การพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกเสริมใยอาหารจากเปลือกผลไม้

DEVELOPMENT OF PROBIOTIC FOOD PRODUCT SUPPLEMENTED WITH DIETARY FIBER FROM FRUIT PEELS

จิราภรณ์ จอมพงษ์
ณภัทร วงษ์อนันต์
ณัฐพล วัชรธัญญทิพย์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF PROBIOTIC FOOD PRODUCT SUPPLEMENTED WITH DIETARY FIBER FROM FRUIT PEELS

JIRAPORN JOMPONG
NAPAT WONGANAN
NATTHAPHON WATCHARATHANYATHIP

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL MICROBIOLOGY)
DEPARTMENT OF BIOLOGY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกเสริมใยอาหารจากเปลือกผลไม้ Development of probiotic food product supplemented with dietary fiber from fruit peels
ชื่อนักศึกษา	นางสาว จิราภรณ์ จอมพงษ์ รหัสนักศึกษา 56050969 นาย ณภัทร วงษ์อนันต์ รหัสนักศึกษา 56050984 นาย ณัฐพล วัชรธัญญทิพย์ รหัสนักศึกษา 56050990
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	ชีววิทยา
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุรีย์ นานาสมบัติ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.คนึงกานต์ กลั่นบุศย์ ประธานกรรมการ	
รศ.อารี ฤทธิบูรณ์ กรรมการ	
รศ.ดร.สุรีย์ นานาสมบัติ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
149550

หัวข้อโครงงานพิเศษ การพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกเสริมใยอาหารจากเปลือกผลไม้
ชื่อนักศึกษา นางสาว จิราภรณ์ จอมพงษ์ รหัสนักศึกษา 56050969
นาย ณภัทร วงษ์อนันต์ รหัสนักศึกษา 56050984
นาย ณัฐพล วัชรธัญญทิพย์ รหัสนักศึกษา 56050990
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชา ชีววิทยา
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2559
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรีย์ นานาสมบัติ

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้จำนวน 6 ชนิด โดยเปลือกเสาวรส เปลือกส้มเขียวหวานและเปลือกสับปะรด มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูง (ร้อยละ 64.95, 58.83 และ 46.86 ตามลำดับ) ซึ่งสูงกว่าเปลือกละมุด เปลือกทับทิมและเปลือกแอปเปิ้ล (ร้อยละ 45.94, 44.01 และ 30.99 ตามลำดับ) และทำการศึกษาผลของธัญชาติจำนวน 8 ชนิดได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวทับทิมชุมแพ ข้าวหอมมะลิ ข้าวสินเหล็ก ลูกเดือย ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสังข์หยดและข้าวโพดต่อการเจริญและการหมักของแบคทีเรียโพรไบโอติก *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis* และ *Streptococcus thermophilus* ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตข้าวโพดและโยเกิร์ตลูกเดือยเพิ่มจำนวนเร็วกว่าโยเกิร์ตธัญชาติชนิดอื่นๆ (มีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น 1.63 และ 1.37 log CFU ต่อกรัม ตามลำดับ) และในโยเกิร์ตลูกเดือยมีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากที่สุดหลังจากหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นอกจากนี้สารสกัดโยเกิร์ตข้าวโพดและโยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติชนิดอื่นๆ 0.27 และ 0.13 มิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อโยเกิร์ต 100 กรัม ตามลำดับ ด้วยวิธี Ferric reducing anti-oxidant power (FRAP) assay และมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเทียบเท่ากับ 47.52 และ 12.06 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัม ตามลำดับ ด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzo thiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay ขณะที่ในบรรดาสารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติทั้งหมดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดคือ สารสกัดโยเกิร์ตข้าวโพด (89.48 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัม) แต่สารสกัดโยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่ลูกเดือยและข้าวสังข์หยดมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูง (30.67, 18.25 และ 14.48 มิลลิกรัมของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัม ตามลำดับ) ซึ่งสูงกว่าในโยเกิร์ตชนิดอื่นๆ จากนั้นได้ทำการพัฒนาสูตรโยเกิร์ตธัญชาติผสมจำนวน 4 สูตร โดยได้ศึกษาผลของการเติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (ประกอบด้วยเปลือกเสาวรส สับปะรด ทับทิมและแอปเปิ้ล ในอัตราส่วน 1:1:1:1) ในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าในโยเกิร์ตสูตรเดียวกันที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม โยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรที่มีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดคือ โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3) ซึ่งประกอบด้วยธัญชาติ 6 ชนิดได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ร้อยละ 1.35) ข้าวทับทิมชุมแพ (ร้อยละ 1.35) ลูกเดือย (ร้อยละ 0.90) ข้าวบาร์เลย์ (ร้อยละ 0.90) ข้าวสังข์หยด (ร้อยละ 1.80) และข้าวโพด (ร้อยละ 2.70)

คำสำคัญ : กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ธัญชาติ ใยอาหารทั้งหมด โพรไบโอติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of probiotic food product supplemented with dietary fiber from fruit peels
Students	Miss Jiraporn Jompong Student ID 56050969
	Mr. Napat Wonganan Student ID 56050984
	Mr. Natthaphon Watcharathanyathip Student ID 56959990
Degree	Bachelor of Science (Industrial Microbiology)
Department	Biology
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Associate Professor Dr. Suree Nanasombat

Abstract

In this study, total dietary fiber content of six dried fruit peels was analyzed. Peels of passion fruit, tangerine fruit and pineapple fruit peel 64.95, 58.83 and 46.86% total dietary fiber respectively, which were higher than those of sapodilla, pomegranate and apple fruit peels (45.94, 44.01 and 30.99%, respectively). Effect of eight cereals types such as riceberry, tubtim chumphae rice, jasmine rice, sinlek rice, job's tear seed, barley, sangyod rice and corn on growth and fermentation of probiotic bacteria, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis* and *Streptococcus thermophiles* at 37°C for 24 hours was studied. The results showed that after 24 hours of fermentation total number of lactic acid bacteria in corn yogurt and job's tear yogurt increased more rapidly (1.63 and 1.37 log CFU/g increased respectively), compared to the yogurt samples made from other types of cereals, while total acidity in job's tear yogurt also increased to highest amount. In addition, extracts of corn yogurt and riceberry yogurt had higher antioxidant activity than those in other formulations (0.27 and 0.13 mmol Fe(II)/100 g yogurt by ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay, antioxidant activity of 47.52 and 12.06 mg trolox equivalents/100 g yogurt by 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay, respectively). Similarly, yogurt extract with the highest total phenolic compounds was corn yogurt (89.48 mg gallic acid equivalents/100 g yogurt), among all cereal yogurts. However, extracts of riceberry yogurt, job's tear yogurt and sangyod rice yogurt had higher total flavonoids (30.67, 18.25 and 14.48 mg catechin equivalents/100 g yogurt, respectively), compared to other cereal yogurts. Then, four

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

formulations of mixed cereal yogurt were developed, and effect of addition of mixed fruit peel powder (mixture of four dried fruit peels of passion fruit, pineapple, pomegranate and apple in the ratio of 1:1:1:1) in those four mixed cereal yogurt formulations during storage at 4°C was studied. Mixed cereal yogurt added with mixed fruit peel powder had higher number of total lactic acid bacteria and stronger antioxidant activity than those in mixed cereal yogurt of the same formulation without addition of mixed fruit peel powder. The formulation of mixed cereal yogurt that had the highest antioxidant activity was the formulation B(3) which contained six types of cereals such as riceberry (1.35%), tubtim chumphae rice (1.35%), job's tear seed (0.90%), barley (0.90%), sangyod rice (1.80%) and corn (2.70%),

Keywords : Antioxidant activity, Cereal, Probiotic, Total dietary fiber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาโครงงานพิเศษในหัวข้อเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกเสริมใยอาหารจากเปลือกผลไม้ของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ สาขาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาปราณีอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรีย์ นานาสมบัติ ที่ให้คำแนะนำ คำสั่งสอน คำตักเตือนตลอดจนได้ทำการถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ในการปฏิบัติงานที่ดีให้แก่คณะผู้จัดทำ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.คนึงกานต์ กลั่นบุศย์ ประธานกรรมการ และรศ.อารี ฤทธิบูรณ์ กรรมการการสอบโครงงานพิเศษที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบและชี้แนะในการแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์เรียบร้อยยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และนักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและกรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการให้ใช้เตาเผาความร้อนสูงเพื่อปฏิบัติงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และนักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้ใช้สถานที่เพื่อปฏิบัติงานวิจัยและอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาของคณะผู้จัดทำที่คอยเป็นกำลังใจ เป็นแรงผลักดันและให้คำปรึกษาในการทำโครงงานพิเศษนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้องทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ตักเตือน แสดงความคิดเห็นเป็นกำลังใจและเป็นมิตรภาพที่ดีตลอดมา

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานพิเศษฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านจุลชีววิทยาในอาหารหรือผู้ที่ต้องการศึกษาความรู้เพิ่มเติมในโครงงานพิเศษฉบับนี้

จิราภรณ์ จอมพงษ์
ณภัทร วงษ์อนันต์
ณัฐพล วัชรธัญญทิพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ผลไม้ (Fruits) 4
2.1.1 ทับทิม (Pomegranate) 5
2.1.2 ละมุด (Sapodilla) 5
2.1.3 ส้มเขียวหวาน (Tangerine) 6
2.1.4 สับปะรด (Pineapple) 7
2.1.5 เสาวรส (Passion fruit) 8
2.1.6 แอปเปิ้ล (Apple) 9
2.2 ธัญชาติ (Cereal) 10
2.2.1 ชนิดของธัญชาติ 10
2.2.1.1 ข้าว (Rice) 10
ก) โครงสร้างของเมล็ดข้าว 10
ข) องค์ประกอบทางเคมีของข้าว 12
ข.1 คาร์โบไฮเดรต 12
ข.1.1 สตาร์ช 12
ข.1.2 พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช 13
ข.1.3 น้ำตาลอิสระ 14
ข.2 โปรตีน 14
ข.3 ไขมัน 14
ค) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry) 15
ง) ข้าวทับทิมชุมแพ (Tubtim chumphae rice) 16
จ) ข้าวหอมมะลิ (Jasmin rice) 17
ฉ) ข้าวสินเหล็ก (Sinlek rice) 18
ช) ข้าวสังข์หยด (Sangyod rice) 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 ลูกเดือย (Job's tear seed) 19
2.2.1.3 ข้าวบาร์เลย์ (Barley) 20
2.2.1.4 ข้าวโพด (Corn) 21
2.2.2 โครงสร้างของเมล็ดธัญชาติ 23
2.2.2.1 เปลือกหุ้มผล (Pericarp) 23
2.2.2.2 เปลือกหุ้มเมล็ด (Testa) 23
2.2.2.3 ชั้นแอลิวโรนหรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (Aleurone layer) 23
2.2.2.4 เนื้อเมล็ด (Endosperm) 24
2.2.2.5 คัพภะ (Germ หรือ Embryo) 25
2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของธัญชาติ 25
2.2.3.1 คาร์โบไฮเดรต 25
ก) สตาร์ช 25
ข) เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพนโทแซน 25
ค) น้ำตาล 26
2.2.3.2 โปรตีน 26
2.2.3.3 ไขมัน 27
2.2.3.4 แร่ธาตุ 28
2.2.3.5 วิตามิน 28
2.3 โพรไบโอติก (Probiotic) 29
2.3.1 จุลินทรีย์ที่จัดเป็นโพรไบโอติก 29
2.3.1.1 แบคทีเรีย 29
2.3.1.2 ยีสต์ 30
2.3.1.3 รา 30
2.3.2 ประโยชน์ของโพรไบโอติกต่อสุขภาพ 30
2.4 พรีไบโอติก (Prebiotic) 30
2.4.1 ประโยชน์ของพรีไบโอติกต่อสุขภาพ 32
2.4.1.1 โรคกระเพาะและลำไส้อักเสบเฉียบพลัน 32
2.4.1.2 การลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง 33
2.4.1.3 การดูดซึมแร่ธาตุ 33
2.4.1.4 การควบคุมไขมัน 33
2.5 ใยอาหาร (Dietary Fiber) 33
2.5.1 ประโยชน์ของใยอาหารต่อสุขภาพ 34
2.5.1.1 ผลต่อระบบทางเดินอาหาร 34
2.5.1.2 ผลต่อการลดระดับคอเลสเตอรอล 35
2.5.1.3 ผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด 35
2.6 สารพฤกษเคมี (Phytochemical) 35
2.6.1 วิตามินซี 36
2.6.2 วิตามินอี 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 แคโรทีนอยด์ 37
2.6.4 กลูโคซิโนเลท 38
2.6.5 โพลีฟีนอล 38
2.6.5.1 กรดฟีนอลิก 38
2.6.5.2 ฟลาโวนอยด์ 39
2.6.5.3 ลิกแนน 40
2.6.5.4 แทนนิน 41
2.7 อนุมูลอิสระ (Free radicals) 42
2.7.1 สาเหตุการเกิดอนุมูลอิสระ 42
2.7.1.1 ไมโตคอนเดรียทำงานผิดปกติ 42
2.7.1.2 กระบวนการเมทาบอลิซึม 44
2.7.1.3 กรดอะมิโนที่มีฤทธิ์กระตุ้นเซลล์ประสาทและระบบสื่อประสาท ... 44
2.7.1.4 เมทาบอลิซึมของสารสื่อประสาท 44
2.7.1.5 สารพิษต่อเซลล์ประสาท 44
2.7.2 สภาวะเครียดจากกระบวนการออกซิไดซ์มากเกินไป (Oxidative stress) .. 44
2.7.3 โรคที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากเกินไป 45
2.8 สารต้านอนุมูลอิสระ 45
2.8.1 โทรล็อกซ์ (Trolox) 46
2.8.2 กรดแกลลิก (Gallic acid) 46
2.8.3 วิธีวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชัน 46
2.8.3.1 การวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay 46
2.8.3.2 การวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay 47
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 48
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 51
3.1 อุปกรณ์ 51
3.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง 51
3.1.2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 51
3.1.3 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการทดลอง 51
3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 51
3.1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 53
3.2 วิธีการทดลอง 54
3.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) 54
3.2.1.1 การเตรียมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ 54
3.2.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้. 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทั้งหมด 55
ข) วิเคราะห์หาปริมาณเถ้าทั้งหมด 56
3.2.2 การศึกษาผลของธัญชาติต่อการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกและสมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติ 57
3.2.2.1 การเตรียมผงธัญชาติ 57
3.2.2.2 เตรียมกล้าเชื้อสำหรับการหมักโยเกิร์ตธัญชาติ 57
3.2.2.3 การหมักโยเกิร์ตจากผงธัญชาติ 57
ก) วิเคราะห์หาค่าพีเอชในโยเกิร์ตธัญชาติ 58
ข) วิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ 58
ค) การวิเคราะห์หาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ 58
ง) วิเคราะห์สมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติ 59
ง.1 การเตรียมสารสกัดโยเกิร์ต 59
ง.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 59
ง.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 60
ง.4 การศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 60
ก) การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay 60
ข) การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay 61
3.2.3 ผลของผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมต่อคุณภาพของโยเกิร์ตธัญชาติผสม 61
3.2.3.1 วิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยหยาบ 64
3.2.3.2 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด 64
3.2.3.3 การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส 64
3.2.3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ 65
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 66
4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้ 66
4.2 การศึกษาผลของธัญชาติต่อการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกและสมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติ 68
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดและจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ 68
4.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ. 68
4.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ 69
4.2.2 วิเคราะห์สมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติ 73
4.2.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ 73
4.2.2.3 การศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติ 74
ก) การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay 74
ข) การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay 74
4.3 ผลของผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมต่อคุณภาพของโยเกิร์ตธัญชาติผสม 77
4.3.1 การศึกษาผลการเก็บรักษาโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม 77
4.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม 77
4.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม 78
4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม 81
4.3.3 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม 82
4.3.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 82
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 86
5.1 สรุปผลการวิจัย 86
5.2 ข้อเสนอแนะ 87
เอกสารอ้างอิง 88
ภาคผนวก 99
ภาคผนวก ก สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ 100
ภาคผนวก ข การเตรียมสารละลาย 101
ภาคผนวก ค การคำนวณ 111
ภาคผนวก ง การคัดเลือกสูตรโยเกิร์ตธัญชาติผสม 122
ภาคผนวก จ อื่นๆ 129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชข้าวเจ้าและข้าวเหนียว 13
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวาน 22
2.3 ลักษณะของเม็ดสตาร์ชในธัญชาติชนิดต่างๆ 24
2.4 ปริมาณกรดอะมิโนในเมล็ดธัญชาติชนิดต่างๆ 27
2.5 คำนิยามของโพรไบโอติก 29
2.6 ปริมาณอินนูลินและโอลิโกฟรุกโตสในพืช 31
2.7 ประเภทและแหล่งที่พบพรีไบโอติก 31
2.8 อนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้อง 43
3.1 เปลือกผลไม้และธัญชาติที่ใช้ในการทดลอง 52
3.2 สูตรธัญชาติในการเตรียมกล้าเชื้อเริ่มต้น 57
3.3 ค่าคงที่ของปริมาตรตัวอย่างที่จ่ายลงบน segment ที่นับโคโลนีทั้ง 2 ด้าน (ปริมาตรที่จ่าย 50 ไมโครลิตรต่อจาน) 59
3.4 ส่วนผสมที่ใช้ในการหมักโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม .. 62
4.1 แสดงผลปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้ 66
4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 70
4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติ 75
4.4 ค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมก่อนการหมักและระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 79
4.5 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมก่อนการหมักและระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 80
4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือก ผลไม้ผสม..... 83
4.7 องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม . 84
4.8 คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ผลของทับทิม 5
2.2 ผลของละมุด 6
2.3 ผลของส้มเขียวหวาน 6
2.4 ผลของสับปะรด 7
2.5 ผลของเสาวรส 8
2.6 ผลของแอปเปิ้ล 9
2.7 โครงสร้างและองค์ประกอบของเมล็ดข้าว 11
2.8 เม็ดสตาร์ชของข้าวจาก Scanning electron microscope (SEM) 12
2.9 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ 16
2.10 ข้าวทับทิมชุมแพ 17
2.11 ข้าวหอมมะลิ 17
2.12 ข้าวสินเหล็ก 18
2.13 ข้าวสังข์หยด 19
2.14 ลูกเดือย 20
2.15 ข้าวบาร์เลย์ 21
2.16 ข้าวโพด 21
2.17 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก 38
2.18 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์ 39
2.19 โครงสร้างของสารจำพวกลิกแนน 41
2.20 การเกิด oxidative stress ในร่างกาย 45
2.21 ปฏิกิริยาของ FRAP assay 47
2.22 ปฏิกิริยาของ ABTS assay 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันผู้บริโภคทั่วโลกมีความตระหนักมากขึ้นเกี่ยวกับความสำคัญของอาหารต่อสุขภาพและมีการศึกษาทางด้านโภชนาการที่ดีขึ้น ในปัจจุบันนี้มนุษย์เราไม่ได้รับประทานอาหารเพื่อตอบสนองความหิวโหยเท่านั้น แต่ยังคำนึงถึงประโยชน์ของสารอาหารที่ร่างกายจะได้รับเช่น เพื่อป้องกันโรคเรื้อรังที่อาจเกิดขึ้นกับร่างกายและช่วยในการบำรุงสุขภาพและจิตใจของผู้บริโภคให้ดียิ่งขึ้นด้วย ด้วยเหตุนี้อาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของอาหารปกติที่มีผลนอกเหนือไปจากหน้าที่ของโภชนาการพื้นฐานเช่น ให้ประโยชน์ทางสรีรวิทยา (physiological benefit) และช่วยลดการเกิดโรคเรื้อรัง (Martins และคณะ, 2013) อาหารเพื่อสุขภาพจึงมีบทบาทสำคัญ ความต้องการซื้ออาหารเพื่อสุขภาพมารับประทานสามารถสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายด้านการดูแลสุขภาพ โดยเฉพาะประชากรผู้สูงอายุมีความสนใจเพิ่มขึ้นในการดูแลสุขภาพด้วยการรับประทานอาหาร (Siró และคณะ, 2008) ซึ่งในปัจจุบันนมถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพได้แก่ ผลิตภัณฑ์นมหมักโพรไบโอติกชนิดต่างๆ ความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพเหล่านี้ทำให้เกิดความจำเป็นที่จะต้องผลิตผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกที่ไม่ใช้นมเป็นส่วนประกอบ ผลงานก่อนหน้านี้มีรายงานว่าเครื่องดื่มเช่น น้ำผักและน้ำผลไม้อาจจะเป็นกลุ่มต่อไปของการนำมาผลิตอาหารเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับการส่งถ่ายเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก (Martins และคณะ, 2013) นอกจากนี้ธัญชาติยังมีสารอาหารที่มีศักยภาพช่วยในการอยู่รอดของเชื้อเนื่องจากมีสารอาหารที่ช่วยกระตุ้นการเจริญของโพรไบโอติกแล้วยังมีความเชื่อมโยงเกี่ยวกับการลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรังเช่น โรคอ้วน โรคหัวใจ โรคเบาหวานชนิดที่ 2 และมะเร็งบางชนิด ดังนั้นการใช้ธัญชาติเป็นวัตถุดิบจึงมีศักยภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกชนิดใหม่ๆที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Wang และคณะ, 2014)

ธัญชาติ (cereal) เป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพชนิดหนึ่งที่กำลังเป็นที่นิยมเนื่องด้วยคุณสมบัติของธัญชาติที่ให้พลังงาน มีโปรตีนคุณภาพสูง มีกรดอะมิโนสำคัญที่จำเป็นต่อร่างกาย เป็นแหล่งใยอาหารทั้งชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ อีกทั้งยังมีวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกาย ธัญชาติทั้งเมล็ด (whole grain cereals) เป็นแหล่งที่ดีของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งรวมถึงอนุพันธ์ของกรดเบนโซอิกและกรดซินนามิก แอนโทไซยานิน คิวนิน ฟลาโวนอล (flavonols) ชาลโคน (chalcones) ฟลาโวน (flavones) ฟลาวาโนน (flavanones) และสารประกอบอะมิโนฟีนอล (Masisi และคณะ, 2016) สารพฤกษเคมีเหล่านี้ได้รับการยอมรับว่ามีส่วนช่วยส่งเสริมสุขภาพโดยรวมผ่านความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Fardet และคณะ, 2008) นอกจากนี้ธัญชาติทั้งเมล็ดยังมีสารอาหารเช่น วิตามินอี กรดฟีนอลิก สังกะสี เหล็ก ซีลีเนียม ทองแดง แมงกานีส แคโรทีนอยด์ กรดไฟติก (phytic acid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิกนินและอัลคิลเรซอสินอล (alkylresorcinols) ซึ่งทั้งหมดอาจมีผลในการต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายผ่านการปรับปรุงปฏิกิริยารีดอกซ์ในเนื้อเยื่อต่างๆ (Slavin และคณะ, 1999) จากประโยชน์ของธัญชาติดังกล่าวจึงน่าสนใจที่จะนำธัญชาติเช่น ข้าว ข้าวโพด บาร์เลย์ และลูกเดือยซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปมาเป็นวัตถุดิบหลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติก

