.5 %	Glu 0.75 %	Glu 1 %	Glu 1.25 %	Glu 1.5 %
Size (mm)	14.65±0.07 ^a	14.68±0.05 ^a	14.69±0.02 ^{ab}	14.74±0.02 ^{bc}	14.78±0.06 ^c	14.87±0.03 ^d
Weight (g)	1.52±0.03 ^a	1.53±0.01 ^a	1.55±0.02 ^{ab}	1.57±0.01 ^{bc}	1.59±0.03 ^{cd}	1.62±0.02 ^d
L*	33.18±0.11 ^b	32.94±0.30 ^a	33.22±0.12 ^b	33.29±0.26 ^{bc}	33.48±0.11 ^c	33.59±0.08 ^c
a*	8.89±0.30 ^a	9.03±0.10 ^{ab}	9.21±0.12 ^b	9.15±0.20 ^b	9.03±0.15 ^{ab}	9.25±0.12 ^b
b*	0.97±0.06 ^b	0.85±0.04 ^a	1.00±0.12 ^b	1.00±0.07 ^b	0.98±0.09 ^b	0.98±0.07 ^b
Hardness (g•force)	1450.95±25.67 ^f	1383.96±32.36 ^c	1332.75±20.03 ^d	1300.60±23.96 ^c	1269.55±20.92 ^b	1144.54±20.91 ^a
Springiness (mm)	0.85±0.01 ^a	0.86±0.01 ^b	0.87±0.01 ^b	0.87±0.01 ^b	0.87±0.01 ^b	0.90±0.01 ^c
Cohesiveness	0.66±0.00 ^a	0.67±0.01 ^a	0.66±0.01 ^b	0.65±0.00 ^c	0.65±0.01 ^d	0.66±0.01 ^c
Gumminess (N)	952.01±25.26 ^f	919.76±4.46 ^c	866.61±18.73 ^d	826.03±11.42 ^c	780.67±22.81 ^b	693.99±32.77 ^a
Chewiness (N)	785.32±10.95 ^c	790.69±9.88 ^c	755.11±9.70 ^d	713.76±4.14 ^c	692.05±15.95 ^b	656.67±8.76 ^a
Glucosamine content (mg/10 g sample)	9.82±0.07 ^a	26.34±0.37 ^b	34.84±0.54 ^c	50.54±0.41 ^d	57.55±0.66 ^c	68.78±0.52 ^f

หมายเหตุ: ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$); ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

Glu หมายถึง กลูโคซามีน

ภาคผนวก ข.

ภาพภาคผนวก



ก)



ข)

ภาพภาคผนวกที่ ข.1 ลักษณะของเมล็ดข้าวหุงสุกที่เสริมเบตาแคโรทีนลงในน้ำที่ใช้ในการหุงข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค)

ภาพภาคผนวกที่ ข.1 ลักษณะของเมล็ดข้าวหุงสุกที่เสริมเบตาแคโรทีนลงในน้ำที่ใช้ในการหุงข้าว (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การเตรียมไรซ์บอด

ค.1 วิธีการเตรียมน้ำนมข้าวจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่



ภาพภาคผนวกที่ ค.1 การใช้เตาแก๊สและตั้งถึงในการให้ความร้อนกับแป้งข้าวที่ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:10 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก)



ภาพภาคผนวกที่ ค.2 ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำนมข้าวให้ได้

85-90 องศาเซลเซียส จึงเริ่มทำการจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ ค.3 การใช้เครื่องปั่นมือถือในการผสมน้ำนมข้าวให้เป็นเนื้อเดียวกัน
ในระหว่างการให้ความร้อนทุกๆ 10 นาที จนครบ 40 นาที



ภาพภาคผนวกที่ ค.4 น้ำนมข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว



ภาพภาคผนวกที่ ค.5 การผสมน้ำนมข้าวกับสารละลายโซเดียมอัลจินต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 วิธีการเตรียมน้ำนมข้าวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุก



ภาพผนวกที่ ค.6 การหุงข้าว ไรซ์เบอร์รี่



ภาพผนวกที่ ค.7 การปั่นข้าว ไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการหุงแล้วกับน้ำที่ใช้ปั่นผสม



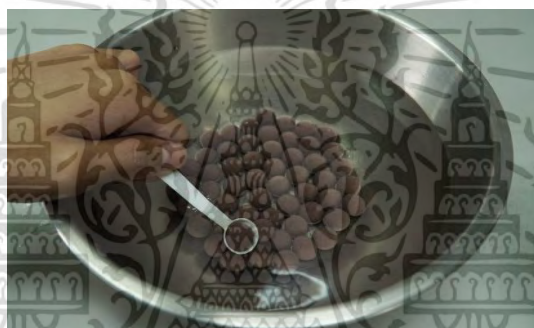
ภาพภาคผนวกที่ ค.8 การผสมน้ำนมข้าวกับสารละลายอัลจินเตดด้วยเครื่องปั่นผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 วิธีการขึ้นรูปไรซ์บอลจากน้ำนมข้าว



ภาพภาคผนวกที่ ค.9 การขึ้นรูปทรงกลมของของผสมระหว่างน้ำนมข้าว
และสารละลายอัลจินเนตด้วยไซริงค์



ภาพภาคผนวกที่ ค.10 การจุ่มไรซ์บอลลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์
ความเข้มข้นร้อยละ 1.75 ของของผสม



ภาพภาคผนวกที่ ค.11 การล้างไรซ์บอลด้วยน้ำสะอาดภายหลังการแช่ไรซ์บอล
ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ ค.12 ไรซ์บอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ง.1 การวัดสี (Chroma meter; Minolta CR-300, Japan)

- 1.1) เตรียมตัวอย่างไรซ์บอลล
- 1.2) ปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank; $L^*= 97$, $a^*= -0.18$, $b^*= 1.84$)
- 1.3) นำเครื่องวัดค่าสีมาแนบกับตัวอย่างทั้งหมด 10 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของการวัด
- 1.4) บันทึกค่าสีในค่า L^* , a^* และ b^* โดยค่า

L^* คือ ค่าความสว่าง

มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

a^* คือ ค่าสีแดงและสีเขียว

เมื่อ a^* มีค่าเป็นบวกเป็นสีแดง

เมื่อ a^* มีค่าเป็นลบเป็นสีเขียว

b^* คือ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน

เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวกเป็นสีเหลือง

เมื่อ b^* มีค่าเป็นลบเป็นสีน้ำเงิน

ก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank; $L^*= 97$, $a^*= -0.18$, $b^*= 1.84$) แล้วจึงวัดสีของผลิตภัณฑ์

ง.2 การวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer

นำตัวอย่างไรซ์บอล จำนวน 10 เม็ดต่อการทดลอง มาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT Plus โดยใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร (P/35) เป็นระยะ (stain) 50 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ค่าที่วัดได้แบบ Texture profile analysis (TPA) ปรับความเร็วการเคลื่อนที่ของ Load cell ดังนี้

Pre-Test Speed : 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที

Test Speed : 5.0 มิลลิเมตรต่อวินาที

Post-Test Speed : 5.0 มิลลิเมตรต่อวินาที



ภาพที่ภาคผนวก ง.1 แสดงการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3 การวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield

นำน้ำมันข้าวที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีจากข้าวหุงสุกและแป้งข้าว ทิ้งไว้ให้เย็นลงถึงอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มาวัดความหนืดโดยเครื่อง Brookfield รุ่น DV-III ULTRA โดยใช้หัววัด 63



ภาพที่ภาคผนวก ง.2 เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-III ULTRA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.4 การวิเคราะห์โครงสร้างของไรโซบอดด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

(ดัดแปลงจาก Liu และคณะ, 2013)

- 1.1) ทำการเตรียมตัวอย่างไรโซบอด
- 1.2) ตัดตัวอย่างไรโซบอดให้มีขนาด $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ มิลลิเมตร ด้วยใบมีดโกน
- 1.3) นำตัวอย่างไปกำจัดน้ำออกด้วยการแช่ในเอทานอลที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างกัน

Ethanol 20 %	เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
Ethanol 30 %	เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
Ethanol 50 %	เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
Ethanol 70 %	เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
Absolute Ethanol 3 ครั้ง	ครั้งละ 1 ชั่วโมง
Absolute Ethanol 1 ครั้ง	เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 1.4) นำตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดน้ำออก ไปเข้าเครื่อง Critical point-dried with automated critical point dryer เพื่อให้ตัวอย่างแห้ง
- 1.5) นำตัวอย่างไปวางบนแท่น และนำไปเคลือบด้วยทอง
- 1.6) นำตัวอย่างไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง high vacuum scanning electron microscope ที่ 15 kV และกำลังขยายที่ 10,000 เท่า

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ทางเคมี

จ.1 การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Sutharut และ Sudarat, 2012)

1. การเตรียมสาร

1.1) 0.025 M Potassium Chloride buffer pH 1.0

ชั่ง KCl 1.86 กรัม ลงในบีกเกอร์ ใส่ น้ำกลั่น ปริมาตร 980 มิลลิลิตร และนำไปปรับ pH ให้เท่ากับ 1.0 ด้วย HCl และปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

1.2) 0.4 M Sodium Acetate buffer pH 4.5

ชั่ง $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 54.43 กรัม ลงในบีกเกอร์ ใส่ น้ำกลั่น ปริมาตร 960 มิลลิลิตร นำไปปรับ pH ให้เท่ากับ 4.5 ด้วย HCl และปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2. การเตรียมตัวอย่าง