โพรไบโอติกหมายถึง จุลินทรีย์ที่มีชีวิตซึ่งเมื่อรับประทานในปริมาณที่พอเหมาะจะมีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค (FAO/WHO, 2002) องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติและองค์การอนามัยโลก (FAO/WHO, 2002) ได้กล่าวว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกที่ใส่ในอาหารต้องมีชีวิตรอดผ่านไปถึงลำไส้ได้ กล่าวคือต้องมีความสามารถในการทนต่อกรดในกระเพาะอาหารและการสัมผัสกับน้ำดีได้ นอกจากนี้แบคทีเรียโพรไบโอติกจะต้องสามารถเพิ่มจำนวนและอาศัยในระบบทางเดินอาหารได้ เชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้เป็นโพรไบโอติกคือจุลินทรีย์ในกลุ่ม lactic acid bacteria (เช่น *Lactobacillus*, *Enterococcus*) และแบคทีเรียในสกุล *Bifidobacterium* (FAO/WHO, 2001; Holzapfel และคณะ, 2001) ประโยชน์ของแบคทีเรียโพรไบโอติกที่มีต่อสุขภาพของผู้บริโภคคือ การรักษาโรคติดเชื้อรวมถึงโรคท้องร่วงจากเชื้อไวรัสหรือแบคทีเรียและโรคอักเสบเรื้อรัง เช่น โรคลำไส้อักเสบ (ulcerative colitis) และป้องกันการอักเสบหลังการผ่าตัดลำไส้ใหญ่ (pouchitis) กลไกและประสิทธิภาพของโพรไบโอติกมักจะขึ้นอยู่กับการมีปฏิสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ที่เฉพาะเจาะจง (microbiota) ของผู้บริโภค (host) หรือกับเซลล์ภูมิคุ้มกันที่มีคุณสมบัติของเยื่อเมือกในลำไส้ (Guarner และ Malagelada, 2003) ซึ่งการที่จะทำให้แบคทีเรียโพรไบโอติกมีประสิทธิภาพหรือช่วยการส่งเสริมการเจริญและอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกสามารถทำได้โดยให้ทำงานร่วมกับพรีไบโอติก (prebiotic) โดย Gibson และคณะ (2004) ได้ให้คำนิยามของพรีไบโอติกไว้ว่าเป็นอาหารซึ่งร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้และไม่ถูกดูดซึมได้ในระบบทางเดินอาหารแต่จะถูกย่อยด้วยแบคทีเรียบริเวณลำไส้ใหญ่ โดยจะกระตุ้นการทำงานและส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โพรไบโอติกและทำให้สุขภาพของผู้บริโภคดีขึ้น (Gibson และคณะ, 2004; Roberfroid, 2007) สารที่จัดเป็นพรีไบโอติกเช่น ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ทรานส์-กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ อินนูลิน รวมทั้งใยอาหาร (dietary fiber) โดยใยอาหารเป็นส่วนประกอบสำคัญของอาหารเพื่อสุขภาพและมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับสุขภาพของมนุษย์ซึ่งได้รับการยืนยันจากชุมชนวิทยาศาสตร์ (Kaczmarczyk และคณะ, 2012) แต่เป็นเรื่องยากที่จะหาคำจำกัดความที่เหมาะสำหรับใยอาหาร เนื่องจากมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเคมีและสรีรวิทยาแตกต่างกันตามที่สมาคม American Association of Cereal Chemists ได้กล่าวไว้ (American Association of Cereal Chemists – AACC, 2001) ใยอาหารประกอบด้วย โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ลิกนิน (lignin) resistant starch แทนนิน (tannins) และสารที่เกี่ยวข้องกับพืช ใยอาหารมีสองประเภทคือ ประเภทที่ละลายน้ำได้เช่นเพกติน (pectin) กัม (gums) เมือก (mucilage) และเฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) บางชนิด และประเภทที่ไม่ละลายน้ำเช่น เซลลูโลส (cellulose) เฮมิ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลส (hemicelluloses) และลิกนิน (lignin) (Elleuch และคณะ, 2011; Mudgil และ Barak, 2013)

ปัจจุบันเปลือกผลไม้เหลือทิ้งจำนวนมากจากการรับประทานและจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ผลไม้เช่น เปลือกเสาวรส เปลือกส้ม เปลือกสับปะรดหรือเปลือกเงาะ ที่เหลือทิ้งจากโรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง โดยมีวิจัยของ do Espírito Santo และคณะ (2012) ได้รายงานว่าผงเปลือกเสาวรสแห้งสายพันธุ์สีเหลือง (yellow cultivar) จากประเทศบราซิลอุดมไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆมากมายเช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้าและความชื้นรวมทั้งใยอาหาร นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ de Moraes Crizel และคณะ (2013) รายงานว่าเปลือกส้มแห้งสายพันธุ์ส้มเกลี้ยง (*Citrus sinensis*) จากประเทศบราซิลมีองค์ประกอบทางเคมีเช่น ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรตและใยอาหารและยังมีรายงานว่าผงเปลือกทับทิมแห้งทั้งหมด 12 สายพันธุ์จากประเทศตูนิเซียมีสารประกอบฟีนอลิก และสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ (Hasnaoui และคณะ 2014) ดังนั้นจึงน่าสนใจที่จะนำเปลือกผลไม้ที่มีใยอาหารสูงจากการเหลือทิ้งมาเติมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากธัญชาติ เพื่อศึกษาผลต่อการเจริญและการอยู่รอดระหว่างการเก็บรักษาของเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในเปลือกผลไม้

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางพฤกษเคมี สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียกรดแลคติกในโยเกิร์ตธัญชาติ

1.2.3 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกให้มีคุณค่าทางโภชนาการและมีประโยชน์เหมาะสำหรับคนทุกเพศทุกวัย

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในเปลือกผลไม้ และทำการศึกษาผลของผงธัญชาติต่อการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกและคุณสมบัติทางพฤกษเคมี เพื่อคัดเลือกและนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผสมที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกที่ได้จากเปลือกผลไม้ ทราบถึงผลของผงธัญชาติต่อการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกและคุณสมบัติทางพฤกษเคมีเช่น สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติผสม รวมทั้งได้นำเปลือกผลไม้ที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากการรับประทานมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลไม้ (Fruits)

ผลไม้เป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิตจำพวกพืช มีลักษณะทรงกลมหรือทรงรีตามแต่ละสายพันธุ์ ผลไม้จะมีเปลือกหรือสิ่งที่ห่อหุ้มเนื้อที่อยู่ข้างในมักนำมาทำเป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ ส่วนการเจริญเติบโตสามารถขยายพันธุ์ได้โดยดอก เมล็ด หรือส่วนอื่นๆ ซึ่งผลไม้ที่ออกมาตอนแรกจะมีขนาดเล็กแต่เมื่อเติบโตจนสุกงอมจะมีลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิมคือ เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง มีกลิ่นหอมและรสหวาน เป็นต้น จนสามารถนำมารับประทานหรือประกอบอาหารได้ ส่วนมากมักจะนำมาทำเป็นอาหารหวาน ถ้าผลไม้สุกงอมเต็มที่จะมีลักษณะที่ก่อให้เกิดประโยชน์น้อยลงเช่น เน่าเสีย บูด ขึ้นรา เป็นต้น และจะหลุดร่วงจากต้นลงสู่พื้นดินหรือพื้นน้ำกลายเป็นอาหารให้แก่ห่วงโซ่อาหารลำดับถัดไปเช่น แบคทีเรีย ยีสต์ รา จนกลายเป็นอินทรีย์ธาตุหรืออนินทรีย์ธาตุหมุนเวียนเป็นวัฏจักรต่อไป (พรทิพย์, 2553)

ผลไม้ชนิดต่างๆจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ต่างกัน (ระหว่างร้อยละ 1.5 ถึง 2.6) ในผลไม้สุกจะไม่มีพวกสตาร์ช โดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสเป็นหลัก ซึ่งมักจะอยู่ในสัดส่วนที่เท่ากันยกตัวอย่างเช่น ในแอปเปิ้ลและลูกแพร์พบว่ามีน้ำตาลฟรุกโตสปริมาณมาก ส่วนในแอปริคอทและลูกพีชมีน้ำตาลซูโครสมาก นอกจากนี้ทั้งผักและผลไม้ยังประกอบไปด้วยเส้นใยอาหารรวมทั้งกรดอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งในผลไม้สุกจะผลิตรสเปรี้ยวระหว่างการสุก โดยความเข้มข้นของกรดจะลดลงและปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น ส่วนวิตามินซีนั้นจะพบอยู่ในผลไม้สด แต่สตรอเบอร์รี่และผลไม้จำพวกซิตรัสโดยเฉพาะในกีวีจะเป็นแหล่งของวิตามินเช่น ในกีวีหรือส้มขนาดกลางจะประกอบด้วยวิตามินที่ต้องการในชีวิตประจำวันสำหรับผู้ใหญ่ทั่วไป สำหรับในแอปเปิ้ลและลูกพีชมีปริมาณวิตามินซีในระดับปานกลางซึ่งสามารถให้วิตามินในปริมาณที่สมควรเมื่อรับประทานในปริมาณที่เพียงพอ (Lintas, 1992)

โดยการกินผลไม้ให้ได้ประโยชน์ควรกินในเวลาท้องว่างถึงจะดี ทั้งนี้ผลไม้เป็นอาหารที่ย่อยง่ายที่สุด ซึ่งจะอยู่ในกระเพาะช่วงเวลาสั้นๆเพียง 30 นาทีก็ผ่านไปถึงลำไส้เพื่อดูดซึมอาหารได้แล้วอาจเป็นเพราะว่าสารอาหารต่างๆอยู่ในผลไม้ในสภาพที่ย่อยมาแล้วจึงไม่ต้องเสียเวลาย่อยในกระเพาะอีก เนื่องจากการย่อยอาหารเป็นระบบในร่างกายที่ใช้พลังงานมากที่สุด ดังนั้นการกินผลไม้ให้ได้ประโยชน์ประหยัดพลังงานและช่วยล้างพิษควรกินในขณะท้องว่าง หากกินพร้อมหรือหลังอาหารอื่นทันทีผลไม้จะถูกกักอยู่กับอาหารอื่นๆที่กระเพาะ เมื่อต้องรอนานน้ำตาลและแป้งในผลไม้ที่ผสมปนเปกับอาหารอื่นๆอาจเกิดการบูดเสียขึ้นในกระเพาะทำให้ท้องไส้ปั่นป่วนได้ เมื่อสารอาหารในผลไม้ย่อยง่ายหรืออยู่ในสภาพที่ร่างกายจะใช้ได้โดยตรงแล้ว ผลไม้ก็ควรผ่านกระเพาะไปสู่ลำไส้ให้เร็วที่สุด (นิดดา และทวีทอง, 2550) โดยตัวอย่างของผลไม้ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายยกตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ทับทิม (Pomegranate)

รูปที่ 2.1 ผลของทับทิม
ที่มา : https://www.pinterest.com (20 ตุลาคม 2559)

ทับทิมมีชื่อสามัญคือ Pomegranate ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Punica granatum* L. var. granatum จัดอยู่ในวงศ์ Punicaceae ชื่อตามท้องถิ่นทางภาคเหนือของไทยเรียกทับทิมว่า หมากจัง และบะก๊อ ภาคอีสานเรียกว่า บักพิลา ทับทิมมีถิ่นกำเนิดอยู่แถบเอเชียตะวันตกติดกับทวีปยุโรปตอนใต้ ต่อมาทับทิมได้แพร่กระจายออกไปปลูกกันมากทั้งในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนของทวีปยุโรปและแอฟริการวมทั้งทวีปเอเชีย ทับทิมเป็นไม้พุ่มโปร่ง มีหนามแหลม ใบรูปวงรีเป็นใบเดี่ยว ใบอ่อนมีสีแดง ออกดอกเป็นดอกเดี่ยวหรือช่อ 2-5 ดอก กลีบดอกสีส้ม กลีบเลี้ยงหนาแข็งสีส้มแกมเหลือง ผลของทับทิมมีรูปร่างค่อนข้างกลม ก้นผลมีกลีบเลี้ยงติดอยู่ 5-7 แฉก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล 8-9 เซนติเมตร เปลือกทับทิมอ่อนมีสีเขียวส่วนทับทิมแก่เปลือกจะมีสีเหลืองอมแดง กลีบเลี้ยงที่อยู่ก้นผลก็จะเล็กลง จะเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับกลีบเลี้ยงของผลทับทิมอ่อน ทับทิมจะมีความหวานเพิ่มมากขึ้นและเปรี้ยวน้อยลงเมื่อผลแก่เต็มที่ ภายในผลแบ่งออกเป็น 5 ช่องในแต่ละช่องมีเมล็ดรูปร่างเป็นเหลี่ยมอัดเต็มแน่น เนื้อที่หุ้มเมล็ดมีลักษณะใสสีแดง สีชมพูและสีขาวชมพูคล้ายๆพลอยสีแดง เนื้อของทับทิมมีน้ำมากรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยว ทับทิมให้ผลผลิตมากในเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ ปลูกมากที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ตาก และนครราชสีมา โดยประโยชน์ของทับทิมมีมากมาย ถ้าในเนื้อทับทิมจะมีวิตามินซีช่วยป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน ส่วนน้ำทับทิมมีฤทธิ์แก้กระหายลดอุณหภูมิในร่างกายและเปลือกของทับทิมมีสารแทนนินซึ่งเป็นสารฝาดสมานใช้สำหรับบรรเทาอาการท้องเสีย (นิดดา และทวีทอง, 2550)

2.1.2 ละมุด (Sapodilla)

ละมุดไทยหรือละมุดสีดามีชื่อสามัญคือ Sapodilla ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Manilkara zapota* (L.) P.Royen จัดอยู่ในวงศ์ Sapotaceae ละมุดมีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนได้แก่ ประเทศเม็กซิโก อเมริกากลาง อเมริกาใต้และหมู่เกาะอินเดียตะวันออก ซึ่งภายหลังก็ได้กระจายไปในประเทศต่างๆจนกระทั่งมาถึงประเทศไทย ละมุดเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางไม่ผลัดใบ มีลำต้นสูงประมาณ 5-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตร แตกกิ่งตั้งแต่ระดับล่างของลำต้น ลำต้นมีกิ่งและใบมาก กิ่งมีลักษณะเหนียวไม่หักง่าย ใบละมุดจะแตกออกบริเวณปลายกิ่ง มีลักษณะรีค่อนข้างหนาและสีเขียวเข้ม มีปลายแหลมเล็กน้อย ขนาดของใบยาวประมาณ 10-15 เซนติเมตร แผ่นใบด้านบนค่อนข้างเป็นมัน ส่วนใต้ใบสีอ่อนกว่า ดอกละมุดเป็นดอกสมบูรณ์เพศที่มีเกสรทั้ง 2 ชนิดในดอกเดียวกัน ดอกละมุดมีขนาดเล็กประมาณ 1 เซนติเมตร

รูปที่ 2.2 ผลของละมุด
ที่มา : https://www.pinterest.com (20 ตุลาคม 2559)

ละมุดจะมีกลีบเลี้ยง 2 ชั้นแต่ละชั้นมี 3 กลีบ ด้านในมีเกสรตัวผู้ 6 อันและมีรังไข่อยู่เหนือกลีบดอก ผลของละมุดมีขนาดกลาง เปลือกสีน้ำตาล เนื้อหนา เมื่อแก่จัดผิวจะเป็นสีน้ำตาลอมเหลืองเนื้อด้านในเป็นสีน้ำตาลอมแดงและมีรสหวานเย็น ฤดูกาลของละมุดเริ่มต้นในเดือนพฤศจิกายนเรื่อยไปจนถึงเดือนมกราคม แหล่งเพาะปลูกสำคัญอยู่ที่เกาะยอ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา และอำเภอศรีวิไล จังหวัดหนองคาย ละมุดเป็นผลไม้กินสุกสามารถกินกับไอศกรีมหรือนำมาทำน้ำละมุดปั่นก็ได้ ส่วนต้นละมุดนั้นมียางที่นำไปใช้ในการผลิตหมากฝรั่ง โดยเนื้อละมุดสุกอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามินซี ไนอะซิน วิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 อีกทั้งมีเส้นใยอาหารสูงและผลของละมุดดิบเนื้อจะแข็ง มียางสีขาว ซึ่งมีสาร gutta ช่วยสมานแผลในกระเพาะอาหารได้ (นิดดา และทวีทอง, 2550)

2.1.3 ส้มเขียวหวาน (Tangerine)

รูปที่ 2.3 ผลของส้มเขียวหวาน
ที่มา : https://www.pinterest.com (20 ตุลาคม 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส้มเขียวหวานมีชื่อสามัญคือ Tangerine ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Citrus reticulate* Blanco จัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae ภาษาสเปนเรียกส้มเขียวหวานว่า Mandarin ส้มเขียวหวานชนิด Tangerine เป็นพันธุ์หนึ่งของส้ม Mandarin ส้มเขียวหวานพันธุ์บางมดเป็นส้มสายพันธุ์หนึ่งที่โด่งดัง ปลูกเป็นการค้าที่แขวงบางมด เขตราษฎร์บูรณะและเขตบางขุนเทียนมีมานานกว่า 80 ปีแล้ว ลักษณะโดดเด่นคือ “รสหวาน ชานนิ่ม” มีลายขี้มดคล้ายน้ำหมากที่ผิวส้มเพราะปล่อยให้ไรสนิมลงส้มอยู่พักหนึ่งเพื่อให้ส้มฉ่ำน้ำ แต่ก่อนส้มเขียวหวานปลูกมากแถวอำเภอบางกรวยและบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี แต่เกิดปัญหาผลแตกร่วงกันมากจึงย้ายถิ่นมาปลูกที่บางมด ปรากฏว่าได้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพรสชาติเยี่ยม ส้มบางมดจึงโด่งดังตั้งแต่นั้นมา ปัจจุบันส้มเขียวหวานสายพันธุ์ใหม่ๆเกิดขึ้นมากมายเช่น ส้มรังสิต ส้มโชกุน ส้มสีทอง ส้มสายน้ำผึ้ง เป็นต้น ส้มเขียวหวานเป็นส้มชนิดเปลือกล่อน มีรกหุ้ม ปอกง่าย มีคุณค่าทางอาหารสูงมีทั้งแคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โซเดียม โพแทสเซียม วิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินบีรวม เนื้อส้มช่วยเจริญอาหาร ส่วนวิตามินซีในส้มช่วยรักษาโรคเหงือกและซ่อมแซมเนื้อเยื่อได้ นอกจากนี้ชานส้มยังช่วยขับถ่ายและป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ได้และเปลือกส้มมีน้ำมันหอมระเหยที่นำมาใช้ทำเป็นยาบำรุงใช้ทาหน้าป้องกันและรักษาสิวฝ้าได้ (นิดดา และทวีทอง, 2550)

2.1.4 สับปะรด (Pineapple)

รูปที่ 2.4 ผลของสับปะรด
ที่มา : https://www.pinterest.com (20 ตุลาคม 2559)

สับปะรดมีชื่อสามัญคือ Pineapple ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Ananas comosus* (L.) Merr. จัดอยู่ในวงศ์ Bromeliaceae สับปะรดเป็นพืชล้มลุกสูงเต็มที่ได้ประมาณ 1 เมตร ลำต้นจะอยู่ใต้ดิน ใบมีสีเขียวอ่อนหรือสีเขียวอ่อนปนแดงแล้วแต่ละพันธุ์ ใบหนาและแข็งมีหนามที่ขอบใบ ปลายใบแหลมเป็นกาบซ้อนกันอยู่รอบลำต้น หลังใบมีนวลสีขาว ดอกจะงอกขึ้นมาตรงกลางระหว่างพุ่ม ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสับปะรดประกอบด้วยดอกเล็กๆสีแดงจำนวน 100-200 ดอก รอบผลจะมีตาสีเขียวมากมายเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผล 10-14 เซนติเมตร เนื้อด้านในมีสีเหลือง ฉ่ำน้ำ รสหวานและหวานอมเปรี้ยว สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียหรือที่รู้จักกันในนาม “สับปะรดศรีราชา” ขนาดผลปานกลางถึงใหญ่ ทรงกระบอก ปลายผลมีจุก ตาแบนเรียบ ผิวเปลือกระหว่างขอบตามีสีเขียวเข้ม เมื่อแก่จัดเป็นสีน้ำตาลอมแดง เนื้อแน่นละเอียด รสหวานฉ่ำ กลิ่นหอม กลางผลมีไส้แข็ง โดยประโยชน์ของสับปะรดมีมากมายเช่น ถ้าในเนื้อสับปะรดจะมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โซเดียม โพแทสเซียม วิตามินเอ แมกนีเซียมและวิตามินซี นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ bromelain ช่วยในการย่อยโปรตีน จึงมีการใส่น้ำสับปะรดในการหมักเนื้อเพื่อให้เนื้อนุ่ม นอกจากนี้ bromelain ยังช่วยปรับสภาพของเหลวต่างๆในร่างกายให้เป็นกลางและกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนของตับอ่อนให้ทำงานปกติ อีกทั้งยังช่วยแก้อาการท้องผูก ขับถ่ายไม่สะดวก ช่วยลดเสมหะในลำคอ ช่วยรักษาโรคนิ่ว ช่วยรักษาโรคความดันโลหิตสูง ช่วยบรรเทาอาการของโรคบิด ช่วยบรรเทาอาการร้อน กระสับกระส่าย หิวน้ำ ช่วยลดอัตราความเสี่ยงจากการเกิดโรคมะเร็ง ช่วยให้เลือดลมไหลเวียนได้ดีมากขึ้น และช่วยในการย่อยอาหารจำพวกโปรตีนได้ (นิดดา และทวีทอง, 2550)

2.1.5 เสาวรส (Passion fruit)

รูปที่ 2.5 ผลของเสาวรส
ที่มา : https://www.pinterest.com (20 ตุลาคม 2559)

เสาวรสมีชื่อสามัญคือ Passion fruit มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Passiflora laurifolia* L. จัดอยู่ในวงศ์ Passifloraceae และมีชื่อท้องถิ่นมีหลายชื่อเช่น กะทกรกฝรั่ง กะทกรกยักษ์ กะทกรกสีดาและผลตัณหา มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาใต้แถบประเทศบราซิล ปารากวัย และอาร์เจนตินา เสาวรสเป็นไม้เถาเลื้อยขนาดกลางสามารถเลื้อยได้ยาวถึง 14 เมตร ชอบอากาศที่มีความชื้นปานกลาง ผลอวบเป็นรูปไข่หรือกลมแล้วแต่ละพันธุ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผล 4.0-7.5 เซนติเมตร ผลอ่อนเป็นสีเขียว ผลแก่มีผิวสีเขียวเข้ม สีเขียวอมม่วง สีม่วง สีเหลือง สีม่วงอมแดง หรือสีส้มอมน้ำตาล เปลือกผลเรียบมี 3 ชั้นคือเปลือกชั้นนอกมีทั้งแบบแข็งและบาง เปลือกชั้นกลางสีขาว ชั้นในสุดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกเป็นเยื่อสีขาวที่เรียกว่า “รก” ภายในผลมีเมล็ดสีดำแบนจำนวนมากอยู่ภายในเยื่อหุ้มเมล็ด มีลักษณะเป็นถุงน้ำ น้ำในถุงมีสีเหลืองเข้ม มีกลิ่นหอมคล้ายฝรั่งสุก รสชาติเปรี้ยวจัดมากกว่าน้ำส้มประมาณ 3 เท่า เสาวรสสายพันธุ์สีเหลืองขนาดผลปานกลางถึงใหญ่ ผลแก่เปลือกสีเหลืองนวลเข้ม ผิวเป็นมัน กลิ่นหอม รสเปรี้ยวมากและมากกว่าพันธุ์ผลสีม่วง สามารถปลูกได้ดีในเขตร้อน โดยเสาวรสให้ผลผลิตตลอดปีซึ่งจะมีมากในช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน แหล่งเพาะปลูกอยู่ทางภาคเหนือและในจังหวัดเพชรบูรณ์ ปราจีนบุรี จันทบุรี และระยอง ผลสุกของเสาวรสนำมาปั่นเป็นน้ำผลไม้ นำมาสกัดทำเป็นเครื่องดื่มผลไม้หรือใช้ผสมกับน้ำผลไม้อื่นๆได้ ประเทศทางแถบอเมริกาใต้รับประทานเปลือกเสาวรสสุกสดๆหรือนำไปปั่นผสมกับน้ำตาลและน้ำเสาวรสเป็นเครื่องดื่มที่เรียกว่า “refresco” ส่วนเนื้อเสาวรสนำไปทำเป็นแยม เยลลี่ เค้ก ไอศกรีม เป็นต้น โดยในเนื้อเสาวรสจะประกอบไปด้วยไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส ไนอะซิน วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และวิตามินซี สามารถช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย ป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน ใช้ทาบนใบหน้าก่อนนอนทำให้ใบหน้าเต่งตึงและลดรอยเหี่ยวย่นได้ (นิดดา และทวีทอง, 2550)

2.1.6 แอปเปิ้ล (Apple)

รูปที่ 2.6 ผลของแอปเปิ้ล
ที่มา : https://www.pinterest.com (20 ตุลาคม 2559)

แอปเปิ้ลมีชื่อสามัญคือ Apple ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Malus domestica* Borkh จัดอยู่ในวงศ์ Rosaceae ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับอัลมอนด์ เชอร์รี่ ท้อ พลับ บ๊วยและสาลี่ แอปเปิลมีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียแถบประเทศอิหร่าน ซึ่งเป็นไม้ป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากนั้นได้ขยายไปยังเทือกเขาคอเคซัสและบริเวณแม่น้ำไทกรีสและยูเฟรติส ในเมืองไทยปัจจุบันมีการปลูกตามพื้นที่ราบสูงทางภาคเหนือ โดยนำพันธุ์จากต่างประเทศเข้ามาปลูกตามพื้นที่ของโครงการหลวงเช่น ดอยอ่างขาง เป็นต้น ซึ่งแอปเปิ้ลพันธุ์ฟูจิมีถิ่นกำเนิดที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์รอลล์ เจเน็ทและพันธุ์ดีลิ-เชียส ผลขนาดกลาง เปลือกสีเหลืองปนเขียว มีลายสีส้มอมแดง เนื้อสีขาวแน่นและกรอบ รสชาติหวาน สีผลและรูปทรงสวยสะดุดตา แอปเปิ้ลในเมืองไทยจะเริ่มออกดอกประมาณเดือนมกราคมถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กุมภาพันธ์และเก็บผลผลิตได้ในช่วงประมาณต้นเดือนมิถุนายน แอปเปิ้ลสามารถกินเป็นผลไม้สด คั้นเป็นน้ำ ใช้ปรุงอาหารทั้งหวานและคาวได้หลายชนิดเช่น แยมแอปเปิ้ล พายแอปเปิ้ล เป็นต้น แอปเปิ้ลเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารมากดังคำกล่าวที่ว่า “An apple a day keeps doctor away” ซึ่งมีความหมายว่า “กินแอปเปิ้ลวันละ 1 ผล ทำให้สุขภาพดีไม่ต้องไปหาหมอ” ทั้งนี้เพราะในแอปเปิ้ลมีสารอาหารหลายอย่างทั้งวิตามินเอ วิตามินบี แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน นอกจากนี้ยังมีสารเพกตินที่ช่วยให้ระบบความสมดุลของการย่อยและการดูดซึมอาหารของร่างกายเป็นปกติ ช่วยย่อยและลดกรดในกระเพาะอาหาร ช่วยบำรุงร่างกาย ช่วยละลายเสมหะและยังช่วยลดความดันโลหิต ขับเกลือโซเดียมส่วนเกินออกจากร่างกาย รวมทั้งเป็นยาระบายอ่อนๆอีกด้วย (นิดดาและทวีทอง, 2550)