- 2.1) นำไรซ์บอลมาทำการปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง laboratory blender โดยแบ่งความเร็วในการปั่นออกเป็น 2 ระดับ คือ เริ่มต้นด้วยความเร็วต่ำ เป็นเวลา 30 วินาที และใช้ความเร็วสูง 30 วินาที
- 2.2) ชั่งไรซ์บอลที่ผ่านการปั่นให้ละเอียดแล้วปริมาณ 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 125 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเมธานอล 30 มิลลิลิตร
- 2.3) นำขวดรูปชมพู่ไปแช่ใน water bath with shaker ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส
- 2.4) นำสารละลายไปทำการหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 9000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
- 2.5) นำส่วนใสไปกรองด้วย vacuum pump โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.1
- 2.6) เก็บสารละลายที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH-differential method (ดัดแปลงจาก

Giusti และ Wrolstad, 2001)

- 3.1) ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง 2 หลอด
- 3.2) หลอดที่ 1 ทำการเจือจางด้วย Potassium Chloride buffer pH 1.0 หลอดที่ 2 ทำการเจือจางด้วย Sodium Acetate buffer pH 4.5 ให้ค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.2-1.2
- 3.3) ทำการบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที ก่อนการนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank
- 3.4) นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาคำนวณ โดยใช้สูตร

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 4.5}$$

- 3.5) นำค่าการดูดกลืนแสงที่คำนวณได้จากข้อ 2.4 มาคำนวณหาปริมาณของแอนโทไซยานินทั้งหมด โดยใช้สูตร

$$\text{Anthocyanin pigment (mg/10 g sample)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times 1}$$

ซึ่งรายงานเป็นปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่มีอยู่มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 10 กรัม โดยกำหนดให้ MW คือ น้ำหนักโมเลกุล 449.2 กรัมต่อโมล ของ cyaniding-3-glucoside, DF คือ ค่าการเจือจาง, ϵ คือ molar absorptivity = 26,900 และ 1000 เท่ากับการเปลี่ยนจาก กรัมเป็นมิลลิกรัม

จ.2 การวิเคราะห์ปริมาณอินนูลิน (คัดแปลงจาก Simonovska, 2000; Ariandi, 2015)

1. การเตรียมตัวอย่าง

- 1.1) ชั่งไรซ์บดที่ผ่านการบดละเอียดแล้วปริมาณ 4.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
- 1.2) เติมน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าโดยใช้เครื่อง Multiple stirrer เป็นเวลา 15 นาที
- 1.3) นำตัวอย่างไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 9,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
- 1.4) นำส่วนใสไปกรองด้วยเครื่อง Vacuum pump โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.4 และ No.1 ตามลำดับ
- 1.5) เก็บสารสกัดที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์หาอินนูลินโดยวิธี Thin layer chromatography (TLC)

- 2.1) ปิเปิดสารสกัดปริมาตร 4 ไมโครลิตร ลงบนแผ่น Silica gel 60 plate จำนวน 7 ครั้ง และปิเปิดสารมาตรฐานปริมาตร 4 ไมโครลิตร จำนวน 5 ครั้ง โดยใช้สารมาตรฐานของสารละลายกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ที่ความเข้มข้นอย่างละ 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสารละลายอินนูลินความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
- 2.2) นำไปแช่ในโถแก้วที่มีสารตัวพาของ n-butanol : acetic acid : water ในอัตราส่วน 2:1:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) จนสารตัวพาดึงซิดที่กำหนดด้านบนของแผ่น Silica gel
- 2.3) นำแผ่น Silica gel ไปจุ่มลงในสารที่ทำให้เกิดสี โดยใช้ Sulfuric acid ผสมกับ Ethanol (Chantorn และคณะ, 2013) และนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

จ.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (ดัดแปลงจาก Murakami และคณะ, 2004)

1. การเตรียมสาร

1.1) 0.8 mM DPPH

ชั่ง DPPH ปริมาณ 0.0316 กรัม ลงในปิ๊กเกอร์ ทำการละลายด้วย Ethanol ความเข้มข้นร้อยละ 95 และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย Ethanol ความเข้มข้นร้อยละ 95

2. การเตรียมตัวอย่าง (ดัดแปลงจาก Sutharut และ Sudarat, 2012)

- 2.1) นำไรซ์บอლมาทำการปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง laboratory blender โดยแบ่งความเร็วในการปั่นออกเป็น 2 ระดับ คือ เริ่มต้นด้วยความเร็วต่ำ เป็นเวลา 30 วินาที และใช้ความเร็วสูง 30 วินาที
- 2.2) ชั่งไรซ์บอลที่ผ่านการปั่นให้ละเอียดแล้วปริมาณ 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 125 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเมธานอล 30 มิลลิลิตร
- 2.3) นำขวดรูปชมพู่ไปแช่ใน water bath with shaker ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส
- 2.4) นำสารละลายไปทำการหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 9,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
- 2.5) นำส่วนใสไปกรองด้วย vacuum pump โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.4 และ No.1
- 2.6) เก็บสารละลายที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

เปิดตัวอย่างสารสกัดปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเติม Ethanol ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 5.2 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ทำการบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ Blank โดยที่สารเหมือนกับสารที่เติมตอนวิเคราะห์ตัวอย่าง แต่เปลี่ยนจากการใช้ตัวอย่างสารสกัดเป็นน้ำกลั่น รายงานผลการทดลองในรูปของร้อยละของความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ (% Scavenging activity) โดยใช้สูตร

$$\% \text{ Scavenging activity} = \left(\frac{1 - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right) \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (ดัดแปลงจาก Benzie และ Strain, 1996)

1. การเตรียมสาร

1.1) 300 mM Acetate buffer pH 3.6

เปิด Acetic acid ปริมาตร 4.3 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ แล้วปรับให้ได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ชั่งสาร CH_3COONa ปริมาณ 0.6152 กรัม ลงในบีกเกอร์ ทำการละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร ทำการผสมสารละลายของ Acetic acid ปริมาตร 231.25 มิลลิลิตร กับสารละลายของ CH_3COONa ปริมาตร 18.75 มิลลิลิตร ทำการปรับ pH ให้ได้เท่ากับ 3.6 ด้วยสารละลายของ Acetic acid หรือ CH_3COONa

1.2) การเตรียมสาร 10 mM TPTZ ใน 40 mM HCl

เตรียม 40 mM HCl โดยเปิด HCl ปริมาตร 0.33 มิลลิลิตร แล้วนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร ทำการชั่งสาร TPTZ ปริมาณ 0.0781 กรัม ลงใน 40 mM HCl ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จะได้ TPTZ 10 mM ใน HCl 40 mM

1.3) การเตรียมสาร 20 mM FeCl_3

ชั่งสาร FeCl_3 ปริมาณ 0.0811 กรัม ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร

1.4) การเตรียมสารมาตรฐาน Trolox 250 $\mu\text{L}/\text{mL}$

ชั่ง Trolox ปริมาณ 0.0125 กรัม ลงในบีกเกอร์ ทำการละลายด้วย Ethanol ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร

2. การเตรียมตัวอย่าง (ดัดแปลงจาก Sutharut และ Sudarat, 2012)

2.1) นำไรซ์บอลมาทำการปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง laboratory blender โดยแบ่งความเร็วในการปั่นออกเป็น 2 ระดับ คือ เริ่มต้นด้วยความเร็วต่ำ เป็นเวลา 30 วินาที และใช้ความเร็วสูง 30 วินาที

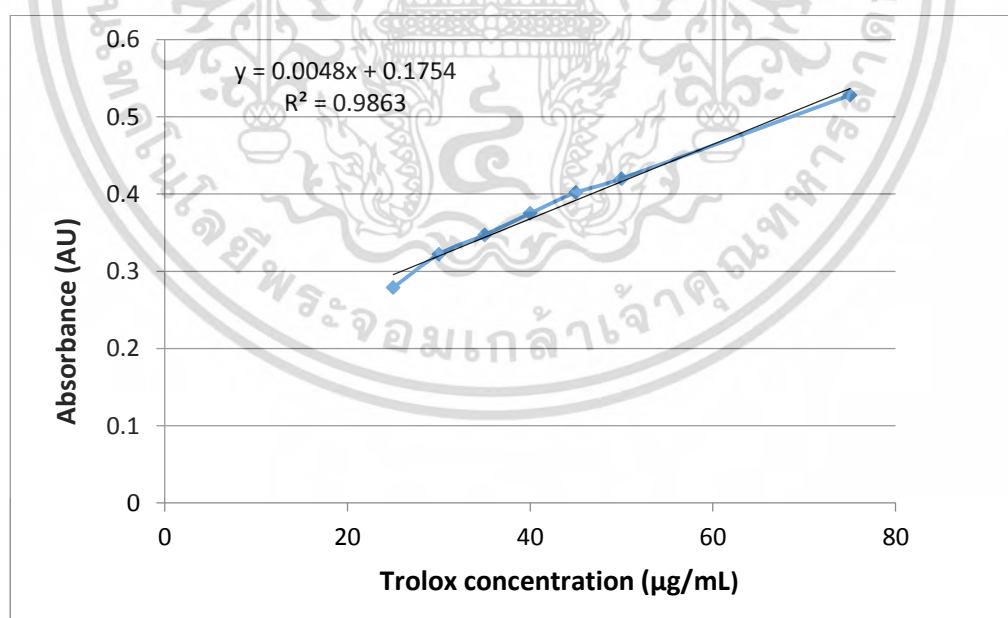
2.2) ชั่งไรซ์บอลที่ผ่านการปั่นให้ละเอียดแล้วปริมาณ 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 125 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเมธานอล 30 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษาด้านการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไม่เหมาะสมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.3) นำขบวนการผสมฟู่ไปแช่ใน water bath with shaker ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส
- 2.4) นำสารละลายไปทำการหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 9000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
- 2.5) นำส่วนใสไปกรองด้วย vacuum pump โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.4 และ No.1 ตามลำดับ
- 2.6) เก็บสารละลายที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