2.2 ธัญชาติ (Cereal)

ธัญชาติคือพืชวงศ์หญ้า (Gramineae) มีหลายพันธุ์ ปลูกง่าย ขึ้นได้ดี เก็บรักษาได้นาน มนุษย์จึงใช้ธัญชาติชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นอาหารหลักตามสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่ธัญชาติชนิดนั้นเจริญเติบโตได้ดีเช่น เอเชียปลูกข้าวและลูกเดือยก็จะนำมาขัดสีและบริโภค ส่วนยุโรปหรืออเมริกาปลูกข้าวสาลีก็จะนำเมล็ดมาบดเป็นแป้งสาลีทำขนมปังเป็นหลัก และอเมริกาใต้ปลูกข้าวโพดเป็นอาหาร นอกจากนี้ยังมีธัญชาติอื่นๆเช่น ข้าวไรน์ใช้ทำขนมปัง ข้าวบาร์เลย์ใช้ทำเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เช่น เบียร์ และข้าวฟ่าง ข้าวมิลเลตและข้าวโอ๊ตใช้ทำอาหารสัตว์ เป็นต้น ซึ่งเมล็ดธัญชาติมีความสำคัญต่อมนุษย์ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงคือนำมาใช้แปรรูปเป็นอาหารหลักในรูปแบบต่างๆเช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวนึ่ง ขนมปัง เป็นต้น โดยทางอ้อมคือนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารอื่นที่ไม่ใช่อาหารหลักเช่น สตาร์ช แป้ง น้ำตาล อุตสาหกรรมกึ่งอาหารเช่น เบียร์ เหล้า และอุตสาหกรรมไม่ใช่อาหารเช่น สารเคมี และยา (Berrios และคณะ, 1999)

2.2.1 ชนิดของธัญชาติ

2.2.1.1 ข้าว (Rice)

ข้าวมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Oryza sativa* L. มีต้นกำเนิดในภาคตะวันออกเฉียงใต้ของเอเชีย ปลูกกันมากในพื้นที่แถบมรสุมที่มีฝนตกชุกและแสงแดดเพียงพอเช่น พันธุ์อินดิคา (*O. sativa*, indica) ส่วนพันธุ์จาปอนิกา (*O. sativa*, japonica) จะขึ้นในพื้นที่แถบอบอุ่น (Berrios และคณะ, 1999)

ก) โครงสร้างของเมล็ดข้าว

โดยทั่วไปตามหลักสรีรวิทยา “เมล็ดข้าว” จะประกอบด้วยเมล็ดข้าวกล้อง (brown rice) ที่หุ้มด้วยเปลือก (husk) โดยข้าวกล้องคือ ชั้นของรำ (bran layer) จมูกข้าว (gem) และส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ด (starchy center of grain) (Juliano, 1985)

เปลือกของเมล็ดข้าวประกอบด้วยใบ 2 ใบเล็ก (spikelet) ที่มีชื่อว่า palea และ lemma ใบทั้ง 2 จะเชื่อมต่อกัน โดยปลายด้านบนของใบทั้ง 2 จะต่อไปยังส่วนของ apiculus และในส่วนที่ต่ำลงมาซึ่งเมล็ดข้าวติดอยู่กับรวงจะพบส่วนประกอบที่คล้ายใบเล็กเรียกว่า rachilia และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sterile lemma ในระหว่างการนวดข้าว ส่วนเมล็ดจะหลุดออกจากรวงเมื่อ rachilia และ sterile lemma โผล่จาก pedicel อย่างไรก็ตามชิ้นเล็กๆของ pedicel มักจะติดกับเมล็ด โดยเปลือกของ palea และ lemma จะหุ้มส่วนของข้าวกล้อง (brown rice) ได้หมดซึ่งจะเหลือช่องว่างเล็กๆภายในเปลือกที่ส่วนปลายของใบทั้ง 2 เปลือกข้าวจะปกคลุมด้วย spines เล็กๆที่เรียกว่า trichomes และองค์ประกอบของเปลือกข้าวจะแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ข้าวและสภาพของดินที่ปลูกข้าว (Juliano, 1985)

รูปที่ 2.7 โครงสร้างและองค์ประกอบของเมล็ดข้าว
ที่มา : http://www.esvector.com (14 พฤษภาคม 2560)

ส่วนของ caryopsis จะหุ้มด้วยชั้นบางๆของวัสดุกากใยที่เรียกว่า pericarp หรือ silverskin โดยทั่วไป pericarp จะค่อนข้างโปร่งแสงและเป็นสีเทา ซึ่งสามารถกำจัดออกได้ง่ายในขั้นตอนการขัดสี (whitening) ส่วนเนื้อเยื่อของ pericarp จะแน่นและแข็ง ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่ epicarp, mesocarp และ cross layer โดยภายใต้ชั้น testa หรือ tegmen จะเป็นเนื้อเยื่อของชั้นแอลิวโรนซึ่งอุดมไปด้วยวิตามิน เกลือแร่ โปรตีน และน้ำมัน สำหรับ endosperm จะประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งชั้นแป้งที่อยู่นอกสุดจะวางตัวในแนวรัศมีและยึดตัวรูปร่างและตำแหน่งของเซลล์ทำให้เกิดช่องว่างซึ่งในที่สุดทำให้เกิดการร้าวและแตกของเมล็ดหากเข้าไปกลางเมล็ดมากขึ้น รูปทรงของเซลล์จะเปลี่ยนไปจากยาวเป็นสมมาตรมากขึ้น ในส่วนปลายของ caryopsis เมล็ดจะยึดติดกับรวงข้าวเป็นที่ตั้งของจมูกข้าว (germ) หรือเรียกว่า embryo ซึ่งจะอยู่ในส่วนของ endosperm โดยในกระบวนการขัดสีจมูกข้าวจะถูกขัดออก และเนื่องจากจมูกข้าวถูกหุ้มด้วยเซลล์ของแป้งอย่างแน่นหนา ทำให้การหลุดของจมูกข้าวเกิดจุดแตกของ endosperm ซึ่งเส้นที่แตกเป็นแนวโค้งกลมเห็นเป็นรอยเว้าเข้ามาในเมล็ดที่ปลายของเมล็ดข้าวในการขัดสีข้าว และส่วนของ pericarp, testa layer, bran และ germ ก็จะถูกกำจัดออกด้วย (Juliano, 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

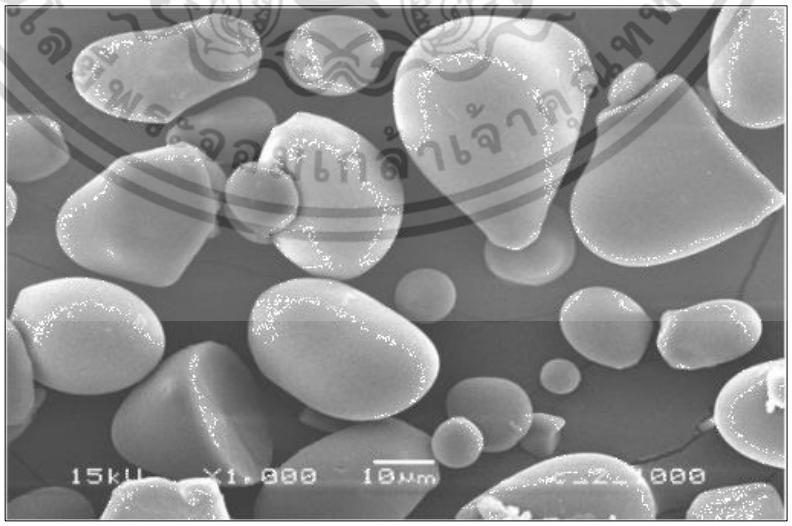
ข) องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบหลักที่สำคัญทางเคมีของข้าวซึ่งพบในเมล็ดข้าวคือ พอลิแซคคาไรด์ โปรตีน และไขมัน โดยมีความสำคัญดังต่อไปนี้

ข.1 คาร์โบไฮเดรต

ข.1.1 สตาร์ช

แหล่งกำเนิดของสตาร์ชอยู่ในเม็ดสตาร์ชซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดห้าเหลี่ยม ขนาด 3-9 ไมโครเมตรรวมกันเป็นกลุ่มภายในอะไมโลพลาสต์ (amyloplast) ที่มีลักษณะกลมหรือรี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7-39 ไมโครเมตร โดยภายในแต่ละอะไมโลพลาสต์มีเม็ดสตาร์ชเกาะรวมกันอยู่ประมาณ 20-60 เม็ด และระหว่างเม็ดสตาร์ชจะมีกลุ่มโปรตีนแทรกอยู่เห็นเป็นร่องบนเม็ดสตาร์ช สตาร์ชจากข้าวประกอบด้วยอะไมโลสร้อยละ 7-33 ของน้ำหนักเมล็ดข้าวหรือร้อยละ 8-37 ของปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ส่วนที่มีมากคืออะไมโลเพกตินซึ่งอาจมีอยู่ในข้าวเหนียวเกือบร้อยละ 100 แต่การเกาะรวมกันของโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในเม็ดสตาร์ชส่วนที่ให้โครงร่างและเป็นผลึก (cystallinity) เกิดจากอะไมโลเพกติน การสกัดเม็ดสตาร์ชออกจากเมล็ดข้าวทำได้โดยการบดเปียกด้วยน้ำหรือน้ำด่างอ่อนเพื่อสกัดแยกส่วนของโปรตีนออกไปและสารละลายยังช่วยไม่ให้เม็ดสตาร์ชเสียหายในขณะบดและแยกส่วนสตาร์ชออกจากสารละลายทำให้แห้งแล้วบดให้ละเอียดจะได้สตาร์ชจากข้าว ซึ่งสตาร์ชจากข้าวเจ้าและข้าวเหนียวจะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.1) โดยความแตกต่างที่เห็นชัดคือ ความสามารถในการจับไอโอดีนของสตาร์ชข้าวเจ้าจะมีมากกว่าสตาร์ชข้าวเหนียว เนื่องจากปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชข้าวเจ้ามากกว่า ส่วนความหนืดข้นสตาร์ชข้าวเหนียวมีช่วงต่างกันมากกว่าสตาร์ชข้าวเจ้า และสารอาหารอื่นที่เกาะกับสตาร์ชข้าวเหนียวจะน้อยกว่าสตาร์ชข้าวเจ้า ซึ่งแสดงว่าการสกัดสตาร์ชข้าวหนียวทำได้บริสุทธิ์กว่าสตาร์ชข้าวเจ้า (Juliano, 1985)



รูปที่ 2.8 เม็ดสตาร์ชของข้าวจาก Scanning electron microscope (SEM)
ที่มา : http://www.vcharkarn.com (14 พฤษภาคม 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

คุณสมบัติ	สตาร์ชข้าวเจ้า	สตาร์ชข้าวเหนียว
อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล (°C)	58-79	58.78.5
ขนาดเม็ดสตาร์ช (μm)	1.6-8.7	1.9-8.1
ความหนาแน่น (g/ml)	1.49-1.51	1.48-.150
ความสามารถในการจับไอโอดีน (%)	2.36-6.96	0.15-0.86
ความหนืดข้นของเจล (cp)	140-1200	64-1890
ความหนืดข้นในตัว (ml/g)	160-194	46-164
โปรตีนที่เหลืออยู่ (% dry weight)	0.02-0.12	0.01-0.02
ฟอสฟอรัสที่เหลืออยู่ (mg/g)	0.12-0.45	0.02-0.03
โคลีน (μmol/l)	3.9-9.2	0-0.02
กลูโคส-6-ฟอสเฟต (μmol/g)	0.2-0.7	0.3-0.6
ไขมันที่เกาะเกี่ยว (% dry weight)		
- สกัดด้วยน้ำ-บิวทานอลอิ่มตัวที่เย็น	0.2-0.4	0.03-0.04
- สกัดด้วยน้ำ-บิวทานอลอิ่มตัวที่ร้อน	0.5-0.9	0.1-0.2

ที่มา : Juliano (1985)

ข.1.2 พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช

พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชพบมากในเปลือกหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ดมากกว่าในเนื้อและคัพภะของเมล็ด ซึ่งจะเป็นพอลิแซคคาไรด์ในรูปใยอาหาร (dietary fiber) ที่ประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส สารเพกติน ลิกนิน และโปรตีน โดยในปัจจุบันได้มีการวิจัยถึงประโยชน์ของใยอาหารต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับโรคอ้วน โรคเบาหวาน มะเร็งลำไส้ใหญ่และเส้นเลือดอุดตัน ด้วยวิธีการสกัดทำให้แยกพอลิแซคคาไรด์ได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ละลายในน้ำและกลุ่มที่ไม่ละลายในน้ำพบว่าเยื่อใยหยาบและใยอาหารมีมากในรำและคัพภะ แต่ถ้าวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์จากผนังเซลล์จะมีมากในข้าวสารเพราะปริมาณเนื้อเมล็ดมีมากกว่าส่วนรำและคัพภะในเมล็ด นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำร้อนและด่างได้มากกว่ารำและคัพภะอีกด้วย สัดส่วนของน้ำตาลในผนังเซลล์มีน้ำตาลไซโลส อะราบิโนส กลูโคส มากกว่าน้ำตาลแมนโนส แรมโนส กาแลคโตสและซูโครส โดยใยอาหารจากรำข้าวประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 9 เฮกโซแวน (ในรูปกลูโคส) ร้อยละ 13-14 เฮมิเซลลูโลส (ในรูปไซโลส) ร้อยละ 36-42 กรดยูโรนิกร้อยละ 8 เซลลูโลสร้อยละ 27-33 และลิกนินร้อยละ 12-17 ส่วนที่ละลายในน้ำเย็นของรำข้าวจะประกอบด้วยน้ำตาลอะราบิโนสร้อยละ 38-42 ไซโลสร้อยละ 7-14 แมนโนสร้อยละ 0.1-2.0 กาแลคโตสร้อยละ 28-31 แรมโนสร้อยละ 0.3 กรดยูโรนิกร้อยละ 6-12 และโปรตีนร้อยละ 4-5 ส่วนเฮมิเซลลูโลสที่ละลายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด่างจะประกอบด้วยน้ำตาลแรมโนสร้อยละ 1-3 ซูโครสร้อยละ 2-5 แมนโนสร้อยละ 1 และกลูโคสร้อยละ 5 (Juliano, 1985)

ข.1.3 น้ำตาลอิสระ

น้ำตาลอิสระที่พบมากที่สุดในส่วนคัพภะและเนื้อเมล็ดของข้าวคือ น้ำตาลซูโครส นอกจากนั้นเป็นน้ำตาลแรฟฟิโนส กลูโคส และฟรุกโตส โดยพบว่าน้ำตาลทั้งหมดในคัพภะมีประมาณร้อยละ 8-25 ในรำมีประมาณร้อยละ 6.5 และในข้าวสารมีประมาณร้อยละ 0.52 โดยน้ำตาล non-reduce ที่สำคัญคือ น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบมากคือ น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลเมลิไบโอส กลูโคสไดฟรุกโตส มอลโทไตรโอส และน้ำตาลมอลโทลิโกแซคคาไรด์อื่นๆในเมล็ดข้าวที่กำลังงอก (Juliano, 1985)

ข.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีในข้าวมากเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรต โดยคิดคำนวณจากวิธีของ Kjeldahl และการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนแต่ละชนิดในโปรตีนที่สกัดจากส่วนต่างๆของข้าว พบว่ากรดอะมิโนแต่ละชนิดในโปรตีนจากข้าวเปลือกไม่ต่างจากข้าวกล้องและข้าวสารมากนัก เนื่องจากในส่วนเปลือกมีโปรตีนน้อยมาก (ร้อยละ 2-3) แต่ในเปลือกมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนมากกว่าส่วนอื่นๆ และในข้าวกล้องจะมีไลซีนมากกว่าในข้าวสารเล็กน้อย ซึ่งไลซีนถือเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายที่มีไม่เพียงพอเป็นอันดับแรกของโปรตีนจากข้าวและธัญชาติอื่น ปริมาณไลซีนจะมีในรำและคัพภะมากกว่าในส่วนของเนื้อเมล็ด และแหล่งที่มีโปรตีนอีกส่วนคือ ชั้นถัดจากชั้นแอลิวโรน โดยสะสมอยู่เป็นกลุ่มโปรตีน (protein bodies) ซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่เกิดของกลุ่มโปรตีนนั้น (Juliano, 1985)

กลุ่มโปรตีนที่สกัดได้จากส่วนเนื้อของข้าวสารจะมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด ในชั้นแอลิวโรนมีโปรตีนน้อยที่สุด นอกจากนั้นเป็นแร่ธาตุอื่นๆคือ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม เป็นต้น กลุ่มโปรตีนที่พบในคัพภะจะมีส่วนประกอบคล้ายกับกลุ่มโปรตีนในชั้นแอลิวโรน และสำหรับกลุ่มโปรตีนในชั้นถัดจากชั้นแอลิวโรนจะมีโปรตีนประมาณร้อยละ 58 ไขมันมากที่สุดร้อยละ 23 และคาร์โบไฮเดรตมากที่สุดร้อยละ 19 ซึ่งต่างจากกลุ่มโปรตีนที่พบในข้าวสารที่มีคาร์โบไฮเดรตปนอยู่น้อย (ร้อยละ 0.14-1.6) และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนโปรตีนที่ละลายในสารละลายต่างๆพบว่ากลุ่มโปรตีนในชั้นแอลิวโรนมีอัลบูมินมาก ในคัพภะมีอัลบูมินเกือบทั้งหมด ส่วนกลุ่มโปรตีนในข้าวสารจะมีพวกโกลบูลินมากที่สุด ส่วนเนื้อเยื่อที่ใกล้เปลือกของเมล็ดข้าวในชั้นรำและคัพภะจะมีอัลบูมิน (โปรตีนที่ละลายน้ำ) และโกลบูลิน (โปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือ) มากกว่าโปรตีนอื่นๆ สำหรับในเนื้อเมล็ดจะมีกลูเตน (โปรตีนที่ละลายในด่าง) มากที่สุด แต่โปรลามีน (โปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์) จะมีน้อยในทุกส่วนของเนื้อเมล็ด (Juliano, 1985)

ข.3 ไขมัน

ไขมันที่พบในข้าวจะอยู่ในลักษณะเป็นหยดกลม (lipid droplets) แทรกอยู่ในชั้นแอลิวโรนขนาดเล็กกว่า 1.5 μm อยู่ในชั้นถัดจากแอลิวโรนมีขนาดเล็กกว่า 1 μm และอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนคัพภะมีขนาดเล็กกว่า 0.7 μm สำหรับในส่วนเนื้อเมล็ดจะอยู่ร่วมกับกลุ่มโปรตีนและในเม็ดสตาร์ชจะมีไขมันชนิดที่มีโครงสร้างร่วมกับสารอื่น (bound lipids) (Juliano, 1985)

ในการสกัดไขมันจากส่วนต่างๆทำให้แบ่งลักษณะไขมันได้เป็น 2 ส่วนใหญ่คือ ไขมันที่สกัดจากสตาร์ช (starch lipids) และไขมันที่ไม่ได้มาจากสตาร์ช (nonstarch lipids) โดยใช้สารละลายที่ไม่มีขั้ว (non-polar solvents) เช่น ไดเอทิล อีเทอร์, ปิโตรเลียม อีเทอร์ และคลอโรฟอร์มหรือเมทานอลในการสกัดไขมันที่ไม่ใช่สตาร์ช และใช้สารละลายน้ำและบิวทานอลอิ่มตัวในการสกัดไขมันที่มาจากสตาร์ช เมื่อนำไขมันที่สกัดจากส่วนต่างๆมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ไขมันจะมีมากในส่วนคัพภะและรำมากกว่าในส่วนแกลบและเนื้อเมล็ดมีกรด palmitic, oleic และ linolenic ใกล้เคียงกัน โดยในแกลบมี oleic มากที่สุด ข้าวสารมี palmitic และ linolenic มากที่สุด ไขมันจากสตาร์ชข้าวเจ้ามี palmitic มากกว่าไขมันที่ไม่ได้มาจากสตาร์ช แต่มี oleic น้อยกว่า ในขณะที่ทุกส่วนมี linolenic ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกลุ่มไขมันที่เป็นกลาง ซึ่งพบมากที่สุดใน nonstarch lipids โดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ส่วนน้อยจะอยู่ในรูปกรดไขมันอิสระ และข้าวสารมีไขมันที่เป็นกลางเพียงร้อยละ 28 และร้อยละ 26 ตามลำดับและเป็นไตรกลีเซอไรด์เพียงร้อยละ 4 และ 2 ตามลำดับ แต่มีกรดไขมันอิสระมากกว่าประมาณร้อยละ 20-21 และไกลโคลิปิดมีใน nonstarch lipids จากแกลบมากที่สุด (Juliano, 1985)

ใน starch lipids ข้าวเจ้าซึ่งเป็นข้าวกล้องและข้าวสารมากกว่าใน nonstarch lipids นอกจากนี้ยังมีฟอสโฟลิปิดมากที่สุดซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นไลโซฟอสฟาติลโคลีนและไลโซฟอสฟา-ติลเอธานอลามีน ในขณะที่ nonstarch lipids มีฟอสโฟลิปิดน้อยกว่ามาก (Juliano, 1985) ส่วนใน Starch lipid จากข้าวกล้องของข้าวเจ้าจะมีประมาณ 0.6-0.7 ร้อยละและข้าวเหนียวประมาณร้อยละ 0.2 ซึ่งปริมาณ starch lipid จากข้าวสารจะมีประมาณร้อยละ 0.5 และข้าวเหนียวประมาณร้อยละ 0.1 แต่ปริมาณไขมันโดยรวมในข้าวเจ้าและข้าวเหนียวจะไม่แตกต่างกันและลักษณะไขมันที่แทรกอยู่ในสตาร์ชจะร่วมกับส่วนอะไมโลส (Juliano, 1985) โดยข้าวเป็นธัญชาติที่มนุษย์มากกว่าครึ่งโลกใช้บริโภคเป็นอาหารหลักซึ่งแบ่งออกเป็นหลายสายพันธุ์ดังนี้

ค) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวเจ้าสายพันธุ์ใหม่ที่ได้รับการคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์โดยการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิล (พันธุ์พ่อ) จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์แม่) จากสถาบันวิจัยข้าว โดยคุณค่าโภชนาการในข้าวไรซ์เบอร์รี่ประกอบไปด้วยธาตุเหล็ก สังกะสี โอเมก้า 3 วิตามินอี โฟเลต เบต้าแคโรทีน สารโพลีฟีนอล แทนนินและมีปริมาณอะไมโลสอยู่ประมาณร้อยละ 15.6 ซึ่งสารอาหารที่พบในข้าวไรซ์เบอร์รี่ล้วนส่งผลดีต่อสุขภาพของมนุษย์ (ชญานี และคณะ, 2558)

นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมหาวิทยาลัยมหิดลได้ร่วมกันศึกษาผลของการรับประทานข้าวชนิดนี้ในผู้ป่วยโรคเบาหวานพบว่าสามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี เนื่องจากมีดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวขัดสีพันธุ์เดียวกัน การรับประทานอาหารที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยให้เซลล์ร่างกายใช้อินซูลินได้ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเซลล์จะรับน้ำตาลในเลือดไปใช้เป็นพลังงานได้มากขึ้นทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำลง ข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงเป็นทางเลือกใหม่เพื่อสุขภาพระยะยาวสำหรับผู้ป่วยเบาหวานและต้องการควบคุมน้ำหนัก (ดวงจันทร์, 2557)

รูปที่ 2.9 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมหาวิทยาลัยมหิดลได้ร่วมกันศึกษาผลของการรับประทานข้าวชนิดนี้ในผู้ป่วยโรคเบาหวานพบว่าสามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี เนื่องจากมีดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวขัดสีพันธุ์เดียวกัน การรับประทานอาหารที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำจะช่วยให้เซลล์ร่างกายใช้อินซูลินได้ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเซลล์จะรับน้ำตาลในเลือดไปใช้เป็นพลังงานได้มากขึ้นทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำลง ข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงเป็นทางเลือกใหม่เพื่อสุขภาพระยะยาวสำหรับผู้ป่วยเบาหวานและต้องการควบคุมน้ำหนัก (ดวงจันทร์, 2557)