เปิดตัวอย่างสารสกัดปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติม FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ทำการบ่มในที่มืดเป็นเวลา 8 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้ Blank โดยที่สารเหมือนกับสารที่เติมตอนวิเคราะห์ตัวอย่าง แต่เปลี่ยนจากการใช้ตัวอย่างสารสกัดเป็นน้ำกลั่น



ภาพที่ภาคผนวก จ.1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox (µg/mL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณ

จากกราฟจะได้สมการ $y = 0.0048x + 0.1754$ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของโรซบอลได้เท่ากับ 0.485 ทำการแทนค่า 0.485 ในสมการเพื่อหาค่า x

$$y = 0.0048x + 0.1754$$

$$0.432 = 0.0048x + 0.1754$$

$$0.2566 = 0.0048x$$

$$x = 53.46 \mu\text{g Trolox eq./ 10 g sample}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.5 การวิเคราะห์หาปริมาณกลูโคซามีน (ดัดแปลงจาก Wu และคณะ, 2005)

1. การเตรียมสาร

1.1) 0.2 M Phosphate buffer pH 6.0

เตรียมสารละลาย 0.2 M monobasic sodium phosphate ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 31.2 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นละลาย 0.2 M dibasic sodium phosphate ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 71.7 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร นำสารละลาย 0.2 M monobasic sodium phosphate ปริมาตร 39.0 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.2 M dibasic sodium phosphate ปริมาตร 61.0 มิลลิลิตร

1.2) การเตรียมสารละลาย 0.8 % Ninhydrin

ชั่ง Ninhydrin 0.4 กรัม มาละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

2. การทำกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคซามีน

2.1) เตรียมสารละลาย Glucosamine Standard ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.035, 0.040, 0.045, 0.050, 0.055 และ 0.060 โดยการชั่งกลูโคซามีน 0.060 กรัม มาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จะได้ Glucosamine Standard ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.060 จากนั้นให้เจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ

2.2) ปิเปตสารละลายกลูโคซามีน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ทำการเติม 0.2 M phosphate buffer pH 6.0 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และ 0.8 % Ninhydrin ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex (เตรียม Blank โดยใช้ น้ำกลั่น แทนสารละลายกลูโคซามีน + 0.2 M phosphate buffer pH 6.0 และ 0.8 % Ninhydrin ปริมาตรตามที่กำหนด)

2.3) นำไปให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำเย็น เป็นเวลา 5 นาที และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที

2.4) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.2-1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

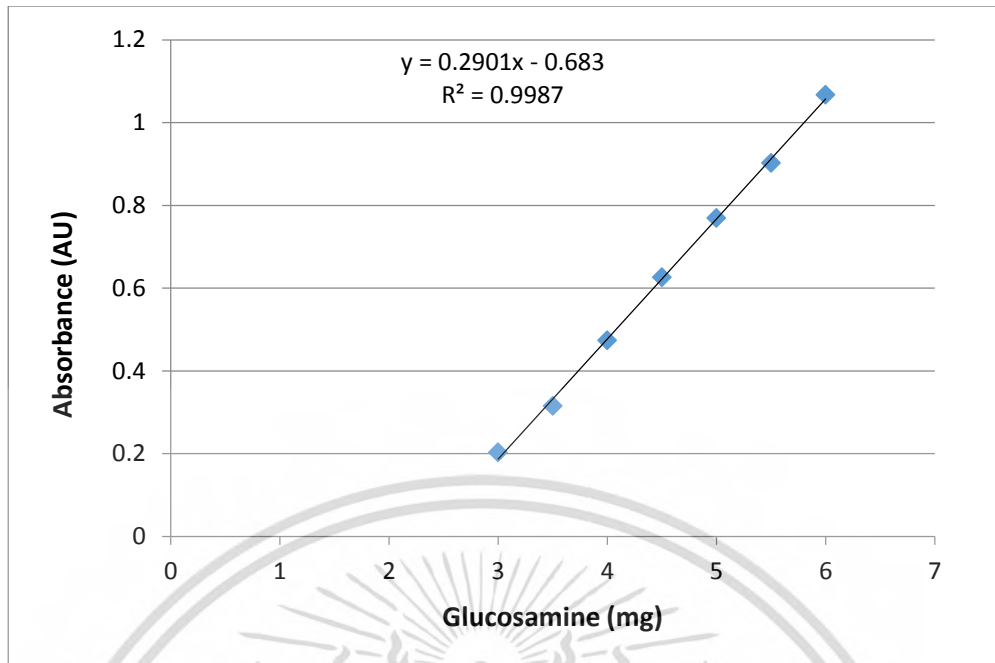
3. การเตรียมตัวอย่าง (ดัดแปลงจาก Sutharut และ Sudarat, 2012)