ง) ข้าวทับทิมชุมแพ (Tubtim chumphae rice)

ข้าวทับทิมชุมแพเป็นข้าวเจ้าที่เกิดจากการนำมาผสมระหว่างข้าวขาวดอกมะลิ 105 กลายพันธุ์จากรังสี ต้นเตี้ยที่มีลักษณะต้านทานต่อโรคไหม้เป็นพันธุ์แม่กับข้าวเจ้าสายพันธุ์สังข์หยด ซึ่งเป็นข้าวเจ้าที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงเป็นพันธุ์พ่อ จากศูนย์วิจัยข้าวสุรินทร์ในฤดูนาปรัง ลักษณะลำต้นตั้งตรง มีความสูงของต้น 113 เซนติเมตร สีปล้องในระยะออกดอกร้อยละ 50 มีสีเขียว กาบใบมีสีเขียว มุมปลายใบมีลักษณะตั้งตรง ความยาวของรวงข้าวในระยะเก็บเกี่ยว 20 วันมีความยาวประมาณ 28.74 เซนติเมตร ลักษณะของรวงข้าวมีความแน่นปานกลาง ข้าวมีลักษณะขุ่นคล้ายข้าวเหนียว มีค่าอะไมโลสร้อยละ 12.63 ค่าการสลายในเมล็ดร้อยละ 1.7 อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ โดยคุณค่าทางโภชนาการของข้าวทับทิมชุมแพอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระทั้งสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 7048.13 มิลลิกรัมแกลลิกต่อตัวอย่าง 100 กรัม และสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 5233.14 มิลลิกรัมแกลลิกต่อตัวอย่าง 100 กรัม นอกจากนี้ข้าวทับทิมชุมแพยังอุดมไปด้วยโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาตุเหล็กและฟอสฟอรัสซึ่งช่วยบำรุงโลหิต ช่วยบำรุงร่างกาย ช่วยป้องกันโรคความจำเสื่อมและที่สำคัญสำหรับคนหนุ่มสาวคือ ช่วยชะลอความชราได้อีกด้วย (รณชัย, 2558)

รูปที่ 2.10 ข้าวทับทิมชุมแพ

จ) ข้าวหอมมะลิ (Jasmin rice)

รูปที่ 2.11 ข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิสายพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้มาโดยนายสุนทร สีหะเนิน เป็นเจ้าพนักงานข้าวได้รวบรวมข้าวจากอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 190 รวงแล้วนำมาคัดเลือกพันธุ์บริสุทธิ์ (pure line selection) และปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง และปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ในท้องถิ่น จนได้สายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 4-2-105 โดยลักษณะของข้าวจะสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 140 เซนติเมตร ไวต่อช่วงแสง ลำต้นสีเขียวจาง ใบสีเขียวยาวค่อนข้างแคบ ฟางอ่อน เมล็ดข้าวรูปร่างเรียวยาว ข้าวเปลือกสีฟาง เมล็ดข้าวขนาดยาว กว้างและหนาเท่ากับ 7.5, 2.1 และ 1.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 12-17 และมีปริมาณสังกะสี ไนอะซินและวิตามินอีค่อนข้างสูง นอกจากนี้ข้าวกล้องยังมีคุณค่าจากโปรตีนและเส้นใยอาหารในการช่วยป้องกันอาการท้องผูก มีไนอะซินรักษาผิวหนังและระบบประสาท มีธาตุเหล็กและทองแดงช่วยสร้างเม็ดเลือด ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง ช่วยเสริมสร้างส่วนที่สึกหรอ มีวิตามินบีรวมช่วยป้องกันและบรรเทาอาการอ่อนเพลีย มีวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชาและโรคปากนกกระจอกได้ มีฟอสฟอรัสและแคลเซียมช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน ทำให้กระดูกแข็งแรงและส่งผลให้ไม่เกิดอาการของตะคริว นอกจากนี้ยังได้ประโยชน์จากไขมันเนื่องจากไขมันในข้าวกล้องเป็นไขมันดีไม่มีคอเลสเตอรอล (Berrios และคณะ, 1999)

ฉ) ข้าวสินเหล็ก (Sinlek rice)

ข้าวสินเหล็กเป็นข้าวที่ได้จากพันธุ์ผสมระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวสีขาวที่มีกลิ่นหอม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ไม่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้ตลอดทั้งปีและมีความต้านทานต่อโรคไหม้ ข้าวสินเหล็กเป็นข้าวที่มีความหอมนุ่ม มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำถึงปานกลาง เมื่อนำมาทดลองบริโภคในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานพบว่าการบริโภคข้าวกล้องสินเหล็กช่วยแก้ปัญหาเบาหวานได้ ทำให้สภาวะดื้อต่อ Insulin ลดลงและการทำงานของตับอ่อนดีขึ้น รวมทั้งทำให้ค่าเฉลี่ยของไตรกลีเซอไรด์ลดลง นอกจากนี้ข้าวสินเหล็กยังมีธาตุเหล็กในเมล็ดสูง ซึ่งข้าวสินเหล็กได้ผ่านการประเมินคุณสมบัติความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในมนุษย์ โดยพบว่าการส่งเสริมการบริโภคข้าวสินเหล็กในบุคคลที่มีภาวะพร่องธาตุเหล็ก ทำให้ระดับฮีโมโกลบินมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยปริมาณอะไมโลสร้อยละ 16.5 มีสังกะสี โอเมก้า 3 วิตามินอี โฟเลต เบต้าแคโรทีน สารโพลีฟีนอล แทนนิน แกมมาโอไรซานอล และสารอาหารอื่นๆอีกมากมาย (ดวงจันทร์, 2557)

รูปที่ 2.12 ข้าวสินเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช) ข้าวสังข์หยด (Sangyod rice)

ข้าวสังข์หยดเป็นพันธุ์ข้าวที่ได้รับพระมหากรุณาธิคุณจากสมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ เมื่อปีพุทธศักราช 2543 พระองค์ท่านทรงมีพระราชดำริให้จัดตั้งโครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริฯ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุงได้ดำเนินการปลูกข้าวพันธุ์นี้ในพื้นที่แปลงนา จากนั้นทางศูนย์วิจัยได้ถวายข้าวสังข์หยดซึ่งทรงนำมาเสวยและทรงรับสั่งว่าอร่อยจึงทรงโปรดให้นำข้าวสังข์หยดกลับมาปลูกใหม่เพื่อเผยแพร่และรักษาพันธุ์ข้าว โดยข้าวสังข์หยดเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองของจังหวัดพัทลุง มีลักษณะแตกต่างจากข้าวพันธุ์อื่นคือในเมล็ดเดียวกันจะมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวปนสีแดงจางๆ จนถึงสีแดงเข้ม มีคุณค่าทางโภชนาการต่อน้ำหนักข้าว 100 กรัมคือ มีโปรตีน 6.20 กรัม ไขมัน 3.30 กรัม แคลเซียม 13.0 มิลลิกรัม วิตามินบี 1 0.037 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.96 มิลลิกรัมและไนอะซิน 6.40 มิลลิกรัม นอกจากนั้นยังมีกากใยอาหาร ธาตุเหล็กและฟอสฟอรัสที่สูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ จึงมีประโยชน์ในการบำรุงโลหิต บำรุงร่างกายให้แข็งแรง ชะลอความชรา ป้องกันโรคความจำเสื่อมและ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ในการลดระดับคอเลสเตอรอลและเพิ่มปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและไตรกลี-เซอไรด์ ทำให้ลดการตีบตันของหลอดเลือด เพิ่มการไหลเวียนของโลหิตและยังสามารถรักษาอาการผิดปกติของสตรีวัยทอง จึงนับได้ว่าข้าวสังข์หยดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและจัดว่าเป็นข้าวเพื่อสุขภาพ (ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, 2553)

รูปที่ 2.13 ข้าวสังข์หยด

2.2.1.2 ลูกเดือย (Job's tear seed)

ลูกเดือยมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Coix lachrymal-jobi* L. เป็นพืชที่มีการเพาะปลูกในประเทศแถบเอเชียหลายประเทศได้แก่ ฟิลิปปินส์ พม่า ศรีลังกาและประเทศไทยทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมปลูกเดือยข้าวเหนียวมากกว่าเดือยข้าวเจ้าเพราะแป้งมีความเหนียวนุ่มและมีกลิ่นหอมมากกว่า ลูกเดือยเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกมากในพื้นที่จังหวัดเลย ปลูกมากในช่วงเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมษายนถึงสิงหาคมและเก็บเกี่ยวช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคมของปีถัดไป ผลผลิตที่ได้จะส่งออกต่างประเทศเป็นหลัก (Duke, 1983; Bender และ Bender, 1999)

รูปที่ 2.14 ลูกเดือย

เมล็ดลูกเดือยมีรูปร่างกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร มีเปลือกแข็งมันวาวตั้งแต่สีน้ำตาลดำจนถึงเทาดำ (Li และ Corke, 1999) ลูกเดือยประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ได้แก่ โปรตีนร้อยละ 15 ไขมันร้อยละ 6 เถ้าร้อยละ 1.6 ใยอาหารร้อยละ 0.24 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 68 สตาร์ชร้อยละ 57 และอะไมโลสร้อยละ 11 (ทัศนีย์ และอรอนงค์, 2530) ลูกเดือยมีคุณสมบัติทำให้กระเพาะอาหารและลำไส้แข็งแรง แก้บวมน้ำ ปวดข้อเรื้อรัง บำรุงม้ามและปอด แก้สตรีตกขาวมากกว่าปกติ แก้หูดและทำให้ผิวพรรณสดใส นอกจากนี้ยังพบว่าลูกเดือยมีคุณสมบัติต้านการเจริญของเนื้องอก (anti-tumor) และต้านการเกิดภูมิแพ้ (anti-allergic) (Numata และคณะ, 1994; Kuo และคณะ, 2001) โดยมีงานวิจัยของ Chang และคณะ (2003) พบว่าสารสกัดจากลูกเดือยมีคุณสมบัติต้านการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วของเซลล์ที่ผิดปกติ (anti-proliferative) และต้านการเจริญของเนื้องอก อีกทั้งลูกเดือยยังมีคุณสมบัติเป็นสารพรีโบโอติก (prebiotic) สามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) ในลำไส้ใหญ่ได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณของไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือดได้อีกด้วย (Tsai และคณะ, 1998; Kim และคณะ, 2004) และมีรายงานว่าสาร coiexenolide ที่พบในลูกเดือยมีคุณสมบัติในการต้านการเจริญของเนื้องอก (Ukita และ Tanimura, 1961; Numata และคณะ, 1994) สาร benzoxazinone มีคุณสมบัติต้านการไหม้ของเซลล์ (anti-inflammatory) (Nagao และคณะ, 1985) สารพวก coixan สามารถลดปริมาณน้ำตาลในเลือดได้ (hypoglycemic) (Takahashi และคณะ, 1986) และสารพวก neutral lipid ที่สกัดจากส่วนของเอนโดสเปิร์มของลูกเดือยมีฤทธิ์เป็นสารต้านการเกิดมะเร็งได้ด้วย (Gibbs, 1998; Hsu และคณะ, 2003)

2.2.1.3 ข้าวบาร์เลย์ (Barley)

ข้าวบาร์เลย์มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Hordeum sativum* L. โดยข้าวบาร์เลย์ขึ้นได้ดีใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภูมิอากาศอบอุ่นและอากาศเย็น มีทั้งหมด 3 ชนิดได้แก่ ชนิดมีเปลือกหุ้มเมล็ดแบบ 6 แถว ชนิดมีเปลือกหุ้มเมล็ดแบบ 2 แถวและชนิดไม่มีเปลือกหุ้มเมล็ด โดยประเทศที่ปลูกมากคือ ประเทศรัสเซีย ประเทศที่ส่งออกมากคือ ประเทศฝรั่งเศส ประเทศออสเตรเลียและประเทศแคนาดา (Berrios และคณะ, 1999)

รูปที่ 2.15 ข้าวบาร์เลย์

ข้าวบาร์เลย์เป็นธัญพืชประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีเส้นใยอาหารสูง ซึ่งเป็นพืชตระกูลเดียวกับข้าวโดยมีลักษณะเป็นเมล็ดสีขาว เมล็ดมีลักษณะกลมรี ปลายเป็นร่องมีขนาดเล็กกว่าลูกเดือย แต่มีขนาดใหญ่กว่าข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์มีคุณค่าทางโภชนาการต่อน้ำหนัก 100 กรัมคือ มีพลังงานทั้งหมด 352 กิโลแคลอรี่ โดยข้าวบาร์เลย์มีส่วนประกอบทางเคมีอื่นๆประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 26 โปรตีนร้อยละ 9.9 เหล็กร้อยละ 14 วิตามินบี 6 ร้อยละ 13 โฟเลตร้อยละ 6 วิตามินเคร้อยละ 3 แคลเซียมร้อยละ 3 และวิตามินบี 1 ร้อยละ 15 (วริศรา และคณะ, 2555)

2.2.1.4 ข้าวโพด (Corn)

รูปที่ 2.16 ข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวโพดมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Zea mays* L. var. saccharata มีต้นกำเนิดในทวีปอเมริกาแล้วแพร่กระจายไปยังทวีปแอฟริกา ประเทศอินเดียและออสเตรเลีย ส่วนประเทศในทวีปยุโรปที่มีอากาศอบอุ่นก็มีข้าวโพดหลายสายพันธุ์เช่น หัวแข็ง (dent) หัวบุบ (flint) ป๊อป (pop) แป้ง (flour) หวาน (sweet) และข้าวเหนียว (waxy) นอกจากนี้ข้าวโพดยังมีสีของเปลือกหุ้มเนื้อเมล็ดสีต่างๆกันเช่น สีขาว เหลือง เหลืองแดงและม่วงแดง เป็นต้น (Berrios และคณะ, 1999)

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวานมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดร้อยละ 18.45-19.02 ของน้ำหนักเปียก โปรตีนร้อยละ 2.18-3.20 ของน้ำหนักเปียก ซึ่งชนิดของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในข้าวโพดหวานคือ เซอีน (zein) โปรลามิน (prolamins) และคอร์น กลูเตลิน (corn glutelin) ข้าวโพดหวานมีไขมันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 1.18-1.26 ของน้ำหนักเปียก ซึ่งจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 83.0 โดยจะเป็นกรดไขมันชนิดลิโนเลอิก (linoleic acid) ร้อยละ 57.2 (ตารางที่ 2.1) นอกจากนี้ข้าวโพดหวานยังมีคุณภาพด้านการรับประทาน (eating quality) สูงคือได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคเนื่องจากมีกลิ่นรสหอม ซึ่งกลิ่นรสในข้าวโพดหวานประกอบด้วยสารประกอบทางเคมีหลายชนิดได้แก่ เอทานอล (ethanol) อะซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) เมทานีไทออล (methanethiol) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogensulfide) และไดเมทิลซัลไฟด์ (dimethy sulfide; DMS) โดยพบว่าไดเมทิลซัลไฟด์เป็นสารประกอบที่มีความสำคัญมากที่สุดในการให้กลิ่นรสที่ดีของข้าวโพดหวาน (Berrios และคณะ, 1999)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวาน

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักเปียก
โปรตีน	9.90-13.31	2.18-3.20
คาร์โบไฮเดรต	76.00-79.12	18.45-19.02
ไขมัน	4.91-5.20	1.18-1.26
เส้นใย	2.10-9.57	0.51-2.30
วิตามินซี	$(2.20\text{-}3.01) \times 10^{-2}$	$(5.4\text{-}7.6) \times 10^{-3}$

ที่มา : Makhlouf และคณะ (1995); Hall (2003)

ข้าวโพดหวานเป็นข้าวโพดชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากข้าวโพดข้าวเหนียวคือมีรสหวาน และจัดเป็นพืชกลุ่มพืชที่มีเมล็ด (spermatophyte) ในข้าวโพดจะพบน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลฟรุกโตส โดยจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงมีความเหมาะสมในการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวโพดบรรจุกระป๋อง ข้าวโพดแช่แข็ง และน้ำนมข้าวโพด หรือจะนำมาทำเป็นของคาวเช่นข้าวผัด เป็นต้น (Makhlouf และคณะ, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โครงสร้างของเมล็ดธัญชาติ

โดยทั่วไปเมล็ดธัญชาติจะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกันและแบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆคือ

1. ไม่มีเปลือกหุ้มแข็ง (naked caryopses) ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวไรน์ และข้าวโพด เป็นต้น ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ เปลือกหุ้มผล (fruit coat) เรียกว่า pericarp และเมล็ด (seed) ซึ่งในเมล็ดประกอบด้วย เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) คัพภะ (germ) และเนื้อเมล็ด (endosperm)

2. มีเปลือกหุ้มแข็ง (covered caryopses) ได้แก่ ข้าว ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และลูกเดือย และข้าวมิลเลตที่มีเปลือกหุ้มแข็งบางชนิด โดยเปลือกหุ้มแข็งจะเป็นส่วนหนึ่งของกลีบคือ พาเลีย (palea) และเลมมา (lemma) เป็นเปลือกหุ้มผลอีกชั้นหนึ่ง (Berrios และคณะ, 1999)

2.2.2.1 เปลือกหุ้มผล (Pericarp)

เปลือกหุ้มผลประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปแท่งตามความยาวของผลที่มีผนังเซลล์บางเป็นเปลือกชั้นนอก ชั้นถัดมามีรูปร่างหลายเหลี่ยมซึ่งรูปร่างลักษณะจะแตกต่างกันตามชนิดของธัญชาติเช่น ในข้าวสาลีจะมีเปลือกหุ้มผลที่บางคล้ายกระดาษและจะหลุดออกได้ง่าย ส่วนเปลือกหุ้มผลของข้าวจะอยู่ภายในเปลือกหุ้มแข็งต้องกะเทาะเปลือกออกจึงจะเห็นชั้นนี้ สำหรับข้าวฟ่างเปลือกหุ้มผลจะมีหลายชั้นและมีสารให้สี นอกจากนั้นภายนอกของชั้นจะเคลือบด้วยสารขี้ผึ้งอยู่ และองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มผลส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตเช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพนโทแซน แร่ธาตุ เถ้า โปรตีนและไขมัน สำหรับธัญชาติที่มีเปลือกแข็งหุ้มเปลือกหุ้มผลจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นโครงร่าง (เส้นใย) มาก 2-5 เท่าของธัญชาติชนิดที่ไม่มีเปลือกแข็งหุ้ม (Berrios และคณะ, 1999)

2.2.2.2 เปลือกหุ้มเมล็ด (Testa)

เปลือกหุ้มเมล็ดเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อาจจะมีแถวเดียว สองแถวหรือมากกว่านั้น โดยเซลล์ชั้นในจะมีสารให้สีทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่างๆเช่น สีขาว สีแดง สีม่วงแดง สีส้ม สีดำ เป็นต้น ซึ่งเปลือกหุ้มเมล็ดมีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าสู่ภายในเมล็ด ส่วนชั้นเยื่อโปร่งใสจะอยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดมีลักษณะโปร่งใส นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยโปรตีน แร่ธาตุ เพนโทแซน เซลลูโลสและไขมัน (Berrios และคณะ, 1999)

2.2.2.3 ชั้นแอลิวโรนหรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (Aleurone layer)

ชั้นแอลิวโรนหรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดมีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีผนังเซลล์หนา มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง เป็นชั้นที่สำคัญเพราะอุดมไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด เช่น ในข้าวสาลีจะพบไขมันร้อยละ 20 แร่ธาตุร้อยละ 20 และโปรตีนประมาณร้อยละ 20 นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลอีกประมาณร้อยละ 10 ได้แก่ น้ำตาลซูโครส นีโอ-คีโตสและแรฟฟิโนส รวมทั้งอุดมไปด้วยวิตามินเช่น ไนอะซิน เป็นต้น ซึ่งภายในเซลล์แอลิวโรนยังมีเมล็ดแอลิวโรน (aleurone grain) ขนาดเล็กอยู่มากมาย ซึ่งภายในเป็นกรดไฟติก (สารประกอบฟอสฟอรัส) หรือเกลือโพแทสเซียม แมกนีเซียมและโปรตีนอยู่ด้วย ส่วนในข้าวมีเซลล์ในชั้นแอลิวโรนตั้งแต่ 1 ถึง 7 แถว ผนังหนาและยังมีเมล็ดแอลิวโรน (แหล่งสะสมโปรตีนมีรูปร่างกลม) และไขมันอยู่ด้วย (Berrios และคณะ, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.4 เนื้อเมล็ด (Endosperm)

เนื้อเมล็ดแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรนเป็นเซลล์ที่มีผนังบาง มีขนาดเล็กรูปร่างคล้ายลูกบาศก์ ส่วนที่อยู่ถัดไปจะมีรูปร่างเซลล์ยาวเป็นแนวรัศมีเข้าสู่จุดกลางของเมล็ด มีผนังเซลล์บาง ภายในเซลล์ประกอบด้วยสตาร์ชและโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งผนังเซลล์ของเนื้อเมล็ดมีลักษณะเหมือนกำแพงห่อหุ้มเซลล์เนื้อเมล็ด และผนังเซลล์จะประกอบไปด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส สารเพกตินและไกลโคโปรตีน ส่วนสตาร์ชที่เกิดในผนังเซลล์ของเนื้อเมล็ดจะอยู่รวมกันภายในเม็ดสตาร์ช (starch granule) ซึ่งมีรูปร่างและขนาดต่างๆขึ้นอยู่กับชนิดของธัญชาติ (ตารางที่ 2.3) และโปรตีนที่พบในเซลล์เนื้อเมล็ดนั้นจะอยู่รวมกับเม็ดสตาร์ชใน 2 ลักษณะคือ เกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งพบติดกับชั้นแอลิวโรนของข้าว 3 แบบคือ รวมตัวขนาดกลมใหญ่ ขนาดกลมเล็กและมีลักษณะเป็นผลึก ส่วนโปรตีนอีกลักษณะจะเกาะเกี่ยวเป็นร่างแหกับเม็ดสตาร์ช นอกจากนั้นยังมีไขมันแทรกอยู่ภายในเนื้อเมล็ดซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธัญชาติต่างๆ (Berrios และคณะ, 1999)

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของเม็ดสตาร์ชในธัญชาติชนิดต่างๆ

ธัญชาติ	เส้นผ่าศูนย์กลาง (μm)	รูปร่าง	ข้อสังเกต
ข้าว	เม็ดเกาะรวมกัน	เป็นเหลี่ยม	เม็ดรวมกัน 150 เม็ดถ้าพองจะ
	ขนาดเม็ดเดี่ยว 2-12		ไม่เห็นไฮลัม
ข้าวโอ๊ต	เม็ดเกาะรวมกัน 60	รี	เม็ดรวมกัน 80 เม็ด
	ขนาดเม็ดเดี่ยว 2-10	กลม	เม็ดเดี่ยว
ข้าวสาลี	เม็ดใหญ่ 15-30	กลมหรือรี	เม็ดเดี่ยวและอยู่ในเนื้อเมล็ด
	เม็ดเล็ก 1-10	กลม	-
	เม็ดปานกลาง	กลม	เม็ดเดี่ยวอยู่ชั้นติดกับแอลิวโรน
ข้าวไรน์	เม็ดใหญ่ 10-40	กลมหรือรี	เม็ดเดี่ยวมองเห็นไฮลัม
	เม็ดเล็ก	รี	
ข้าวบาร์เลย์	เม็ดใหญ่ 10-30	รีหรือ	เม็ดเดี่ยว ไม่เห็นจุดศูนย์กลาง
	เม็ดเล็ก 1-5	กลมหรือเกลียว	อยู่กันเป็นกลุ่ม
ข้าวโพด	2-30 เฉลี่ย 10	เหลี่ยม	เนื้อเมล็ดที่แข็ง
	2-30 เฉลี่ย 10	กลม	เนื้อเมล็ดที่อ่อนเห็นไฮลัมเป็นรูปดาว
ข้าวฟ่าง	6-20 เฉลี่ย 15	คล้ายข้าวโพดแต่ใหญ่กว่าเล็กน้อย	เม็ดเดี่ยว
ลูกเดือย	10-14 เฉลี่ย 12	กลมหรือเหลี่ยม	เม็ดเดี่ยว

ที่มา : Kent (1983)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.5 คัพภะ (Germ หรือ Embryo)

คัพภะเป็นส่วนที่เจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้น ซึ่งจะอยู่ด้านรากฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ดที่มีชั้นแอลิวโรนหรือชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดล้อมรอบอยู่ โดยภายในคัพภะจะมีส่วนที่เรียกว่า สกูเทลลัม (scutellum) ซึ่งเป็นเกาะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพภะและคัพภะที่พร้อมเจริญเป็นยอดอ่อนต้นและรากของพืชทำให้ส่วนคัพภะอุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุและวิตามิน เพื่อการเจริญเติบโตโดยเฉพาะโปรตีน (ในรูป protein bodies) ไขมัน (ในรูป lipid bodies) และวิตามินบี 1 (Berrios และคณะ, 1999)