- 3.1) นำไรซ์บอลมาทำการปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง laboratory blender โดยแบ่งความเร็วในการปั่นออกเป็น 2 ระดับ คือ เริ่มต้นด้วยความเร็วต่ำ เป็นเวลา 30 วินาที และใช้ความเร็วสูง 30 วินาที
- 3.2) ชั่งไรซ์บอลที่ผ่านการปั่นให้ละเอียดแล้วปริมาณ 5.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 125 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
- 3.3) นำขวดรูปชมพู่ไปเขย่าโดยใช้เครื่อง Hot-plate stirrer เป็นเวลา 20 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส
- 3.4) นำสารละลายไปทำการหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 9000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
- 3.5) นำส่วนใสไปกรองด้วย vacuum pump โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.4 และ No.1 ตามลำดับ
- 3.6) เก็บสารละลายที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะวิเคราะห์

4. การวิเคราะห์หาปริมาณกลูโคซามีนของตัวอย่างไรซ์บอล

- 4.1) ปิเปตสารละลายของตัวอย่างที่ผ่านการสกัดกลูโคซามีน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ทำการเติม 0.2 M phosphate buffer pH 6.0 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และ 0.8 % Ninhydrin ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex (เตรียม Blank โดยใช้ น้ำกลั่นแทนสารละลายกลูโคซามีน และ 0.2 M phosphate buffer pH 6.0 และ 0.8 % Ninhydrin ปริมาตรตามที่กำหนด)
- 4.2) นำไปให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำเย็น เป็นเวลา 5 นาที และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที
- 4.3) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.2-1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ภาคผนวก จ.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคซามีน

วิธีการคำนวณ

จากกราฟจะได้สมการ $y = 0.2901x - 0.683$ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของไรซ์บอลได้เท่ากับ 0.631 ที่ระดับความเจือจาง 7 เท่า ทำการแทนค่า 0.631 ในสมการเพื่อหาค่า x

$$y = 0.2901x - 0.683$$

$$0.631 = 0.2901x - 0.683$$

$$1.314 = 0.2901x$$

$$x = 4.529 \text{ mg/ } 5.5 \text{ g sample}$$

นำไปคูณค่าความเจือจาง (4.529 mg/ 5.5 g sample)(7 เท่า) = 31.70 mg/ 5.5 g sample

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.6 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (AOAC, 2012)

1. การเตรียมสารเคมี

1.1) สารละลาย NaOH มาตรฐาน

การเตรียมสารละลาย NaOH 0.1 นอร์มอล (โดยประมาณ) ชั่ง NaOH 2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร นำไป standardize ด้วยสารละลายมาตรฐาน potassium phthalate ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)

วิธี standardize สารละลาย NaOH ทำโดยละลาย $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ที่ผ่านการอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นใน Desicator ปริมาณ 0.6000-0.7000 กรัม ในน้ำกลั่น 50-70 มิลลิลิตร หยดสารละลาย phenolphthalein 1% ในสารละลาย $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ จำนวน 2 หยด นำไปไตเตรทกับสารละลาย NaOH ที่บรรจุในบิวเรต จนกระทั่งสารละลายมีปฏิกิริยาเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนที่คงตัว โดยทำการไตเตรท 3 ครั้ง บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้

$$\text{Normality ของ NaOH} = \frac{\text{จำนวนกรัม KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 \times 1000}{\text{มิลลิลิตร NaOH} \times 204.229}$$

1.2) สารละลาย phenolphthalein 1%

ละลาย phenolphthalein 1 กรัม ในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 100 มิลลิลิตร

2. วิธีวิเคราะห์

2.1) ตวงน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 350 มิลลิลิตร เติมสารละลาย phenolphthalein 2-3 หยด

2.2) ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH จนได้สีชมพูจางๆ บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ซึ่งเป็นค่า blank

2.3) ชั่งตัวอย่างไรซ์บอลด้วยเครื่องชั่งละเอียดน้ำหนักประมาณ 25 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นประมาณ 250 มิลลิลิตร ทำการตีปั่นด้วยเครื่อง stomacher ดูดตัวอย่างปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ และหยดสารละลาย phenolphthalein 2-3 หยด

2.4) ไตเตรทด้วยสารละลาย NaOH จนได้สีชมพูจางๆ บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้โดยการทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5) กำหนดหาปริมาณกรดทั้งหมดในตัวอย่างอาหารดังนี้

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดแลคติก (\%)} = \frac{(V)(N)(\text{eq. wt})(100)}{(1000)(v)}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่ใช้ในการไตเตรต

N = Normality ของสารละลายมาตรฐาน NaOH

v = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)

eq.wt = น้ำหนักสมมูลของกรดเป็นกรัม (กรดแลคติกเท่ากับ 90 กรัม)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.7 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง

ชั่งตัวอย่างโรสบอลด้วยเครื่องชั่งละเอียดน้ำหนักประมาณ 25 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นประมาณ 250 มิลลิลิตร ทำการตีปั่นด้วยเครื่อง stomacher คูณตัวอย่างปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ และนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH-meter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.8 การวิเคราะห์หาความชื้น (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

- 1.) ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้
- 2.) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 3.) อลูมิเนียม แคน (Aluminium can)
- 4.) โถดูดความชื้น (Desicator)
- 5.) ที่คีบ (Tong)