2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของธัญชาติ

2.2.4.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักที่มีมากที่สุดในเมล็ดธัญชาติ (ร้อยละ 77-87 ของน้ำหนักแห้ง) ชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่พบมากที่สุดคือ สตาร์ช และรองลงมาคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพนโทแซน เดกซ์ทรินและน้ำตาล โดยวิธีวิเคราะห์จะแบ่งปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนเส้นใยได้แก่ เซลลูโลสและลิกนิน แต่ในปัจจุบันนิยมวิเคราะห์เป็นปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) ซึ่งรวมเซลลูโลส กัม สารเพกติน สารเป็นเมือกและเฮมิเซลลูโลส โดยปริมาณที่เหลือจากผลรวมขององค์ประกอบอื่นก็จะเป็นปริมาณของคาร์โบไฮเดรตส่วนอื่นๆซึ่งได้แก่ สตาร์ช เป็นส่วนใหญ่ พอลิแซคคาไรด์และน้ำตาล (Berrios และคณะ, 1999)

ก) สตาร์ช

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญซึ่งมีประมาณร้อยละ 64 ของน้ำหนักแห้งในคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่พบจากเมล็ดธัญชาติต่างๆ โดยจะสะสมในส่วนของเนื้อเมล็ด โดยสตาร์ชที่เกิดในเมล็ดธัญชาติจะสะสมอยู่ในเมล็ดสตาร์ช และองค์ประกอบหลักคือ อะไมโลส ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 กลูโคสและต่อด้วยพันธะแอลฟา 1,6 กลูโคส โดยประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 18-28 ยูนิต (Berrios และคณะ, 1999)

เมื่อนำสตาร์ชของธัญชาติมาวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลสพบว่ามีประมาณร้อยละ 25-27 แต่ถ้าในธัญชาติพันธุ์ข้าวเหนียวเช่น ข้าว ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพดและข้าวฟ่าง จะประกอบด้วยอะไมโลเพกตินเกือบร้อยละ 100 ส่วนในข้าวโพดหวานจะประกอบด้วยเดกซ์ทรินซึ่งมีโมลเลกุลเล็กกว่าสตาร์ชและต่างจากธัญชาติอื่นๆ โดยปกติเม็ดสตาร์ชจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่เมื่อให้ความร้อนเม็ดสตาร์ชก็จะดูดซึมน้ำเข้าไปจนพองตัวขึ้นจนแตกออกทำให้เกิดความหนืดข้นขึ้นเรียกว่า ปฏิกิริยาเจลาติไนเซชัน (Berrios และคณะ, 1999)

ข) เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพนโทแซน

เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพนโทแซนเป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์ในเมล็ดธัญชาติรวมกับลิกนินและจัดเป็นเยื่อใยหยาบ (crude fiber) ซึ่งเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสเช่นเดียวกับสตาร์ชแต่พันธะที่ต่อกันของแต่ละกลูโคสต่างกันคือ บีตา 1,4 กลูโคส ซึ่งมีความคงทนและมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ย่อยสลายได้ต้องขับถ่ายออกมาเป็นกากอาหาร ปริมาณเส้นใยนี้มีองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเมล็ดทั้งหมดประมาณร้อยละ 2 ถ้าพิจารณาถึงการกระจายในส่วนของเมล็ดพบว่ามีในเนื้อเมล็ดเพียงร้อยละ 0.1 แต่มีในเปลือกหรือรำถึงร้อยละ 9-13.5 ส่วนเพนโทแซนจะพบในผนังเซลล์ของเซลล์เนื้อเมล็ดมากถึงร้อยละ 75 ซึ่งเพนโทแซนของข้าวสาลีจะประกอบด้วยน้ำตาลเพนโทส 2 ชนิดคือ น้ำตาลอะราบิโนสและน้ำตาลไซโลสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นเพนโทแซนที่ละลายน้ำได้ นอกจากนั้นยังมีเพนโทแซนที่ไม่ละลายในน้ำและบีตา-กลูแคนที่ละลายในน้ำร้อนได้ โดยข้าวไรน์มีเพนโทแซนมาก ในขณะที่ข้าวบาร์เลย์และข้าวโอ๊ตมีบีตา-กลูแคนมากที่สุดทำให้ผลิตภัณฑ์จากข้าวทั้งสองมีลักษณะข้นหนืดมากกว่าธัญชาติอื่นๆ (Berrios และคณะ, 1999)

ค) น้ำตาล

น้ำตาลที่อยู่ในรูปอิสระในเมล็ดธัญชาติจะพบประมาณร้อยละ 1-3 โดยมีหลายชนิด เช่น น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส มอลโทส ซูโครส นอกจากนั้นจะมีไตรแซคคาไรด์เช่น น้ำตาลแรฟฟิโนส และโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้มีอยู่ในส่วนคัพภะเช่น ในคัพภะของข้าวโพดมีร้อยละ 11 ในคัพภะของข้าวสาลีมีร้อยละ 16-23 ส่วนในข้าวโพดหวานที่มีเดกซ์ทรินและน้ำตาลมากกว่าสตาร์ช (Berrios และคณะ, 1999)

2.2.3.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นโมเลกุลที่มีโครงร่างขั้นต้น (primary structure) ที่ประกอบไปด้วยกรดอะมิโนต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ระหว่างกลุ่มคาร์บอกซิล (COOH) ของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับกลุ่มแอลฟา-อะมิโน (NH_2) ของกรดอะมิโนตัวต่อไป ซึ่งชนิดของกรดอะมิโนมีประมาณ 18 ชนิดที่พบในเมล็ดธัญชาติ สัดส่วนและลำดับการต่อกันของโปรตีนแตกต่างกันทำให้โปรตีนมีคุณสมบติต่างกัน ถ้ามีการเชื่อมต่อกันของสายเปปไทด์จะต่อด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ในกรดอะมิโนซีสเทอีน (cystine) ทำให้เป็นโครงร่างโปรตีนขั้นที่สอง (secondary structure) และถ้าสายเปปไทด์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนมีลักษณะเป็นเกลียวที่ยืดหยุ่นได้ก็จะเป็นโครงร่างโปรตีนแบบแอลฟา-ฮิลิกซ์ (alpha-helix หรือ tertiary structure) และเมื่อแบ่งโปรตีนตามลักษณะการละลายได้ในสารละลายต่างๆจะแบ่งเป็น 4 ชนิดคือ อัลบูมิน (albumins) ละลายได้ในน้ำ โกลบูลิน (globulins) ละลายในน้ำเกลือ (ร้อยละ 10) โปรลามิน (prolamins) ละลายในแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 70-90) และกลูเตลิน (glutelins) ละลายในกรดหรือด่างเจือจาง หรืออาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ละลายได้ (อัลบูมินและโกลบูลิน) และกลุ่มที่ละลายไม่ได้ (โปรลามินและกลูเตลิน) ซึ่งจะพบในเมล็ดธัญชาติแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่จะมีโปรลามินและกลูเตลินมากกว่าอัลบูมินและโกลบูลิน ยกเว้นในข้าวโอ๊ตจะมีโกลบูลินมากที่สุดแต่มีกลูเตลินและอัลบูมินน้อย สำหรับข้าวไรน์จะมีปริมาณอัลบูมินในปริมาณใกล้เคียงกับโปรลามินและกลูเตลิน ส่วนข้าวมีกลูเตลินมากที่สุด (Berrios และคณะ, 1999)

การกระจายตัวของโปรตีนในส่วนต่างๆของเมล็ดพบว่าโปรตีนอยู่ทุกส่วนของเนื้อเยื่อเมล็ดและจะมีมากในคัพภะ สกูเทลลัมและชั้นแอลิวโรนมากกว่าในส่วนเนื้อเมล็ด เปลือกหุ้มเมล็ดและเปลือกหุ้มผล แต่ถ้าปริมาณโปรตีนโดยรวมพบว่าโปรตีนในส่วนเนื้อเมล็ดจะมีมากที่สุดเพราะเนื้อเมล็ดเป็นส่วนที่มีมากที่สุดในเมล็ด โปรตีนที่ละลายได้ (อัลบูมินและโกลบูลิน) จะช่วยในการเสริมสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อเยื่อของพืช ส่วนโปรตีนที่ไม่ละลาย (โกลบูลินและกลูเตลิน) เป็นกลุ่มโปรตีน (protein bodies) กระจายอยู่ทั่วไปซึ่งจะเห็นได้ชัดในเซลล์เนื้อเมล็ด นอกจากนี้ยังรวมตัวกันอยู่ในรูปของโปรตีนสะสม (storage protein) เพื่อเก็บไว้ใช้เสริมสร้างในส่วนต่างๆของพืช โปรตีนที่พบจะประกอบไปด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ (ตารางที่ 2.4) โดยกรดกลูตามิกเป็นกรดอะมิโนที่สำคัญเพราะมีมากในธัญชาติทุกชนิด ซึ่งอาจอยู่ในรูปกลูทามีน รองลงมาคือ โปรลีน ในข้าวและข้าวโอ๊ตมีอาร์จินีนมากกว่าธัญชาติอื่นๆ ในขณะที่ข้าวโพดและข้าวฟ่างมีทริปโตเฟนน้อยที่สุดแต่มีลิวซีนมาก (Kent, 1983)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณกรดอะมิโนในเมล็ดธัญชาติชนิดต่างๆ

กรดอะมิโน	ข้าวสาลี	ข้าวบาร์เลย์	ข้าวโอ๊ต	ข้าวไรน์	ข้าว	ข้าวโพด	ข้าวฟ่าง
อาร์จินีน	4.0	4.4	6.6	4.2	7.7	4.7	2.6
ซีสทีน+ซิสเทอีน	2.6	2.5	3.3	2.3	1.1	2.5	1.1
ฮีสทีดีน	2.2	2.1	2.2	2.1	2.3	2.8	2.1
ไอโซลิวซีน	3.8	3.8	4.2	3.6	3.9	4.0	3.8
ลิวซีน	6.7	6.9	7.2	6.0	8.0	12.5	13.6
ไลซีน	2.3	3.5	3.7	2.9	3.7	3.0	2.0
เมไทโอนีน	1.7	1.6	1.8	1.2	2.4	1.8	1.5
ฟีนิลอะลานีน	4.8	5.1	4.9	4.5	5.2	5.1	4.9
ทริโอนีน	2.8	3.5	3.3	3.3	4.1	3.6	3.1
ทริปโตเฟน	1.5	1.4	1.6	1.2	1.4	0.8	1.0
ไทโรซีน	2.7	2.5	3.0	1.9	3.3	4.4	1.5
วาลีน	4.4	5.4	5.6	4.9	5.7	5.2	5.0
อะลานีน	3.3	4.1	4.6	3.7	6.0	7.7	9.5
กรดแอสปาติก	4.7	6.1	7.8	6.5	10.4	6.4	6.3
กรดกลูทาริก	33.1	24.5	21.0	27.5	20.4	18.8	21.7
ไกลซีน	3.7	4.2	4.8	3.6	5.0	3.9	3.1
โปรลีน	11.1	10.9	4.7	10.4	4.8	8.8	7.9
เซอรีน	5.0	4.2	4.8	4.3	5.2	4.9	4.3
โปรตีน	16.3	12.1	17.8	14.5	11.1	10.6	10.5

ที่มา : Kent (1983)

2.2.3.3 ไขมัน

ปริมาณไขมันในข้าว ลูกเดือย และข้าวบาร์เลย์จะมีปริมาณไขมันร้อยละ 1-3 ส่วนข้าวโพดจะมีร้อยละ 4-6 โดยไขมันจะพบในส่วนคัพภะมากที่สุด รองลงมาคือ ส่วนเปลือกและในเนื้อเมล็ดพบไขมันน้อยที่สุด ซึ่งไขมันจะอยู่ในรูปกลีเซอไรด์ของกรดไขมันเป็นส่วนใหญ่ โดยกรดไขมันมีทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว โดยจะมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 11-26 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณร้อยละ 72-85 ของกรดไขมันทั้งหมด ส่วนในข้าวและข้าวโอ๊ตจะมีกรดโอเลอิกมาก ในขณะที่ข้าวไรน์มีกรดลิโนเลอิก และข้าวบาร์เลย์มีกรดลิโนเลนิกมาก (Kent, 1983)

ไขมันในธัญชาติอาจเสื่อมเสียได้ 2 ทางคือ กระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) จากเอนไซม์ไลเปสซึ่งมีในเมล็ด และกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) จากเอนไซม์ลิพอกซิเดสปกติไขมันและเอนไซม์ที่มีในเมล็ดจะอยู่คนละส่วนซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยากันได้ง่ายเช่น ในข้าวโอ๊ตจะมีเอนไซม์ไลเปสอยู่ในเปลือกหุ้มผล ในข้าวจะมีเอนไซม์ไลเปสในเปลือกหุ้มเมล็ด แต่ไขมันส่วนใหญ่จะสะสมในชั้นแอลิวโรน คัพภะและเนื้อเมล็ด ดังนั้นถ้าเก็บเมล็ดอยู่ในสภาพที่ดีจะเกิดการเสื่อมเสียได้ยาก แต่ถ้าในเมล็ดเสียหายเกิดรอยแผลจะทำให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยากับไขมันเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระซึ่งจะเกิดกลิ่นหืน เช่นเดียวกับปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันจะให้สารที่มีกลิ่นหืนเช่นเดียวกันกับกระบวนการไฮโดรไลซิส ดังนั้นในการแปรรูปธัญชาติจึงมีขั้นตอนการแยกคัพภะออกจากเนื้อเมล็ด เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของไขมัน นอกจากนี้ยังนำส่วนของคัพภะที่มีไขมันมากไปทำการสกัดไขมันออกก่อนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปเช่น การสกัดน้ำมันจากคัพภะของข้าวและข้าวโพด เป็นต้น (Kent, 1983)

2.2.3.4 แร่ธาตุ

แร่ธาตุจะพบอยู่ในเมล็ดธัญชาติ โดยจะอยู่ในรูปของฟอสเฟตและซัลเฟตของโพแทสเซียม แมกนีเซียมและแคลเซียม ซึ่งมีมากถึงร้อยละ 95 ของแร่ธาตุทั้งหมด โดยจะพบโพแทส-เซียมฟอสเฟตในรูป KH_2PO_4 และ K_2HPO_4 สำหรับฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปของกรดไฟติก นอกจากนี้ยังพบแร่ธาตุอื่นๆเช่น เหล็ก แมงกานีสและสังกะสีในปริมาณ 1-5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนทองแดงพบประมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เป็นต้น โดยในธัญชาติที่มีเปลือกหุ้มแข็งจะมีแร่ธาตุในชั้นมากกว่าในชั้นเปลือกหุ้มผล (Kent, 1983)

2.2.3.5 วิตามิน

วิตามินในธัญชาติส่วนใหญ่จะพบวิตามินบีรวมมากกว่าวิตามินชนิดอื่น โดยมีวิตามินไทอะมิน (บี 1) ไนอะซิน ไรโบฟลาวิน (บี 2) กรดแพนโทเทนิก (บี 3) และไพริดอกซิน (บี 6) กระจายอยู่ทั่วเมล็ดของธัญชาติ แต่ในสกูเทลลัมจะมีวิตามินไทอะมินมาก ส่วนในชั้นแอลิวโรนจะมีวิตามินไนอะซินมาก สำหรับวิตามินไพริดอกซินจะพบในชั้นแอลิวโรนและคัพภะ ซึ่งปริมาณของวิตามินบีของธัญชาติจะแตกต่างกันตามชนิดของธัญชาติ โดยทั่วไปจะพบวิตามินไนอะซินมากที่สุด รองลงมาคือ กรดแพนโทเทนิก ไทอะมีน ไพริดอกซินและไรโบฟลาวิน และพบกรดฟอลิกและไบโอตินน้อยที่สุด นอกจากวิตามินบีแล้วยังพบวิตามินอีและโทโคฟีรอล (tocopherols) ซึ่งโทโคฟีรอลทั้งชนิดแอลฟา, เบต้า, แกมมาและเดลตา โดยส่วนมากจะอยู่ในส่วนของคัพภะ เปลือกและเนื้อเมล็ด ซึ่งโทโคฟีรอลทั้งหมดจะมีอยู่ในข้าวสาลี 2.0-3.4 ข้าวบาร์เลย์ 0.75-0.9 ข้าวโอ๊ต 0.6-1.3 ข้าว 0.2-0.6 ข้าวโพด 4.4-5.1 และมิลเลต 1.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Kent, 1983)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โพรไบโอติก (Probiotic)

โพรไบโอติกคือ อาหารที่ส่งผลดีต่อสุขภาพช่วยส่งเสริมสุขภาพและช่วยปรับปรุงสมดุลของจุลินทรีย์ในร่างกาย ซึ่งนอกจากคำนิยามเกี่ยวกับโพรไบโอติก (ตารางที่ 2.5) ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นอีกมากมายซึ่งส่วนใหญ่จะพิจารณาจากผลกระทบโดยตรงกับจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในร่างกาย (Lee และ Salminen, 1995)

ตารางที่ 2.5 คำนิยามของโพรไบโอติก

ปีคริสต์ศักราช	นักวิจัย	คำนิยาม
1953	Kollath	โพรไบโอติกพบได้ในอาหารประเภทผักเช่นเดียวกับวิตามิน เอนไซม์ และสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของพืช
1955	Kolb	อันตรายที่เกิดจากการใช้ยาปฏิชีวนะสามารถป้องกันโดยใช้โพรไบโอติก
2001	Schrezenmeir และคณะ	เซลล์จุลินทรีย์หรือผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของจุลินทรีย์ เมื่อบริโภคในปริมาณที่มากพอจะช่วยปรับเปลี่ยนการอาศัยของจุลินทรีย์ของลำไส้ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค
2008	องค์การอาหารและยาประเทศไทย	จุลินทรีย์ที่มีชีวิตซึ่งเมื่อร่างกายได้ในปริมาณที่เพียงพอจะทำให้เกิดประโยชน์ด้านสุขภาพ

ที่มา : Lee และ Salminen (1995)

2.3.1 จุลินทรีย์ที่จัดเป็นโพรไบโอติก

จุลินทรีย์ที่จัดเป็นโพรไบโอติกมีหลายชนิดทั้งแบคทีเรีย ยีสต์และรา และแต่ละชนิดมีหลายสายพันธุ์ที่จัดเป็นโพรไบโอติกได้แก่

2.3.1.1 แบคทีเรีย ส่วนมากเป็นแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria)

ก) สกุล *Lactobacillus* เช่น *Lactobacillus acidophilus และ Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus sakei, Lactobacillus fermentum, Lactobacillus kefir* และ *Carnobacterium*

ข) จีนัส *Leuconostoc* ได้แก่ *Leuconostoc plantarum* และ *Leuconostoc mesenteroides*

ค) จีนัส *Pediococcus* ได้แก่ *Pediococcus pentosaceus* และ *Pediococcus halophilus*

ง) จีนัส *Streptococcus* ปัจจุบันแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่ม Enterococci เช่น *Enterococcus faecium* M74 และ SF68 กลุ่ม *Lactococci* เช่น *Lactococcus lactis* subsp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

lactis, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis* และกลุ่ม *Streptococci* เช่น *Streptococcus salivarius* subsp. *Thermophilus*

จ) จีนัส *Bifidobacterium* เช่น *Bifidobacterium animalis*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium thermophilum,* และ *Bifidobacterium infantis*

ฉ) จีนัส *Propionibacterium* ได้แก่ *Propionibacterium freudenreichii*

ช) จีนัส *Bacillus* ได้แก่ *Bacillus subtilis* และ *Bacillus licheniformis*

2.3.1.2 ยีสต์

ยีสต์ที่จัดเป็นโพรไบโอติกได้แก่ *Saccharomyces cereviaceae* และ *Candida pintolopesii*

2.3.1.3 รา

ราที่เป็นโพรไบโอติกได้แก่ *Aspergillus niger* และ *Aspergillus oryzae* (วิเชียร, 2541)

2.3.2 ประโยชน์ของโพรไบโอติกต่อสุขภาพ

มนุษย์มีการบริโภคโพรไบโอติกมาเป็นเวลานานในรูปของผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดต่างๆ และปัจจุบันนี้ได้มีอาหารประเภทโพรไบโอติกมากมายเช่น นมเปรี้ยวถั่วเหลืองรสผลไม้พร้อมดื่ม เป็นต้น เมื่อมนุษย์ได้รับโพรไบโอติกเข้าไปจะทำให้ร่างกายได้รับประโยชน์หลายประการเช่น

1) รักษาสมดุลของปริมาณจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร
2) ทำหน้าที่ในการย่อยแลคโตสทำให้ไม่เกิดอาการท้องเสีย
3) ยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดพิษหรือสารก่อมะเร็ง
4) ช่วยสร้างและสังเคราะห์วิตามินที่จำเป็นให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย
5) ช่วยกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันและลดอาการแพ้ต่างๆ
6) ลดระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด และ
7) ช่วยลดอาการท้องผูก (วารุณี, 2549)

2.4 พรีไบโอติก (Prebiotic)

พรีไบโอติกเป็นคาร์โบไฮเดรตสายสั้นๆที่ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ย่อยอาหารในร่างกายมนุษย์และถูกเรียกว่า คาร์โบไฮเดรตสายสั้นๆที่ทนต่อการย่อยหรือถูกเรียกว่าโอลิโกแซคคาไรด์ที่ไม่ถูกย่อย ซึ่งจะละลายได้ในเอทานอลร้อยละ 80 โดยคำจำกัดความของพรีไบโอติกคาบเกี่ยวกันกับความสำคัญของคำจำกัดความของใยอาหาร ปัจจุบันมีเพียงแค่โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยที่อยู่ในรูปของไดแซคคาไรด์ (disaccharide) โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) และพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) รีซิสแตนท์สตาร์ช (resistant starch) และน้ำตาลโพลีออลที่ได้รับการอ้างว่ามีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (Al-Sheraji และคณะ, 2013)

พรีไบโอติกที่ผ่านไปยังลำไส้เล็กแบคทีเรียโพรไบโอติกจะนำไปใช้ประโยชน์ โดยสารที่จัดเป็นพรีไบโอติกเช่น แลคทูโลส (lactulose) กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (galactooligosaccharide)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructooligosaccharide) อินนูลิน (inulin) ไฮโดรไลเสต (hydrolysate) ของอินนูลินและมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ (malto-oligosaccharide) (Al-Sheraji และคณะ, 2013)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณอินนูลินและโอลิโกฟรุกโตสในพืช

ชนิดของพืช	อินนูลิน (กรัมต่อ 100 กรัม)	โอลิโกฟรุกโตส (กรัมต่อ 100 กรัม)
หัวหอม	1.1-7.5	1.1-7.5
อาร์ทิโชก	16.0-20.0	12.0-15.0
ชิคอรี	35.7-47.6	19.6-26.2
กระเทียมต้น	3.0-10.0	2.4-8.0
กระเทียม	9.0-16.0	3.6-6.4
หน่อไม้ฝรั่ง	2.0-3.0	2.0-3.0
กล้วย	0.3-0.7	0.3-0.7
ข้าวสาลี	1.0-4.0	1.0-4.0
ข้าวไรน์	0.5-0.9	0.5-0.9
ข้าวบาร์เลย์	0.5-1.0	0.5-1.0
ต้นแดนดิไลออน	12.0-15.0	9.6-12.0

ที่มา : Van Loo และคณะ (1995)

สารพรีไบโอติกที่พบตามธรรมชาติสามารถพบได้ในอาหารหลายชนิดเช่น หน่อไม้ฝรั่ง ชิคอรี (chicory) มะเขือเทศและข้าวสาลี หรือเป็นส่วนประกอบตามธรรมชาติในนมแม่ (breast milk) ซึ่งประเภทของพรีไบโอติกที่หลากหลายและแหล่งที่พบของสารพรีไบโอติกแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ประเภทและแหล่งที่พบพรีไบโอติก

ประเภทของพรีไบโอติก	แหล่งที่มาของพรีไบโอติก
ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์	หน่อไม้ฝรั่ง, ผักกาดฝรั่ง, กระเทียม, ชิคอรี, หัวหอม, ข้าวสาลี, น้ำผึ้ง, กล้วย, ข้าวบาร์เลย์, มะเขือเทศและข้าวไรน์
ไอโซมอลทูโลส	น้ำผึ้ง, น้ำอ้อย
ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์	หน่อไม้, ผลไม้, ผัก, นม, น้ำผึ้ง และรำข้าวสาลี
กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์	น้ำนมมนุษย์ และน้ำนมวัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ประเภทและแหล่งที่พบพรีไบโอติก (ต่อ)

ประเภทของพรีไบโอติก	แหล่งที่มาของพรีไบโอติก
ราฟฟีโนสโอลิโกแซคคาไรด์	ถั่วเมล็ดแห้ง, ถั่วเลนทิล, ถั่วลันเตา, ถั่วฝัก, และมัสตาร์ด
ซอยบีน โอลิโกแซคคาไรด์	ถั่วเหลือง
แลคโตซูโครส	แลคโตส
ไอโซมอลทูโลส	ซูโครส
พาลาติโนส	ซูโครส
มอลโตโอลิโกแซคคาไรด์	แป้ง
ไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์	แป้ง
อะราบินอกซิลโอลิโกแซคคาไรด์	รำข้าวสาลี
เอนไซม์-รีซิสแตนท์เดกซ์ตริน	แป้งมันฝรั่ง
ไซโคลเดกซ์ตริน	Water-soluble glucan
แลคทูโลส	แลคโตส (นม)