วิธีการทดลอง

- 1.) นำอลูมิเนียมแคนไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำอลูมิเนียมแคนใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (4 ตำแหน่ง)
- 2.) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างโรซบอลที่ผ่านการบดแล้ว 3-5 กรัม (ทำ 3 ซ้ำ) โดยอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง โดยเปิดฝาอลูมิเนียมแคนไว้ เมื่อครบเวลาปิดฝาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
- 3.) อบตัวอย่างอีกครั้งจนน้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งไม่เกิน 1-2 มิลลิกรัม คำนวณหาร้อยละของปริมาณความชื้น ดังสมการ

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักสด}} \times 100$$

จ.9 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

- 1.) เตาอบไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (Furnace muffle)
- 2.) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 3.) ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)
- 4.) Hot plate
- 5.) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 6.) ที่คีบ (Tong)

วิธีการทดลอง

- 1.) เผาถ้วยกระเบื้องที่แห้ง และสะอาดในเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด บันทึก
- 2.) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 3-5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้อง
- 3.) เผาตัวอย่างบน Hot plate (ทำในตู้ดูดควัน) จนหมดควัน
- 4.) นำไปเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นสีขาวหรือสีเทา
- 5.) คีบถ้วยกระเบื้องจากเตาเผา ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน คำนวณหาร้อยละของปริมาณเถ้า ดังสมการ

$$\text{เถ้า (ร้อยละ)} = \frac{b-a}{w} \times 100$$

เมื่อ	b	=	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องกับน้ำหนักเถ้าหลังเผา
	a	=	น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง
	w	=	น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.10 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

- 1.) เครื่องย่อย (Digestion apparatus)
- 2.) เครื่องกลั่นในโตรเจน (Distillation apparatus)
- 3.) ขวดย่อยโปรตีน (Kjeldahl flask) พร้อม Rack
- 4.) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 5.) กระบอกตวง (Cylinder)
- 6.) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 7.) เม็ดกั้นเดือด (Boiling chip)
- 8.) ขาตั้ง (Stand) และบิวเรต (burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

- 1.) กรดซัลฟูริกเข้มข้น
- 2.) กรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2
- 3.) สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 0.1 นอร์มัล
- 4.) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 15 และร้อยละ 40
- 5.) ตัวเร่ง (Catalyst) (เตรียมจาก 1:10 ของ $\text{CuSO}_4 : \text{K}_2\text{SO}_4$)
- 6.) สารละลายอินดิเคเตอร์ร้อยละ 0.2 Methyl red 2 หยด และร้อยละ 0.1 Methylene blue 2 หยด

วิธีการทดลอง

- 1.) ชั่งตัวอย่าง 2-3 กรัม เติมตัวเร่ง 10 กรัม เพื่อเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อย กรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 3 ลูก ในหลอดย่อยโปรตีน
- 2.) นำหลอดย่อยโปรตีนใส่ใน Rack ไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อยโปรตีน ปิดฝาหลอดย่อยด้วย Exhaust system เปิดสวิตช์ชุดจับไอกรด แล้วจึงเปิดสวิตช์เครื่องย่อยโปรตีน ตั้งอุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส และค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 380 องศาเซลเซียส ย่อยจนได้สารละลายสีเขียวใส แล้วยก Rack ขึ้นพักไว้บน Stand ทิ้งให้เย็นโดยปล่อยให้ชุดจับไอกรดดูดควันจนหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.) เตรียมกรดบอริกในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 50 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปวางที่เครื่องกลั่นโปรตีน โดยให้ปลายท่อของเครื่องจุ่มอยู่ในกรดบอริก เพื่อให้กรดบอริกเป็นตัวจับแอมโมเนีย
- 4.) นำหลอดตัวอย่างที่ย่อยเสร็จแล้วมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่น โปรตีน โดยการทำงานของเครื่องจะมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 และน้ำกลั่น รองจนกลั่นเสร็จ
- 5.) นำขวดรูปชมพู่ที่ได้จากการกลั่นไปไตเตรทด้วยกรดกรดไฮโดรคลอริก จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีม่วงอ่อนหรือชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ คำนวณหาร้อยละของปริมาณโปรตีน ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{ไนโตรเจน (ร้อยละ)} &= \frac{0.014 \times N \times (A-B)}{w} \times 100 \\ \text{โปรตีน (ร้อยละ)} &= \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25 \end{aligned}$$

เมื่อ	N	=	นอร์มัลลิตีของกรดไฮโดรคลอริก
	A	=	ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง
	B	=	ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรท blank
	w	=	น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (กรัม)

หมายเหตุ : ควรล้างเครื่องทั้งก่อนและหลังใช้ทุกครั้ง

จ.11 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2012)