ที่มา : Al-Sheraji และคณะ (2013)

2.4.1 ประโยชน์ของพรีไบโอติกต่อสุขภาพ

2.4.1.1 โรคกระเพาะและลำไส้อักเสบเฉียบพลัน

โรคกระเพาะและลำไส้อักเสบเฉียบพลัน (acute gastroenteritis) มักจะเกี่ยวข้องกับการบริโภคอาหารหรือน้ำที่ปนเปื้อนจุลินทรีย์หรือสารพิษจากจุลินทรีย์ สาเหตุโดยทั่วไปเกิดจากเชื้อ *Shigellae, Salmonella, Yersinia enterocolitica, Campylobacter jejuni, Escherichia coil Vibrio cholera* และ *Clostridium perfringens* ซึ่งเชื้อโรคเหล่านี้จะตั้งถิ่นฐานและเจริญเติบโตในระบบทางเดินอาหารและบุกรุกเข้าสู่เนื้อเยื่อของระบบทางเดินอาหารหรืออาจจะหลั่งสารพิษออกมากปนเปื้อนในอาหารก่อนบริโภค สารพิษดังกล่าวจะส่งผลต่อการทำงานของเยื่อเมือกในลำไส้ (intestinal mucosa) ทำให้เกิดการคลื่นไส้ อาเจียนและท้องเสีย ดังนั้นการมีอยู่ของแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ซึ่งมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในลำไส้ใหญ่ร่วมกับปัจจัยอื่นๆ เชื้อโรคในลำไส้ส่วนใหญ่จะใช้โมโน-โอลิโกแซคคาไรด์ (monooligosaccharide) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) สายสั้นๆ เป็นตัวรับ (receptors) และความรู้เกี่ยวกับบริเวณเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับการส่งเสริมสารพวกพรีไบโอติกของเชื้อโรคต่อตัวรับเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการโคโลนิเซชัน (colonization) ซึ่งในปัจจุบันการเตรียมยาหลายๆชนิดจะขึ้นอยู่กับโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) โดยในการทดลองระดับคลินิกสารที่เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาล multivalent ทำหน้าที่เป็น blocking factors ทำให้ตัวจับของเชื้อหลุดออกซึ่งมีศักยภาพมากพอที่จะพัฒนาพรีไบโอติกไปถึงลำดับของตัวรับน้ำตาลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นโมโนแซคคาไรด์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ และโมเลกุลเหล่านี้ควรจะมีกิจกรรม anti-adhesive มากพอที่จะยับยั้งการเกาะจับระดับต่ำของเชื้อโรค (Al-Sheraji และคณะ, 2013)

2.4.1.2 การลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง

มีรายงานพบว่ากิจกรรมของ Genotoxic enzyme ลดลงเมื่อได้รับประทานสารพรีไบโอติกเข้าไป จากการศึกษาในช่วงต้นซึ่งได้มีคนรับประทานกาแลคโตแซคคาไรด์พบว่าส่งผลให้เกิดการลดลงของไนโตรรีดักเทส (nitroreductase) ซึ่งเป็นสารกระตุ้นการเกิดมะเร็งและยังลดระดับของอินโดลและกรดไอโซวาลีริก (isovaleric acid) เมื่อนำรูปแบบของระบบทางเดินอาหารของมนุษย์มาใช้ในการตรวจสอบผลของกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อ genotoxic enzyme พบว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์เหล่านี้ได้ *β*-glucosidase, *β*-glucuronidase และ arylsulphatase (Al-Sheraji และคณะ, 2013)

2.4.1.3 การดูดซึมแร่ธาตุ

การดูดซึมแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับโครงสร้างของกระดูกและการดูดซึมที่เพิ่มขึ้นสามารถป้องกันไม่ให้เกิดโรคเช่น โรคกระดูกพรุน เป็นต้น ซึ่งมีรายงานว่าการเพิ่มกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ลงในอาหารของหนูสามารถเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมและแมกนีเซียมได้ ซึ่งกลไกนี้ยังไม่มีความชัดเจน แต่ในกรณีที่มีจุลินทรีย์เจ้าถิ่นในลำไส้ใหญ่ที่สิ่งจำเป็นต่อกาแลคโตโอลิโก-แซคคาไรด์ นอกจากนี้ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ยังมีผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุ และจากการศึกษามนุษย์ต้องได้รับโอลิโกแซคคาไรด์ 15 กรัมต่อวันหรืออินนูลิน 40 กรัมต่อวัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มการดูดซึมของแคลเซียม ส่วนการดูดซึมแมกนีเซียมพบว่าจะมีการดูดซึมแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นจากการบริโภคฟรุกโต-โอลิโกแซคคาไรด์ (Al-Sheraji และคณะ, 2013)

2.4.1.4 การควบคุมไขมัน

สารพรีไบโอติกอาจมีผลต่อการควบคุมไขมันถึงแม้ว่ากลไกนี้ยังไม่เป็นที่ทราบกันดี แต่การศึกษาได้แสดงให้เห็นถึงผลบวกและได้มีการพัฒนา mechanistic hypotheses โดยได้มีการศึกษาในหนูที่เป็นโรคเบาหวาน พบว่าเมื่อใช้ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์แทนคาร์โบไฮเดรตอย่างง่ายในอาหารพบว่าคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมเพิ่มขึ้นในหนูที่เป็นโรคเบาหวาน และไตรกลี-เซอไรด์ในตับเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับหนูที่มีสุขภาพดี ในการศึกษาอื่นๆมีการตรวจสอบฟรุกโต-โอลิโกแซคคาไรด์พบว่าช่วยลดไขมันในเลือดได้ สิ่งเหล่านี้คาดว่าเป็นเพราะการยับยั้งเอนไซม์ลิโพจีนิก (lipogenic enzyme) ในตับซึ่งอาจเป็นผลของกิจกรรมของ propionate ที่ถูกสร้างจากการหมักสารพรีไบโอติกโดยแบคทีเรียในลำไส้ (Al-Sheraji และคณะ, 2013)

2.5 ใยอาหาร (Dietary Fiber)

คำนิยามเกี่ยวกับใยอาหารที่เป็นที่ยอมรับคือ ปัจจัยด้านลักษณะทางกายภาพ ซึ่งลักษณะทางกายภาพของใยอาหารที่สำคัญหลักๆคือ สามารถทนต่อการย่อยในลำไส้เล็กได้ คำนิยามของคำว่าใยอาหารที่ผ่านๆมานั้นยังรวมถึงคาร์โบไฮเดรตที่ทนต่อการย่อยชนิดอื่นๆด้วยเช่น รีซิสแตนท์สตาร์ช มอลโตเดกซ์ทรินที่ทนต่อการย่อย ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์และกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับเซลลูโลสและพอลิเมอร์ที่มาจากการรวมตัวกันของคาร์โบไฮเดรตเช่น โพลีเดกซ์โตส (polydextrose) (Mudgil และ Barak, 2013)

ชนิดของใยอาหารถูกจำแนกได้จากแหล่งที่มาของความสามารถในการละลายน้ำ ประสิทธิภาพในการหมักและผลทางกายภาพ ปกติใยอาหารทั้งพอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช โอลิโกแซคคาไรด์ ลิกนิน และสารจากพืชที่เกี่ยวข้องจะสามารถรับได้จากธัญพืช ถั่วที่มีฝัก ผักและผลไม้ ส่วนสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยจะจัดเป็นใยอาหารที่สามารถทนต่อการย่อยในลำไส้เล็กของมนุษย์และผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ได้ ซึ่งมีการศึกษาเกี่ยวกับใยอาหารอย่างแพร่หลายมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เพราะว่ามีผลทางกายภาพที่เป็นประโยชน์เช่น ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ช่วยปรับปรุงการทำงานของลำไส้ใหญ่ และช่วยลดระดับน้ำตาลและระดับอินซูลินในเลือดได้ นอกจากนี้ใยอาหารยังสามารถแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการละลายน้ำได้ 2 ประเภทคือ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ใยอาหารนั้นช่วยปรับปรุงการเจริญและกิจกรรมของแบคทีเรียชนิดดีในลำไส้ และสารพวกพรีไบโอติกนั้นเป็นสารประกอบในอาหารที่มีความสามารถทนต่อการย่อยซึ่งส่งผลต่ออวัยวะของเจ้าบ้าน (host) ได้แก่ เกอร์กัม กัม ทากาแซนกัม ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ และกาแลคโตโอลิโก-แซคคาไรด์ โดยจะทำหน้าที่เป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียชนิดดีในลำไส้ ช่วยส่งเสริมการเจริญและช่วยเพิ่มกิจกรรมของแบคทีเรียในลำไส้ (Mudgil และ Barak, 2013)

ใยอาหารโดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตพอลิเมอร์ (พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช) โดยเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชทั้ง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกติน ซึ่งจะมีความคล้ายกับพอลิแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆของพืชและสาหร่ายเช่น กัม และมิวสิเลค และโอลิโกแซคคาไรด์เช่น สารพวกอินนูลิน ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับคาร์โบไฮเดรตที่ทนต่อการย่อยและสามารถผ่านส่วนของลำไส้เล็กไปได้แต่จะถูกย่อยโดยการหมักที่ลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ยังรวมถึงรีซิสแตนท์สตาร์ช ฟรุกโตโอลิโก-แซคคาไรด์ กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ และพอลิเมอร์ที่เกิดจากการรวมตัวกันของคาร์โบไฮเดรตเช่น โพลีเดกซ์โตส (Mudgil และ Barak, 2013)

2.5.1 ประโยชน์ของใยอาหารต่อสุขภาพ

2.5.1.1 ผลต่อระบบทางเดินอาหาร

จุลินทรีย์บางส่วนในลำไส้มีบทบาททางกายภาพที่สำคัญคือคาร์โบไฮเดรตที่ทนต่อการย่อยจะสามารถผ่านไปถึงลำไส้ใหญ่แล้วทำให้อุจจาระมีความอ่อนนุ่มขึ้น เพิ่มปริมาณของอุจจาระและช่วยให้ขับถ่ายได้ดีขึ้น ถ้ารับประทานใยอาหารเข้าไปมากก็จะไปช่วยเพิ่มปริมาณของอุจจาระให้เพิ่มขึ้นและจะช่วยให้เพิ่มเวลาการขับถ่ายให้มากขึ้น ซึ่งมีส่วนที่จะป้องกันความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในลำไส้ใหญ่ได้เช่น อาการท้องผูก ลำไส้อักเสบและมะเร็งลำไส้ใหญ่ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกดูดซึมส่วนใหญ่จะให้ฤทธิ์เหมือนยาระบายแล้วก็ยังช่วยเพิ่มปริมาณแบคทีเรียได้อีกด้วย (Mudgil และ Barak, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 ผลต่อการลดระดับคอเลสเตอรอล

ความสัมพันธ์ที่ผกผันกันระหว่างใยอาหารและอันตรายของโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด โดยพิจารณาจากปริมาณที่พอเหมาะของระดับการรับประทานใยอาหาร พบว่าสามารถช่วยลดความเสี่ยงของโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดได้ การรับประทานใยอาหารส่งผลต่อความเสี่ยงการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ กลไกการตั้งสมมติฐานต่อระดับที่ลดลงของคอเลสเตอรอลทั้งหมดและคอเลสเตอรอลชนิดไขมันที่มีความหนาแน่นต่ำรวมทั้งการรักษาระดับการดูดซึมคอเลสเตอรอลและกรดน้ำดี รวมทั้งการดูดซึมและการแก้ไขระบบเมทาบอลิซึมของตับ และการสลายไขมันในเส้นเลือด ใยอาหารที่มีความหนืดสูง (เช่น เบต้ากลูแคน เพกติน และเกอร์กัม) มีอิทธิพลต่อระดับไขมันในเลือด แต่ใยอาหารที่ไม่หนืดเช่น ใยอาหารจากข้าวสาลีและเซลลูโลสทั่วไปจะไม่สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลได้ บางรายงานพบว่าคุณสมบัติของการลดระดับคอเลสเตอรอลของใยอาหารที่มีความหนืดบางชนิด โดยเฉพาะเบต้ากลูแคนจากข้าวโอ๊ตสามารถลดความเสี่ยงของโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดได้ (Mudgil และ Barak, 2013)

2.5.1.3 ผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด

ความสัมพันธ์ผกผันระหว่างใยอาหารที่รับประทานกับความเสี่ยงของการเกิดโรคเบาหวานประเภทที่ 2 ใยอาหารบางชนิดจะไปช่วยลดการตอบสนองต่อระดับน้ำตาลในเลือด ใยอาหารที่มีความหนืดแสดงให้เห็นผลทั้งที่มาจากอาหารทั่วไปมีผลที่เหมือนกับในอาหารเสริมที่แยกได้ ซึ่งมีรายงานว่าการรับประทานเส้นใยอาหารที่ไม่หนืดเช่น ธัญพืชเต็มเมล็ดเป็นผลดีต่อความเสี่ยงของการต้านอินซูลินและโรคเบาหวาน (จะมีความเสี่ยงน้อยถ้ารับประทานมาก) ใยอาหารที่บริโภคนั้นมีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับดัชนีมวลกาย อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาเกี่ยวกับการแทรกแซงความอยากอาหาร พลังงาน และอาหารทั้งหมดที่รับประทานนั้นมีความไม่สอดคล้องกัน มีข้อบ่งชี้บางอย่างว่าใยอาหารที่มีความหนืดเช่น เพกตินและเกอร์กัม ทำให้เกิดการย่อยที่กระเพาะอาหารได้ช้า และเกิดการย่อยสตาร์ชกับรีซิสแตนท์สตาร์ชได้ช้าทำให้อิ่มไว การรวมตัวกันของใยอาหาร สารอาหาร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ทำหน้าที่ร่วมกันส่งผลดีต่อสุขภาพ โดยมีส่วนช่วยในการป้องกันและบรรเทาความผิดปกติของลำไส้ ช่วยลดปัจจัยเสี่ยงของการเกิดโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด และโรคเบาหวานประเภทที่ 2 (Mudgil และ Barak, 2013)

2.6 สารพฤกษเคมี (Phytochemical)

สารพฤกษเคมีหมายถึง สารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืช โดยสารกลุ่มนี้อาจเป็นสารที่ทำให้พืชผักชนิดนั้นๆมีสี กลิ่นหรือรสชาติที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว สารพฤกษเคมีหลายชนิดมีฤทธิ์ต่อต้านหรือป้องกันโรคบางชนิดและโรคสำคัญที่มักจะกล่าวกันว่าสารกลุ่มนี้ช่วยป้องกันได้คือ “โรคมะเร็ง” กลไกการทำงานของสารพฤกษเคมีเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะช่วยให้เอนไซม์บางกลุ่มทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งเอนไซม์บางชนิดทำหน้าที่ทำลายสารก่อมะเร็งที่เข้าสู่ร่างกายมีผลทำให้สารก่อมะเร็งหมดฤทธิ์ ซึ่งปัจจุบันพบสารพฤกษเคมีมากกว่า 15,000 ชนิด โดยเฉพาะสารพฤกษเคมีที่อยู่ในผักแสดงออกเป็นสารสีต่างๆกันเช่น สารสีเขียว ได้แก่ บล็อกโคลี คะน้า ผักชี บวบ หน่อไม้ฝรั่ง กุยช่าย ผักบุ้ง ผักโขม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผักปวยเล้ง ผักกาดหอม แตงกวา ถั่วลันเตา เป็นต้น สีเขียวนั้นเกิดจากสารคลอโรฟิลล์ที่ช่วยในการเผาผลาญอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันโรคและช่วยเร่งกำจัดฤทธิ์สารก่อมะเร็ง สารสีน้ำเงินหรือม่วงได้แก่ หัวบีท กะหล่ำปลีม่วง หอมแดง ดอกอัญชัน เผือก มะเขือม่วง เป็นต้น มีสารพวกแอนโธไซยานิน (anthocyanin) ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์และดวงตา ช่วยลดความเสี่ยงจากโรคหัวใจ อัมพาต ส่วนสารสีส้มหรือเหลืองได้แก่ แครอท ฟักทอง อุดมไปด้วยสารเบต้าแคโรทีน และฟลาโวนอยด์ช่วยให้มองเห็นในที่มืดได้ดี ลดความเสื่อมของเซลล์ของลูกตา ลดความเสี่ยงต่อการเป็นต้อกระจก ช่วยป้องกันผิวที่อาจเกิดจากอันตรายของรังสีอัลตราไวโอเลตที่มากับแสงแดดได้ จึงทำให้ผิวพรรณมีสุขภาพดี ไม่มีริ้วรอยแก่ก่อนวัย แลดูสดใสอยู่เสมอ นอกจากนี้ยังช่วยรักษาสภาพปกติของเซลล์เยื่อบุตาขาว กระจกตา ช่องปาก ทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ รวมถึงทางเดินปัสสาวะให้เป็นปกติและยังช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายทำงานได้ดีอีกด้วย สารสีแดงได้แก่ มะเขือเทศ พริกแดง แตงโม กระเจี๊ยบแดง หัวบีทรูท มีสารไลโคพีน (lycopene) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระชั้นดี ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ต่างๆในร่างกายโดยเฉพาะเซลล์ผิวหนังและช่วยลดปริมาณไขมันในเลือด ช่วยป้องกันการเกิดลิ่มเลือด ช่วยลดการเจ็บป่วยและเพิ่มการเผาผลาญไขมัน และสารสีขาวหรือน้ำตาลได้แก่ กระเทียม เซเลอรี่ (ขึ้นฉ่ายฝรั่ง) หอมหัวใหญ่ เห็ด ขิง ข่า ลูกเดือย งาขาว เป็นต้น มีสารอัลลิซินที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดการแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งและเนื้องอก ช่วยกระตุ้นเอนไซม์ในการทำลายพิษ ช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือด และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2546)

สารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสารพฤกษเคมีในอาหารขั้นปฐมภูมิ โดยพิจารณาจากส่วนโครงสร้างทางเคมีและความสำคัญในเซลล์ระดับสรีรวิทยาและชีวเคมีสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.6.1 วิตามินซี

ตามโครงสร้างทางเคมีของวิตามินซีจะเรียกว่า กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) มีโครงสร้างคล้ายน้ำตาลเฮกโซส (hexose) ซึ่งมีหมู่ ene-diol ที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 ทำให้กรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวซ์ที่รุนแรง โดยจะออกซิไดซ์เป็น dehydroascorbic acid ได้ง่าย (Blasa และคณะ, 2010) วิตามินซีจะถูกดูดซึมได้ง่ายที่ลำไส้เล็กและถูกนำไปยังเนื้อเยื่อและน้ำในส่วนต่างๆของร่างกายทางกระแสเลือด จากการศึกษาพบว่าร้อยละ 80-90 ของวิตามินซีซึ่งมีอยู่ในอาหารจะถูกดูดซึมอาหารซึ่งมีเพกตินมากและขัดขวางการดูดซึมของวิตามินซีในร่างกาย วิตามินซีจะอยู่ในสภาพกรดแอสคอร์บิกและกรดไฮโดรแอสคอร์บิก แต่โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพกรดแอสคอร์บิก เนื้อเยื่อที่มีเมทาบอลิซึมสูงจะมีวิตามินซีมากเช่น ต่อมหมวกไต ตา สมอง เนื้อเยื่อที่มีวิตามินซีน้อยได้แก่ ไขมัน ผิวหนัง เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และกล้ามเนื้อ (คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, 2550)

กรดแอสคอร์บิกมีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการเมทาบอลิก (metabolic) หลายกระบวนการเช่น ฮอร์โมนคอติโคสเตียร์รอย (corticosteroid hormones) กรดน้ำดี (biliary acid) คาร์นิทีน (carnitine) โพรสตาแกลนดิน (prostaglandins) ฮิสตามีน (histamine) คอลลาเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(collagen) เหล็ก (iron) ไทโรซีน (thyroxine) และสารสื่อประสาทบางชนิด วิตามินซียังช่วยปรับปรุงการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันและสนับสนุนการขจัดซีโนไบโอติก (xenobiotic) และอนุมูลอิสระ (Blasa และคณะ, 2010)

2.6.2 วิตามินอี

วิตามินอีหรือโทโคฟีรอล (tocopherol) เป็นวิตามินที่ละลายในไขมันชนิดที่สำคัญที่สุดสำหรับมนุษย์และสัตว์ วิตามินอีพบได้ในผนังเซลล์ทุกชนิดและในหยดไขมัน (fat depots) โดยวิตามินอีมีหน้าที่ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งเช่น กรดไลโนเลอิก กรดไลโนเลนิกและกรดอะแรชิโดนิกซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ โดยวิตามินอีพบมากในน้ำมันพืช แต่ปริมาณของวิตามินอีจะลดลงในกระบวนการผลิตเนื้อสัตว์ต่างๆ ไขมันสัตว์ ผักและผลไม้มีปริมาณวิตามินอีต่ำ ยกเว้นผักสีเขียวเข้มจะมีวิตามินอีสูงเช่น น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันดอกคำฝอย จมูกข้าวสาลี เมล็ดอัลมอนด์ และถั่วลิสงคั่ว เป็นต้น (กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2546; USDA Dietary Guidelines for Americans, 2005)

2.6.3 แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นรงควัตถุตามธรรมชาติที่ละลายได้ในไขมัน แคโรทีนอยด์มากกว่า 600 ชนิดแยกมาจากพืช จุลินทรีย์และสัตว์ และอีกประมาณ 20 ชนิดแยกได้จากเซรั่มจากเลือดของมนุษย์หลังจากบริโภคผักและผลไม้ แคโรทีนที่เกิดขึ้นมีหลายรูปแบบเช่น α-carotene และ β-carotene นอกจากนั้นยังมี γ-carotene, δ-carotene และ ε-carotene ซึ่งสารเบต้าแคโรทีนประกอบด้วยกลุ่มรีตินิล 2 กลุ่มและถูกทำลายลงในเนื้อเยื่อบุของลำไส้เล็กโดยเอนไซม์ β-carotene dioxygenase เพื่อให้ร่างกายและจอประสาทตานำไปใช้ได้ทั้ง retinoic acid และ retinals โดยมีการใช้งานในรูปแบบของวิตามินเอ แคโรทีนอยด์ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ป้องกันไขมันจากปฏิกิริยาเพอออกซิเดชัน (peroxidation) คือจะไปจับกับอนุมูลอิสระ singlet oxygen ในผลไม้ตระกูลส้มและผักจำพวกแครอท มันฝรั่งหวาน ฟักทองเทศ ฟักทอง มะละกอ มะม่วง และแคนตาลูป ซึ่งเป็นแหล่งแคโรทีนอยด์ (Blasa และคณะ, 2010)

ไลโคปีน (lycopene) เป็นส่วนประกอบของแคโรทีนอยด์ที่มีพันธะคู่เหมือนกัน 11 พันธะต่อกันเป็นเส้นตรง ไลโคปีนเป็นสารตั้งต้นของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ซึ่งเกิดจากโครงสร้างแบบไซคลิก (cyclization) และปฏิกิริยาการเติมหมู่ -OH (hydroxylation) เข้าไปภายหลังของตำแหน่งคาร์บอนที่เฉพาะเจาะจง มักพบในมะเขือเทศ แตงโม ส้มโอสีชมพู ผลแอปริคอทและฝรั่งสีชมพู โดยจะเป็นแหล่งที่พบไลโคปีนมากที่สุด (Blasa และคณะ, 2010)

แซนโทฟิล (xanthophyll) เป็นสารแคโรทีนอยด์ที่มีรงควัตถุเป็นสีเหลืองเช่น ซีอะแซนทิน (zeaxanthin) และลูทีน (lutein) มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์แสงและพบมากในใบของพืช ช่วยในการลดความเสี่ยงของการพัฒนาอายุของจอประสาทตาเสื่อมและโรคต้อกระจก (Blasa และคณะ, 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 กลูโคซิโนเลท

กลูโคซิโนเลทจัดเป็นไทโอกลูโคซิเดส (thioglucosides) ซึ่งเป็นสารกลุ่มเด่นที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในพืช กลูโคซิโนเลท (glucosinolates) ประกอบด้วยหมู่ β-D-glucopyranose ที่เชื่อมต่อกับอะตอมของซัลเฟอร์และเชื่อมต่อกับอะลิฟาติก (aliphatic) หรือไม่ก็เชื่อมกับอะโรมาติก (aromatic) หรือสายโซ่อินโดล (indole chain) กลูโคซิโนเลทมาเป็นทริปโตเฟน (tryptophan) ขณะที่สาร non-indolic glucosinolate ได้มาจากกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ (Blasa และคณะ, 2010)

2.6.5 โพลีฟีนอล

โพลีฟีนอลเป็นสารทุติยภูมิที่ได้จากพืช ทำให้เกิดคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และช่วยต่อต้านเชื้อโรค โดยโครงสร้างทางเคมีของฟีนอล (phenol) จะมีวงแหวนอะโรมาติก (aromatic) อย่างน้อย 1 วง หรือมากกว่านั้นกับหมู่ไฮดรอกซิล (hydeoxyl) อย่างน้อย 1 หมู่หรือมากกว่า 1 หมู่ กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้ง ROS หรือจับกับ pro-oxidant ที่เป็นไอออนของโลหะโดยเฉพาะกลุ่มของ OH (Blasa และคณะ, 2010)

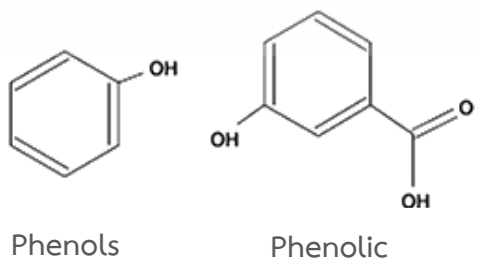
เดิมสารที่เป็นโพลีฟีนอล (polyphenol) จะเคลื่อนย้ายหมู่ไฮโดรเจน (hydrogen) 1 หมู่ไปยัง peroxyl radical ต่อไป

$$ROO^{\cdot} + ArOH \longrightarrow ArO^{\cdot} + ROOH$$

ฟีนอกซีเรดิคอล (fenoxy radical; $ArO^{\cdot}$) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้ค่อนข้างจะเสถียรและตอบสนองช้ากับสารตั้งต้นชนิดอื่นๆ จึงรบกวนสายโซ่ของออกซิเดทีฟรีแอคชัน (oxidative reaction) ที่ความเข้มข้นสูง สารโพลีฟีนอล (polyphenol) อาจทำหน้าที่เป็น pro-oxidant เนื่องจากปริมาณของฟีนอกซีเรดิคอล (fenoxy radical) ที่เกิดขึ้นสามารถกระตุ้นออกซิเดทีฟรีแอคชันได้ (Blasa และคณะ, 2010) ซึ่งสารประกอบที่เป็นโพลีฟีนอลมีดังนี้

2.6.5.1 กรดฟีนอลิก

กรดฟีนอลิก (phenolic acid) จะประกอบไปด้วยสองกลุ่มหลักๆคือ กรดเบนโซอิก (benzoic acid) และกรดซินนามิก (cinnamic acid) โดยธรรมชาติกรดฟีนอลิกที่มีอยู่ในผักและผลไม้มีทั้งแบบอิสระหรือแบบคอนจูเกตมักเป็นพวกเอสเทอร์หรือเอไมด์ (Blasa และคณะ, 2010)



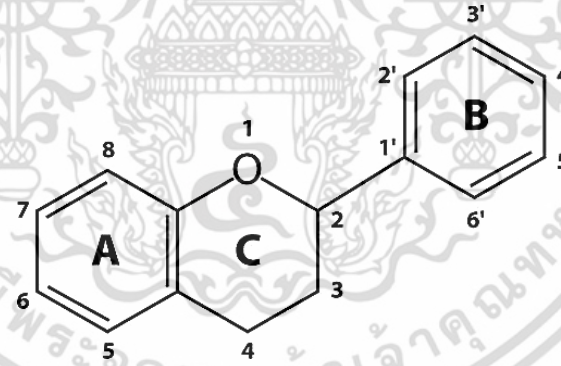
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก
ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com (1 พฤศจิกายน 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบฟีนอลิกจะประกอบด้วยการเชื่อมกันระหว่างวงแหวนเบนโซนิก (benzonic) 2 วง โดยอีเทนหรือตัวเชื่อมอีเทน (รูปที่ 2.17) โดยจะพบอย่างแพร่หลายในพืชชั้นสูง ซึ่งทำหน้าที่เป็น phytoalexins ควบคุมการเจริญเติบโตและสามารถป้องกันโรคหัวใจได้ (Blasa และคณะ, 2010)

2.6.5.2 ฟลาโวนอยด์

โครงสร้างทั่วไปของฟลาโวนอยด์จะประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) 2 วงคือวง A และ B ที่เชื่อมต่อกัน มีการเติมออกซิเจนให้กับเฮเทอโรไซคลิกของวงแหวน C โครงสร้างของวงแหวน C จะเป็นเช่นเดียวกันกับสถานะของออกซิเดชัน (oxidation) และหมู่ของฟังก์ชันของสารประกอบฟลาโวนอยด์แบ่งออกเป็นฟลาโวนอล (flavonols) ฟลาโวน (flavones) ฟลาวานอล (flavanols) ฟลาวาโนน (flavanones) แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) และไอโซฟลาโวนอยด์ (isoflavonoids) (รูปที่ 2.18) ในผักกาดและผลไม้จะพบฟลาโวนอยด์ได้บ่อยในรูปไกลโคไซด์ (glycoside) ปฏิกิริยาไกลโคซิเลชัน (glycosylation) ทำให้โมเลกุลในปฏิกิริยาลดน้อยลงแต่ละลายน้ำได้ กลูโคสเป็นน้ำตาลที่มักจะเกี่ยวข้องกับการเกิดไกลโคไซด์ (glycoside) แต่ยังสามารถพบได้ในกาแลคโตส (galactose) ไซโลส (xylose) แรมโนส (rhamnose) และอะราบิโนส (arabinose) นอกจากนี้ยังมีพวกไดแซคคาไรด์ (disaccharide) เช่น รูโตส (rutose) (Blasa และคณะ, 2010)



รูปที่ 2.18 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์
ที่มา : http://www.smj.ejnal.com (1 พฤศจิกายน 2559)

ฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบมาก โดยจะพบมากในพืชและผลไม้ มีหน้าที่อีกอย่างคือ เป็นรงควัตถุทำหน้าที่กรองแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะเจาะจง และทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยไปกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเซลล์พืชออกไป ความสามารถของการต้านออกซิเดชันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของฟลาโวนอยด์ และคุณสมบัติของฟลาโวนอยด์ยังสามารถช่วยลดการอักเสบ ช่วยให้หลอดเลือดแข็งตัว ทำให้การไหลเวียนเลือดดีขึ้น ต่อต้านแบคทีเรียและไวรัส ลดคอเลสเตอรอล และช่วยเสริมการทำงานของวิตามินซี พบได้ในพืชหลายชนิดเช่น ส้ม พริกไทย และพวกผลไม้เบอร์รี่ต่างๆ เป็นต้น (Buhler และ Miranda, 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งของฟลาโวนอยด์พบได้ในอาหารตะวันตกรวมทั้งผลไม้เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม แอปริคอท เชอร์รี่ องุ่น แบล็คเคอร์แรนท์ บิลเบอร์รี่ และแอปเปิล ในจำนวนผักรวมทั้งหอมหัวใหญ่ บล็อกโคลี่ มะเขือเทศ ผักโขม ผักกาดเขียว ถั่วเหลือง และสมุนไพรที่มีกลิ่นหอม ในสมุนไพรและเครื่องเทศที่มีกลิ่นหอมจะมีความเข้มข้นของฟลาโวนอยด์สูงกว่าผักทั่วไป ส่วนสมุนไพรที่มีกลิ่นหอมยังมีสารต้านอนุมูลอิสระพิเศษที่เป็นต้นกำเนิดของสารฟีนอลิก (phenoric) สำหรับกรณีของโรสแมรี่จะเป็นฟีนอลิกพวก diterpene, carnosol และ rosmanol ซึ่งรวมถึงกรด carnosic และกรด rosmainic ซึ่งจะมีสารต้านอนุมูลอิสระของฟีนอลมากในสมุนไพรชนิดนี้ สำหรับในพริกไทย (piper nigrum) จะประกอบไปด้วยเอไมด์ 5 หมู่ของกรดฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (Blasa และคณะ, 2010) โดยฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งได้เป็น 6 ประเภทตามการเชื่อมต่อของโครเมนคือ

ก) กลุ่มฟลาโวน (flavones) เป็นกลุ่มฟลาโวนอยด์กลุ่มหนึ่งที่พบในพืชเป็นจำนวนมากมีการกระจายตัวทั่วไปในวงศ์พืชใบเลี้ยงคู่ ซึ่งส่วนใหญ่มักพบที่ส่วนใบ ส่วนเหนือดินและผลจะพบในผักชีฝรั่ง หอมหัวใหญ่ ชา ส้ม คาโมมาย แอปเปิล และแครอท เป็นต้น

ข) กลุ่มฟลาโวนนอล (flavonols) โครงสร้างจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) แทนที่ตำแหน่ง C-3 ดังนั้นอาจเรียกชื่อว่า 3-hydroxyflavone พบในผักและผลไม้หลายชนิดเช่น ชาเขียว แอปเปิล องุ่น หอมแดง ช้าเรือด มะเขือเทศ เป็นต้น

ค) กลุ่มฟลาวาโนน (flavanones) ส่วนใหญ่จะไม่มีสีหรืออาจมีสีเหลืองอ่อนๆ การกระจายตัวในพืชพบได้น้อยกว่าฟลาโวนและฟลาโวนอล มักพบในเกรปฟรุต ส้ม และองุ่น

ง) กลุ่มฟลาวาโนนอล (flavanonols) เป็นกลุ่มที่พบในธรรมชาติได้น้อยแต่โครงสร้างมีความหลากหลาย ฟลาวาโนนอลเมื่อถูกด่างที่อุณหภูมิสูงจะสลายตัวให้ชาร์โคลแต่จะคงตัวได้ดีในกรด พบในเมล็ดของ milk thistle, Larix sibirica และ Chinese yew เป็นต้น

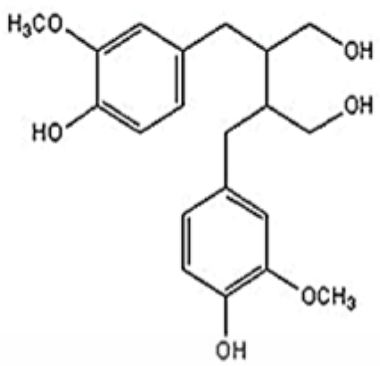
จ) กลุ่มฟลาแวน (flavans) ฟลาวานอล (flavanols) โปรไซยานิดิน (procyanidins) และลิวโคแอนโทไซยานิน (leucoanthocyanins) ซึ่งสารกลุ่มฟลาวานอลนั้นจะหมายถึงสารกลุ่มคาเทชิน (catechins) สารกลุ่มเหล่านี้จะพบได้ในชาเขียว และชาดำ

ฉ) กลุ่มแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) เป็นสารที่ทำให้เกิดสีสันของดอกไม้และผลไม้บางชนิด พบได้ในกลีบดอกไม้และส่วนอื่นๆ เช่นกลีบเลี้ยง ใบ เปลือกผล โดยสีจะออกทางโทนส้ม แดง น้ำเงิน และม่วง (วีณา, 2556)

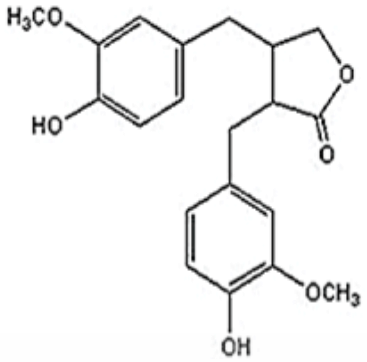
2.6.5.3 ลิกแนน

ลิกแนนเป็นไดเมอร์ (dimer) ของไดนามิกส์แอลกอฮอล์ (dynamic alcohol) ซึ่งมี cyclizes ในรูปแบบที่แตกต่างกันไปก่อให้เกิดความหลากหลายของโมเลกุล (รูปที่ 2.19) โดยลิกแนนจะอยู่ในเนื้อเยื่อไม้ เมล็ดธัญพืชและพืชผักเช่น แครอท บล็อกโคลี และเบอร์รี่ รวมไปถึงพวกสารไอโซฟลาโวน ซึ่งลิกแนนจัดอยู่ในประเภทของไฟโตเอสโตรเจน (phytoestrogens) คือ สารธรรมชาติที่ได้จากพืชซึ่งมีผลต่อการป้องกันระบบหัวใจและหลอดเลือดและระบบภูมิคุ้มกัน (Blasa และคณะ, 2010)

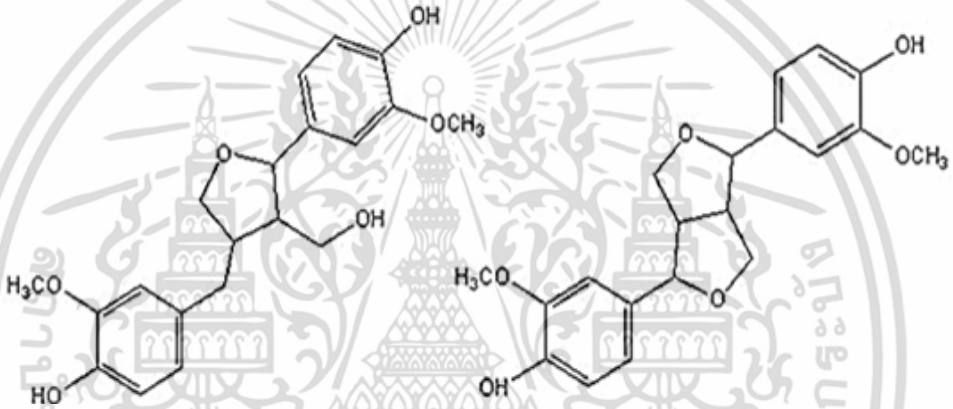
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Secoisolariciresinol



Matairesinol



Lariciresinol Pinoresinol

รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสารจำพวกลิกแนน
ที่มา : http://lpi.oregonstate.edu.com (1 พฤศจิกายน 2559)

2.6.5.4 แทนนิน

แทนนินเป็นพอลิเมอร์ของกรดฟีนอลิก (phenoric acid) หรือสารพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ที่มีอยู่ในธรรมชาติ มีทั้งชนิดที่เป็นไฮโดรไลซ์แทนนิน (hydrolysable tannins) และนอนไฮโดรไลซ์แทนนิน (non-hydrolysable tannins) หรือคอนเดนส์ (condensed) แทนนิน ซึ่งหน่วยพื้นฐานของไฮโดรไลซ์แทนนินเป็นกรดแกลลิกและกรดแอลลาจิก (ellagic acid) ที่ถูกเอสเทอริไฟล์กับโมเลกุล ส่วนใหญ่มักเป็นน้ำตาลกลูโคสหรือสารโพลีฟีนอลเช่น คาเทชิน (catechin) คอนเดนส์แทนนินหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โปรแอนโทรไซยานิดิน (proanthocyanidins) ส่วนมากจะเป็นพอลิเมอร์ของฟลาโวนอยด์ โดยแทนนินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพแต่ไม่ถูกดูดซึมโดยลำไส้และได้รับการพิจารณาว่าเป็นสาร antinutritional factor เนื่องจากสามารถทำให้สารนี้มีความซับซ้อนและทำให้โปรตีนตกตะกอนและยับยั้งเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารได้ (Blasa และคณะ, 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 อนุมูลอิสระ (Free radicals)

อนุมูลอิสระ (free radicals) เป็นสารที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (unpaired electron) อยู่วงนอกของอะตอม มักจะไม่เสถียรและความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยา ตัวอย่างของอนุมูลอิสระที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ superoxide, hydroxyl ($RO^{\bullet}_2$), alkoxyl ($RO^{\bullet}$) และอนุมูล hydroperxyl ($HO^{\bullet}_2$) (ตารางที่ 2.7) ไนตริกออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ ($^{\bullet}NO_2$) เป็นอนุมูลที่ประกอบด้วยไนโตรเจน 2 ตัว อนุมูลอิสระที่ประกอบด้วยออกซิเจนและไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนเป็นกลุ่มอื่นๆที่มีปฏิกิริยาไม่รุนแรงได้เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) กรดไฮโปโบรมัส (HOBr) และเพอร์รอกซีไนเตรท ($ONOO^-$) กลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (reactive oxygen species, ROS) กลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (reactive nitrogen species, RNS) และกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบสำคัญจะผลิตขึ้นในสัตว์และมนุษย์ภายใต้สภาพสรีรวิทยา (physiologic) และพยาธิวิทยา (pathologic) ดังนั้นกลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญและกลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญเป็นกลุ่มที่รุนแรงและไม่รุนแรง (Fang และคณะ, 2002) อนุมูลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอนุมูลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เนื่องจากอิเล็กตรอนเดี่ยวจะไม่เสถียรและพยายามจับคู่กับอิเล็กตรอนเดี่ยวตัวอื่น ดังนั้นอนุมูลอิสระจึงมีคุณสมบัติเฉพาะคือ มีความไวสูงในการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆ อย่างไรก็ตามยังคงมีอนุมูลอิสระบางชนิดที่มีความเสถียรไม่ไวในการเกิดปฏิกิริยาและสามารถคงอยู่ในสภาพอนุมูลได้นาน การเกิดอนุมูลอิสระมีหลายกลไกที่แตกต่างกัน (โอภา และคณะ, 2550) ดังนี้

ก) การแตกของพันธะโควาเลนท์แบบโฮโมไลซิส

$$A : B \longrightarrow A^{\bullet} + B^{\bullet}$$

ข) การเพิ่มอิเล็กตรอน 1 ตัวจากอะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้า

$$A + e^- \longrightarrow A^{-\bullet}$$

ค) การสูญเสียอิเล็กตรอน 1 ตัวจากอะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้า

$$A \longrightarrow A^{+\bullet} + e$$

2.7.1 สาเหตุการเกิดอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระในสิ่งมีชีวิตเกิดจากการเผาผลาญของเซลล์โดยการใช้ออกซิเจน อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออน ($O_2^{-\bullet}$) และอนุมูลไฮดรอกซี ($^{\bullet}OH$) เป็นอนุมูลที่พบในเซลล์มากกว่าอนุมูลชนิดอื่นๆ อนุมูลอิสระเกิดได้จากหลายสาเหตุดังนี้

2.7.1.1 ไมโตคอนเดรียทำงานผิดปกติ

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาผลาญจะก่อให้เกิดความเสียหายกับไมโตคอนเดรียโดยเฉพาะดีเอ็นเอชนิด mDNA ทำให้มีรหัสที่ผิดไปและส่งผลให้โปรตีนที่สร้างขึ้นจากการถอดรหัสนั้นผิดปกติ หากโปรตีนที่ผิดปกตินั้นมีบทบาทและหน้าที่สำคัญจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ ทำให้กระบวนการส่งผ่านอิเล็กตรอนในไมโตคอนเดรียบกพร่อง ทำงานได้ลดลง มีการรั่วไหลของอิเล็กตรอนมากกว่าปกติ มีผลทำให้เกิดอนุมูลอิสระ $O_2^{-\bullet}$ เพิ่มขึ้นมากกว่าที่สารต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามธรรมชาติที่มีอยู่ในเซลล์จะขจัดให้ นอกจากมีอนุมูลอิสระที่ไม่ถูกกำจัดจำนวนมากแล้วยังมีผลทำให้สารต้านอนุมูลธรรมชาติในเซลล์เช่น กลูต้าไธโอน (GSH) วิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินอี มีปริมาณลดลงหรือหมดไป และเกิดสภาวะออกซิเดชันในเซลล์ไม่สมดุลโดยมีอนุมูลอิสระมากเกินไป เซลล์จึงตกอยู่ในสภาวะเครียดถูกบีบคั้นจากการออกซิไดซ์ (oxidative stress) นอกจากนั้นอนุมูลไฮดรอกซีที่เกิดจากอนุมูล $O_2^{-\circ}$ ยังทำให้ไมโตคอนเดรียเสียหายรุนแรงมากขึ้น โดยอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออนไปออกซิไดซ์กลุ่ม [4Fe-4S] ในเอนไซม์ ทำให้เกิดเหล็กในรูปอิสระ (Fe^{+2}) Fe^{2+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และยังทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซีจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยปฏิกิริยาเฟนตัน (Fenton) ($Fe^{2+} + H_2O_2 \longrightarrow Fe^{3+} + HO^\circ + OH^-$) นอกจากปฏิกิริยาเฟนตันแล้วยังทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซีโดยปฏิกิริยาฮาเบอร์ไวส์ (Haberweiss) จากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{-\circ} + H_2O_2 \longrightarrow O_2 + HO^\circ + OH^-$) (โอภา และคณะ, 2550)

ตารางที่ 2.8 อนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้อง

อนุมูลอิสระ	สารที่เกี่ยวข้อง
Reactive oxygen species (ROS, RS)	
Superoxide, Superoxide anion O_2	H_2O_2 Ozone O_3
Hydroxyl, $^\circ OH$	Hypobromous acid, HOBr
Hydroperoxyl, HO_2°	Hypochlorous acid, HOCl
Peroxyl, RO_2°	Singlet oxygen (O_2^1 g)
Alkoxyl, RO°	Organic peroxides, ROOH
Carbonate, $CO_3^{-\circ}$	Peroxynitrite, $ONOO^-$
Carbon dioxide, $CO_2^{-\circ}$	Peroxynitrous, ONOOH
Reactive nitrogen species (RNS)	
Nitric oxide	Nitrous acid, HNO_2
Nitrogen dioxide, NO_2° $NO_2^{\circ-}$	Nitrosyl cation, NO^+ Nitroxyl anion, NO^- Dinitrogen trtroxide, N_2O_4 Dinitrogen trioxide, N_2O_3 Peroxynitrite, $ONOO^-$ Peroxynitrous acid, ONOOH Nitronium (nitryl) cation, NO_2^+ Alkyl peroxynitrites, ROONO
Reactive chlorine species (RCS)	
Atomic chlorine, Cl	Hypochlorous acid, HOCl Nitryl (nitronium) chloride, NO_2Cl Chloramines Chlorine gas (Cl_2)

ที่มา : โอภา และคณะ (2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.2 กระบวนการเมทาบอลิซึม

กระบวนการเมทาบอลิซึมโดยเอนไซม์ได้แก่ กระบวนการเมทาบอลิซึมอะรักชิโนดิก โดยเอนไซม์โคลออกซิจิเนสให้เป็นโพรสตาแกลนดินส์และลูโคโทรอีน กระบวนการเมทาบอลิซึมแซนทีนและไฮโปแซนทีน โดยเอนไซม์แซนทีนออกซิเดสเป็นยูริก และการทำงานของเอนไซม์เอ็นเอดีพีเอช ออกซิเดส การเกิดอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออนจากกระบวนการเหล่านี้นับว่ามีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการรั่วไหลจากไมโตคอนเดรีย และไม่เกิดอันตรายแก่เซลล์หากระบบกำจัดอนุมูลทำงานเป็นปกติได้แก่ เอนไซม์เอสโอดี เอนไซม์คะตะเลส และเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส เป็นต้น (โอภา และคณะ, 2550)

2.7.1.3 กรดอะมิโนที่มีฤทธิ์กระตุ้นเซลล์ประสาทและระบบสื่อประสาท

กรดอะมิโนบางชนิดมีฤทธิ์กระตุ้นเซลล์ประสาทและระบบสื่อประสาทเช่น กรดกลูตามิกและกรดแอสปาร์ติก รวมทั้งกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้เมื่อมีกรดอะมิโนเหล่านี้ในปริมาณที่มากผิดปกติจะสามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่อเนื่องนำไปสู่ความเสียหายแก่เซลล์โดยเฉพาะเซลล์ประสาท และสามารถทำให้เซลล์ประสาทนั้นตายในที่สุด (โอภา และคณะ, 2550)

2.7.1.4 เมทาบอลิซึมของสารสื่อประสาท

เมทาบอลิซึมและสารสื่อประสาทในสมองเช่น โดพามีน ทำให้เกิดอนุมูลและสารที่เป็นพิษ โดพามีนออกมาจากถุงเล็กๆในเซลล์ประสาทที่สร้างโดพามีน เซลล์ประสาทจะทำหน้าที่ทั้งหลั่งโดพามีนออกจากถุงและเก็บโดพามีนกลับสู่ถุง เพื่อควบคุมให้ปริมาณโดพามีนที่เหมาะสมในไซโตพลาสซึมและบริเวณปลายประสาทในภาวะที่เป็นโรคเช่น ในภาวะเนื้อเยื่อหรืออวัยวะขาดเลือดหรือภาวะที่มีระดับออกซิเจนต่ำ จะพบว่าโดพามีนจะมีระดับเพิ่มขึ้นระดับโดพามีนที่สูงขึ้นทั้งภายในและภายนอกเซลล์สามารถทำให้สมองถูกทำลายได้ พิษของโดพามีนเกิดจากการที่โดพามีนถูกออกซิไดซ์แล้วให้ผลผลิตได้แก่ อนุมูลอิสระ สารประกอบควิโนนที่เป็นพิษและสารเมลานีน (โอภา และคณะ, 2550)