อุปกรณ์

- 1.) เครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus)
- 2.) อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน ประกอบด้วย
 - 2.1) ถ้วยสกัด (Extraction cup) พร้อม Rack
 - 2.2) ที่จับถ้วยสกัด (Extraction cup holder)
 - 2.3) ทิมเบิล (Thimble)
 - 2.4) ตัวล็อกทิมเบิล (Thimble holder)
 - 2.5) เครื่องควบคุมความร้อน
 - 2.6) เครื่องปั่นลม
 - 2.7) เครื่องทำความเย็น (Cooling tower)
- 3.) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 4.) กระดาษกรอง
- 5.) เม็ดกันเดือด (Boiling chip)
- 6.) ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้
- 7.) โถดูดความชื้น (Desiccator)

สารเคมี

- 1.) ปีโตรเลียม อีเทอร์ (Petroleum ether) ที่มีจุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส

วิธีการทดลอง

- 1.) อบถ้วยสกัดไขมันพร้อม boiling chip ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
 - 2.) ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้วบนกระดาษกรอง 1-2 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ห่อให้มิดชิด ใส่ในทิมเบิล แล้วต่อทิมเบิลกับตัวล็อกทิมเบิลในถ้วยสกัดไขมัน
 - 3.) ตวงตัวทำละลายปีโตรเลียมอีเทอร์ 150 มิลลิลิตรลงในถ้วยสกัดไขมัน
 - 4.) นำถ้วยสกัดไขมันมาต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5.) เมื่อเครื่องทำการสกัดไขมันเสร็จ นำด้วยสกัดไขมันมาให้ความร้อนบน Hotplate ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เพื่อให้ปีโตรเลียมอีเทอร์ระเหย
- 6.) นำด้วยสกัดไขมันมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยปีโตรเลียมอีเทอร์ที่หลงเหลืออยู่ออก ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักด้วยสกัดไขมัน บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
- 7.) อบตัวอย่างอีกครั้งจนน้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม คำนวณหาร้อยละของปริมาณไขมัน ดังสมการ

$$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของด้วยสกัดไขมันหลังสกัด} - \text{น้ำหนักของด้วยสกัดไขมันก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

จ.1 การตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

1. การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของแข็ง

เตรียมตัวอย่างโรซบอล จากนั้นใช้ช้อนสแตนเลสที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ตักโรซบอลลงในถุงพลาสติกที่ใช้สำหรับเข้าเครื่องตีปั่น ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 25 กรัม เติมน้ำยาเจือจาง 225 มิลลิลิตร ตีปั่นด้วยเครื่อง stomacher นาน 1 นาที ตัวอย่างที่ได้จะมีระดับการเจือจาง 1:10 (10^{-1})

2. การเตรียมน้ำยาเจือจางสำหรับเจือจาง **Buttlefield's phosphate buffered**

2.1 การเตรียมน้ำยาสต็อก

ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 34 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ 7.2 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร แล้วนำมาฆ่าเชื้อใน autoclave อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2.2 การเตรียม Dilution blank

ตวงสารละลายสต็อก 1.25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ตวงใส่ขวดที่มีปริมาตร 225 มิลลิลิตร (สำหรับเจือจางตัวอย่าง 25 กรัม) จากนั้นดูดปริมาตร 9 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองขนาด 12×150 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ด้วยเครื่อง autoclave

3. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

เปิดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ที่ระดับการเจือจาง 10^{-1} ทำซ้ำ 4 ซ้ำ ลงในแผ่นเพาะเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 3M Petrifilm™ Aerobic count plate (AC) ที่ศูนย์กลางของแผ่นเพาะเชื้อ จากนั้นค่อยๆ ปล่อยแผ่นฟิล์มลงมา ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ วางตัวกด (spreader) ลงบนแผ่นฟิล์มในบริเวณที่หยดตัวอย่าง ใช้นิ้วกดด้วยแรงพอประมาณจนตัวอย่างกระจายเต็มวงกลม รอประมาณ 1-2 นาที เพื่อให้เจลแข็งตัวก่อน เคลื่อนย้ายแผ่นฟิล์มไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามวิธี AOAC official method 986.33 และ 989.10 โดยให้ด้านที่ใส่อยู่บน ตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ รายงานผลเป็นจำนวน โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (CFU/g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นายศรายุทธ นิลกำแหง
วัน เดือน ปี เกิด	12 พฤศจิกายน 2537
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาประถมศึกษาตอนต้น-ตอนปลาย: โรงเรียนสุพรรณภูมิ สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น-ตอนปลาย: โรงเรียนนครนาค ศึกษาลัย จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2559
ประสบการณ์การทำงาน	นักศึกษาฝึกงาน บริษัท ไทยยูเนี่ยน กรุ๊ป จำกัด (มหาชน)
และผลงานวิจัย	ผลงานการวิจัย ขวัญชาติ พรมฮวด และศรายุทธ นิลกำแหง. 2560 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไรซ์บอล. ปัญหาพิเศษหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. Nilkamhaeng, S., Puechkamutr, Y., 2018, 1-2 February. The production of rice ball from black Jasmine rice using sodium alginate. Proceeding presented at International Conference on Food and Applied Bioscience, The Empress Hotel, Chiang Mai University, Chiang Mai.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้