2.7.1.5 สารพิษต่อเซลล์ประสาท

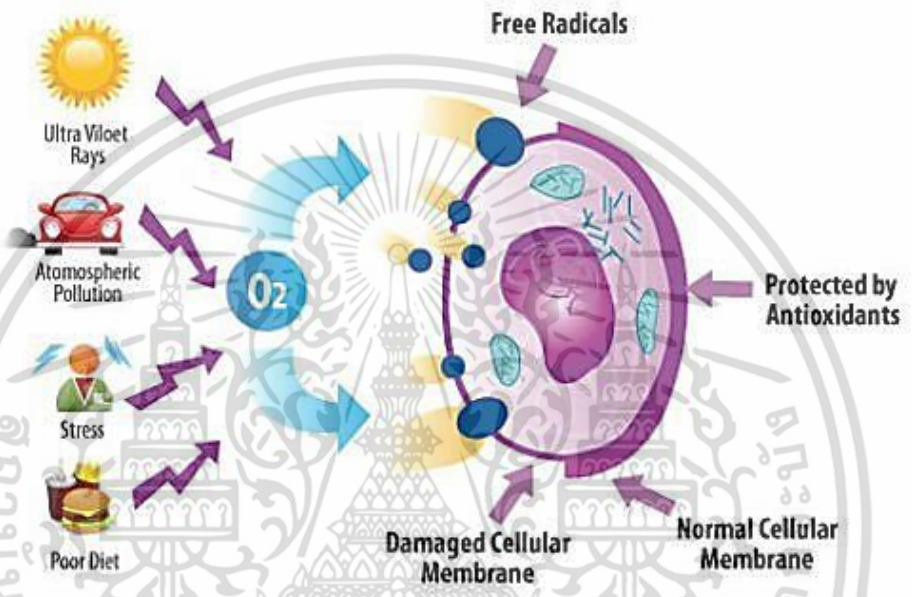
MPTP เป็นสารพิษที่ทำลายเซลล์ประสาท เป็นสารพิษโดยออกฤทธิ์ยับยั้งการหายใจของเซลล์และทำให้เกิดภาวะออกซิไดซ์ ฤทธิ์ยับยั้งการหายใจทำให้ไมโตคอนเดรียผลิต ATP ได้ลดลง ซึ่งเหนี่ยวนำให้ระดับของแคลเซียมในไซโตพลาสซึมของเซลล์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ ภาวะบีบคั้นจากการถูกออกซิไดซ์เกิดขึ้นได้โดยตรงโดย MPP^+ หรือเกิดโดยเป็นผลต่อเนื่องมาจากการยับยั้งการทำงานของไมโตคอนเดรียทำให้เกิดอนุมูลอิสระจำนวนมาก ซึ่งนำไปสู่การเกิดออกซิเดชันที่ชีวโมเลกุลที่สำคัญและทำให้เซลล์ตายในที่สุด (โอภา และคณะ, 2550)

2.7.2 สภาวะเครียดจากกระบวนการออกซิไดซ์มากเกินไป (Oxidative stress)

สภาวะเครียดจากกระบวนการออกซิไดซ์มากเกินไปคือ ภาวะความไม่สมดุลของการเกิดอนุมูลอิสระและกระบวนการป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระโดยสารต้านออกซิเดชัน ภาวะดังกล่าวเป็นผลจากการเกิดอนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้องเป็นผลิตผลของอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นหรือความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บกพร่องของกระบวนการป้องกันอันตรายจากการเกิดออกซิเดชันเนื่องจากปริมาณเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ต้านการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวลดลงหรือการทำงานที่ผิดปกติหรือมีระดับสารออกซิเดชันที่ลดลงซึ่งสาเหตุดังกล่าวอาจพบร่วมกันได้ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระอันมีความไวต่อชีวโมเลกุลซึ่งเป็นองค์ประกอบของเซลล์ได้แก่ ไขมัน โปรตีน น้ำตาล และกรดนิวคลีอิก ทำให้เซลล์ถูกทำลายและเกิดผลิตผลของอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระที่มีบทบาทสำคัญต่อเซลล์ได้แก่ อนุมูลอิสระออกซิเจน และอนุมูลอิสระไนโตรเจน (โกสินทร์ และคณะ, 2557)



รูปที่ 2.20 การเกิด oxidative stress ในร่างกาย
ที่มา : https://static1.squarespace.com (1 พฤศจิกายน 2559)

2.7.3 โรคที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากเกินไป

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากเกินไป (oxidative stress) รวมถึงผลในระดับเซลล์ซึ่งสามารถยับยั้งได้โดยสารต้านอนุมูลอิสระเช่น โรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด (vascular diseases) โรคมะเร็ง (cancer) การเกิดริ้วรอยก่อนวัย (aging) โรคลำไส้อักเสบ (inflammatory bowel disease) โรคกระดูกพรุน (osteoporosis) โรคสมองเสื่อม (neurodegenerative diseases) โรคเบาหวาน (diabetes) และโรคไต (chronic kidney disease) (Saeidnia และ Abdollahi, 2013; Loizzo และคณะ, 2013)

2.8 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้โดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูล-อิสระให้หมดไปหรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ (โอภา และคณะ, 2550) ผักและผลไม้เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยโพลีฟีนอล แคโรทีนอยด์ วิตามิน และแร่ธาตุ อาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารที่สามารถยับยั้งกลุ่มออกซิเจนหรือกลุ่มไนโตรเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen/nitrogen species, ROS/RNS) จะหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่หรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิแดนซ์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ สารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดจะทำการออกซิไดซ์ตัวเอง ดังนั้นจึงทำให้การยับยั้งมีจำกัด สารต้านอนุมูลอิสระจะมีประสิทธิภาพในการต่อต้านที่แตกต่างกันไป สารบางชนิดสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ ในขณะที่สารอื่นๆส่งผลต่อการรวมกลุ่มของโลหะหนักเช่น แคโรทีนอยด์จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันจาก singlet oxygen การกระทำของสารต้านอนุมูลอิสระโดยตรงในส่วนประกอบของอาหารในปัจจุบันไม่น่าจะมีการดูดซึมต่ำ แต่เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญไม่เพียงแต่ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระแต่รวมถึงสมดุลรีดอกซ์ด้วย ความหลากหลายขององค์ประกอบการตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant response element, AER) และบทบาทของการส่งสัญญาณต่างๆรวมถึงผลกระทบบางอย่าง สารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในอาหารมากที่สุดโดยทั่วไปเช่น โมเลกุล anti-oxidant ในการรักษาระดับของกลุ่มออกซิเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species, ROS) ในระดับที่เหมาะสมเพื่อสุขภาพที่ดี (Wootton-Beard และ Ryan, 2011)

2.8.1 โทรล็อกซ์ (Trolox)

โทรล็อกซ์ (trolox, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) มีสูตรโมเลกุลทางเคมีคือ $C_{14}H_{18}O_4$ เป็นอนุพันธ์ของวิตามินอีที่ดัดแปลงโครงสร้างโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เปลี่ยนสายอัลเคนเป็นหมู่คาร์บอกซิลิก มีสูตรโครงสร้างที่มีความสามารถในการละลายในน้ำได้ดี แต่เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำได้ดีจึงทำให้การออกฤทธิ์เร็วกว่าวิตามินอี โดยวิตามินต้องใช้เวลานานเป็นชั่วโมงหรือเป็นวันในขณะที่ Trolox ออกฤทธิ์เกือบจะทันทีในวิธีการตรวจสอบหลายวิธี ในการวิจัยนิยมใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐานในการตรวจสอบกิจกรรมต้านออกซิเดชัน (โอภา และคณะ, 2550)

2.8.2 กรดแกลลิก (Gallic acid)

กรดแกลลิก (Gallic acid หรือ 3, 4, 5-hydroxybenoic acid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุลทางเคมีคือ $C_7H_6O_5$ กรดแกลลิกเป็นส่วนประกอบของแทนนิน พบมากในองุ่น ใบชา เปลือกไม้โอ๊ค และพืชชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปจะใช้เกี่ยวกับอุตสาหกรรมทางยา โดยคุณสมบัติของกรดแกลลิกคือ สามารถยับยั้งเชื้อรา เชื้อไวรัส และมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดี (Reynolds และ Wilson, 1991)

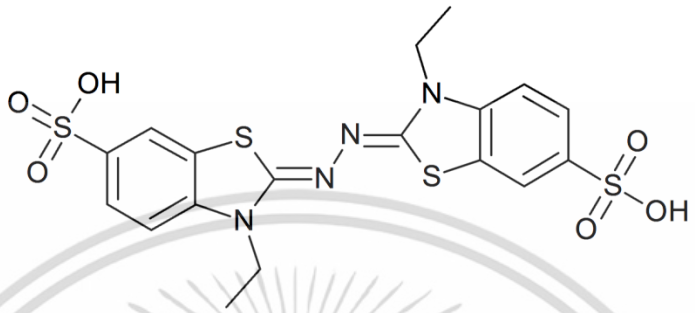
2.8.3 วิธีวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

2.8.3.1 การวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay

วิธีการวิเคราะห์นี้เป็นการศึกษาความสามารถในการรีดิวซ์หรือให้อิเล็กตรอนของสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบแก่สารอนุมูลอิสระที่สังเคราะห์ขึ้นภายในระบบ โดยสารที่ต้องการทดสอบจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระแล้วทำให้เปลี่ยนเป็นสารที่คงตัว อีกทั้งยังสามารถหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระโดยอาศัยจากการวัดปฏิกิริยา reduction ของ $Fe^{3+}(CN^{-})_6$ ไปเป็น $Fe^{2+}(CN)_6$ ซึ่งจะทำให้มีสีน้ำเงินที่เข้มขึ้น สามารถตรวจสอบความสามารถในการรีดิวซ์ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงความสามารถในการรีดิวซ์ที่มากขึ้น (รูปที่ 2.21) (Oyaizu, 1986)



รูปที่ 2.21 ปฏิกิริยาของ FRAP assay
ที่มา : รัชฎาพร และคณะ (2554)

2.8.3.2 การวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay

การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นตัวต้านออกซิเดชันซึ่งจะใช้ reagent คือ 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid diammonium salt (รูปที่ 2.22) ซึ่งจัดเป็น stable radical ใน aqueous solution โดยสารละลายนี้มีสีเขียวและดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร (รัชฎาพร และคณะ, 2554) ส่วนการทำให้เกิด ABTS cation radical ทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การใช้ enzyme reaction คือใช้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิด ABTS cation radical เช่น peroxidase, myoglobin เป็นต้น

2. การใช้ chemical reaction โดยใช้สารเคมีเช่น 2,2'-azo-bis-(2-amidinopropane) (ABAP), manganese dioxide, potassium persulfate เป็นต้น

$$OH + ABTS \longrightarrow ABTS + H_2O \quad (1)$$

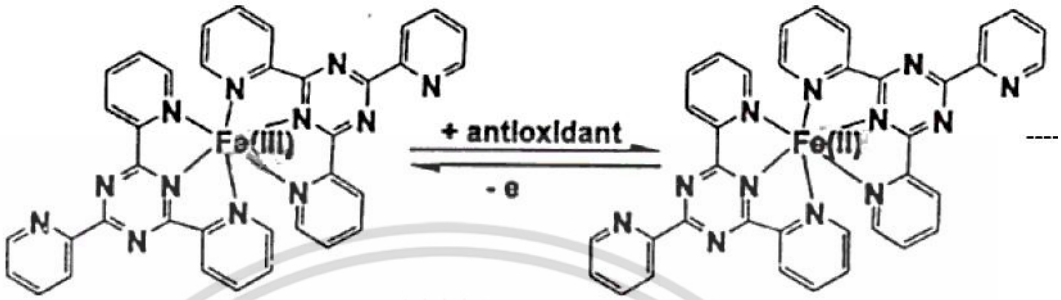
Antioxidant (AH) จะทำปฏิกิริยากับ $ABTS^{+}$ ดังนี้

$$ABTS + AH \longrightarrow ABTS + A \quad (2)$$

โดยมีผลทำให้ความเข้มข้นของสารละลายสีเขียวลดลง โดยจะรายงานผลการทดลองเป็นค่าร้อยละ 50 effective concentration (EC50) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความเข้มข้นของ $ABTS^{+}$ เหลืออยู่ร้อยละ 50 หรือรายงานผลเป็น 50 inhibition concentration (IC50) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นของ $ABTS^{+}$ ลดลงร้อยละ 50 (รัชฎาพร และคณะ, 2554)



รูปที่ 2.22 ปฏิกิริยาของ ABTS assay
ที่มา : รัชฎาพร และคณะ (2554)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

do Espírito Santo และคณะ (2012) ได้วิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงเปลือกเสาวรสแห้งสายพันธุ์สีเหลือง (yellow cultivar) จากประเทศบราซิลโดยพบว่ามีปริมาณสูง (ร้อยละ 65.08) อีกทั้งยังประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้าและความชื้น (ร้อยละ 6.32, 6.96, 74.33, 3.88 และ 9.40 ตามลำดับ)

de Moraes Crizel และคณะ (2013) รายงานว่า เปลือกส้มแห้งสายพันธุ์ส้มเกลี้ยง (*Citrus sinensis*) จากประเทศบราซิลมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 63.7 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (เป็น insoluble dietary fiber (IDF) 48.2 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เป็น soluble dietary fiber (SDF) 15.6 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งและอัตราส่วนของ IDF/SDF มีค่าเท่ากับ 3.1:1) อีกทั้งยังประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้าและคาร์โบไฮเดรต (7.1, 8.50, 1.81, 3.03 และ 86.7 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ)

Huang และคณะ (2011) ได้วิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารในเปลือกสับปะรดสายพันธุ์ Tai-Nong-17 จากประเทศไต้หวันที่ผ่านการอบแห้งพบว่ามีปริมาณใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ 42.2 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (เป็น insoluble dietary fiber (IDF) 36.3 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งและเป็น soluble dietary fiber (SDF) 5.90 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ยังวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีเช่น ปริมาณโปรตีน (crude protein) ปริมาณไขมัน (crude lipid) เถ้าและคาร์โบไฮเดรต พบว่ามีปริมาณ 9.13, 1.57, 4.81 และ 42.3 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

Bae และคณะ (2016) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในสารสกัดจากเปลือกแอปเปิ้ลแห้งสายพันธุ์ฟูจิ (Fuji variety, *Maluspumila*) จากประเทศเกาหลีพบว่ามีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใยอาหารทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 58.44 (เป็น soluble dietary fiber (SDF) ร้อยละ 6.76 insoluble dietary fiber (IDF) ร้อยละ 51.68 และอัตราส่วนของ SDF/IDF เท่ากับ 0.13)

Helland และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโพรไบโอติก *Lactobacillus reuteri* (สายพันธุ์ SD 2112), *Lactobacillus acidophilus* (สายพันธุ์ LA5 และสายพันธุ์ *NCDO* 1748) และ *Lactobacillus rhamnosus* GG (สายพันธุ์ ATCC 53103) ในการผลิต porridge พบว่าแบคทีเรียโพรไบโอติก *Lactobacillus acidophilus* (สายพันธุ์ LA5 และสายพันธุ์ *NCDO* 1748), *Lactobacillus reuteri* (สายพันธุ์ SD 2112) และ *Lactobacillus rhamnosus* GG (สายพันธุ์ ATCC 53103) เจริญได้ดีใน porridge ซึ่งมีส่วนผสมของแป้งข้าวโพด (maize) ร้อยละ 18.5 และข้าวบาร์เลย์ (malted barley) ร้อยละ 1.5 ทำให้ได้ปริมาณของแห้งทั้งหมดร้อยละ 20 น้ำหนักโดยปริมาตรในระหว่างการหมัก โดยเพิ่มจำนวนขึ้นสูงสุดถึง 7.2-8.2 log CFU ต่อกรัม (จากจำนวนเชื้อเริ่มต้น 6-7 log CFU ต่อกรัม) หลังการหมักเป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

Trikoomdun และ Leenanon (2016) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวาน (*Zea mays saccharata*) และอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติก *Lactobacillus acidophilus* (TISTR 1338) และ *Lactobacillus casei* (TISTR 390) ในการผลิตโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดพบว่าแบคทีเรียโพรไบโอติก *Lactobacillus acidophilus* (สายพันธุ์ TISTR 1338) และ *Lactobacillus casei* (สายพันธุ์ TISTR 390) อยู่รอดได้ดีในโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดหวาน (*Zea mays saccharata*) ซึ่งเติมเชื้อทั้ง 2 หลังจากหมักด้วย *Lactobacillus bugaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน โดยเชื้อ *Lactobacillus casei* และ *Lactobacillus acidophilus* โดยมีจำนวน 9.11 และ 8.76 log CFU ต่อกรัม ตามลำดับ

Hsu และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาปริมาณการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่าข้าวเหนียวดำและข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงให้เปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระไม่ต่างกัน โดยสูตรที่ใช้ข้าวเหนียวดำต่อข้าวสังข์หยดพัทลุงอัตราส่วน 1:1 ให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ข้าวเหนียวดำต่อข้าวสังข์หยดพัทลุงอัตราส่วน 1:3 และข้าวสังข์หยดพัทลุงไม่ผสม ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากสูตรข้าวเหนียวดำ และข้าวเหนียวดำต่อข้าวสังข์หยดพัทลุงอัตราส่วน 3:1 ที่ให้ค่าน้อยที่สุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในการหมักข้าวสังข์หยดพัทลุงทำให้เกิดสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าในข้าวเหนียวดำ

Ozcan และ Kurtuldu (2014) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ใยอาหารประเภท *β*-glucan จากข้าวบาร์เลย์และข้าวโอ๊ต เป็นสารพรีไบโอติกต่อการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติก *Bifidobacterium bifidum* ในโยเกิร์ต พบว่าอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติก *Bifidobacterium bifidum* มีอัตราการรอดชีวิตได้ถึง 8.9 log CFU/g แบคทีเรียโพรไบโอติก *Bifidobacterium bifidum* รวมกับข้าวบาร์เลย์ และ *β*-glucan รอดชีวิตได้ถึง 9.3 log CFU/g และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบคทีเรียโพรไบโอติก *Bifidobacterium bifidum* รวมกับข้าวโอ๊ต และ *β*-glucan รอดชีวิตได้ถึง 8.7 log CFU/g หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

Fuentes-Zaragoza และคณะ (2011) กล่าวว่าเมล็ดข้าวโพดมี resistant starch ปริมาณ 25.2 กรัมต่อ 100 กรัมที่รับประทาน ใยอาหารปริมาณ 19.6 กรัมต่อ 100 กรัมที่รับประทานและมีปริมาณ starch ทั้งหมด 77.9 กรัมต่อ 100 กรัมที่รับประทาน

Adom และ Lui (2002) ได้รายงานไว้ว่า ข้าวโพดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (15.55 ไมโครโมลของกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ด) รองลงมาคือ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต และข้าวเจ้า (7.99, 6.53 และ 5.56 ไมโครโมลของกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ด ตามลำดับ) โดยส่วนของสารประกอบฟีนอลิกหลักๆ พบในรูป bound from ซึ่งในข้าวโพดมีร้อยละ 85 ในข้าวสาลี และในข้าวโอ๊ตมีร้อยละ 75 และในข้าวเจ้ามีร้อยละ 62 นอกจากนี้ยังพบกรดเฟอรูริก (feruric acid) ซึ่งพบในรูปอิสระ รูป soluble-conjugated และรูป bound ferulic acid ในอัตราส่วน 0.1:1:100

Min และคณะ (2012) ได้รายงานว่าสารสกัดข้าวสีดำมีปริมาณ insoluble bound phenolic compound ทั้งหมดสูงที่สุด (90-95 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของเมล็ด) รองลงมาคือ ข้าวสีแดง ข้าวสีน้ำตาล ข้าวสีน้ำตาลอ่อน และข้าวสีขาว (86, 48-57, 46-63 และ 61 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของเมล็ด ตามลำดับ) ส่วน soluble free phenolics พบในข้าวค่ามากที่สุด (240-257 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของเมล็ด) รองลงมาคือ ข้าวสีแดง ข้าวสีน้ำตาล ข้าวสีน้ำตาลอ่อน และข้าวสีขาว (697, 72-82, 58-62 และ 44 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของเมล็ด ตามลำดับ)

Sumczynski และคณะ (2016) ยังได้รายงานว่าข้าวสีดำจากประเทศไทยมีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay (26.4 มิลลิโมลของโทรล็อกซ์ต่อกิโลกรัมของเมล็ด) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสีแดงจากประเทศไทยที่มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay อยู่ที่ 21.7 มิลลิโมลของโทรล็อกซ์ต่อกิโลกรัมของเมล็ด

do Espírito Santo และคณะ (2012) ได้รายงานว่า Skim milk yogurt ที่ใส่ผงแห้งจากเปลือกเสาวรสที่หมักโดย *L. acidophilus* L10 หรือ *L. acidophilus* NCFM หลังครบ 14 วันของการเก็บรักษาจะมีค่าพีเอชต่ำกว่าและมีปริมาณกรดแลคติกทั้งหมดสูงกว่าใน Skim milk yogurt ที่ไม่ได้เติมผงแห้งจากเปลือกเสาวรสอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

Kailasapathy และ Chin (2000) ได้กล่าวว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกมีชีวิตมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ ได้แก่ ช่วยส่งเสริมภูมิคุ้มกันต่อการติดเชื้อในลำไส้ ช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน (immune enhancement) ช่วยป้องกันโรคท้องร่วง (diaeehoeal disease) ช่วยป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ (colon cancer) ช่วยปรับปรุงการใช้แลคโตส (lactose utilization) ช่วยรักษาเสถียรภาพของเยื่อเคลือบกระเพาะอาหาร (gut mucosal barrier) และช่วยป้องกันภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (hypercholesterolanemia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

เปลือกผลไม้ที่ใช้ในการทดลองจำนวน 6 ชนิดได้มาจากตลาดไท ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และตลาดนัดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร และธัญชาติที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน 8 ชนิดได้มาจากศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี และ ตลาดนัดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร (ตารางที่ 3.1)

น้ำผึ้งที่ใช้ในการทดลองได้แก่ น้ำผึ้งหลวงเดือน 5 ได้มาจากบริษัทน้ำผึ้งศรีเชียร 15 ซอยอินทามระ 7 ถนนสุทธิสารวินิจฉัย แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

น้ำตาลที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำตาลซูโครส ได้มาจากบริษัทมิตรผลจำกัด ซอยผาสุข ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร

3.1.2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ FD-DVS ABT-5 Probio-Tec ที่เป็นเชื้อผสมระหว่าง *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus* และ *Bifidobacterium* ได้มาจากบริษัทเบรนเทคอินทรีเดียนประเทศไทย (Brenntag Ingredients (Thailand) Public Company Limited) ที่อยู่ 1168/98-100 ถนนพระราม 4 ทุ่งมหาเมฆสาธร กรุงเทพมหานคร

3.1.3 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการทดลอง

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการทดลองได้แก่ de Man Rogosa Sharpe Broth (MRS, Difco, Becton, Dickinson and Company, USA)

3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ไดโซเดียมไฮโดรเจนออโทฟอสเฟต (Di-sodium hydrogen orthophosphate, A621-500G, Univar, Australia) โซเดียมไดไฮโดรเจนออโทฟอสเฟต (Sodium dihydrogen orthophosphate, A471-500G, Univar, Australia) เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสทนความร้อน (Heat-stable α-amylase, from *Bacillus licheniformis,* A3306-10 ml, Sigma-Aldrich, USA) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, 480507-1000G, Carlo Erba Reagents, Italy) เอนไซม์โปรติเอส (Protease, from *Bacillus licheniformis,* P5459-5G, Sigma-Aldrich, Mexico) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, 403871, Carlo Erba, Italy) เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase, from *Aspergillus niger,* A7095-50 ml, Sigma-Aldrich, Denmark) สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100 (Ethanol, V569-10, Macon, Mexico) สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 78 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein, P351-2, Univar, Australia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เปลือกผลไม้และธัญชาติที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อไทย	ชื่อสามัญ	สายพันธุ์	วงศ์
• **เปลือกผลไม้**				
Punica granatum L. var. granatum	ทับทิม	Pomegranate	มรกต	Punicaceae
Manilkara zapota (L.) P.Royen	ละมุด	Sapodilla	มาเลย์กระสวย	Sapotaceae
Citrus reticulate Blanco	ส้มเขียวหวาน	Tangerine	บางมด	Rutaceae
Ananas comosus (L.) Merr	สับปะรด	Pineapple	ศรีราชา	Bromeliaceae
Passiflora laurifolia L.	เสาวรส	Passion fruit	สีทอง	Passifloraceae
Malus domestica Borkh	แอปเปิ้ล	Apple	ฟูจิ	Rosaceae
• **เมล็ดธัญชาติ**				
Oryza sativa L.	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	Riceberry	พันธุ์ผสมระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105	Poaceae
Oryza sativa L.	ข้าวทับทิมชุมแพ	Tubtim chumphae rice	พันธุ์ผสมระหว่างข้าวขาวดอกมะลิ 105 กับข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง	Poaceae
Oryza sativa L.	ข้าวหอมมะลิ	Jasmin rice	พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105	Poaceae
Oryza sativa L.	ข้าวสินเหล็ก	Sinlek rice	พันธุ์ผสมระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105	Poaceae
Coix lachrymal-jobi L.	ลูกเดือย	Job's tear seed	พันธุ์ข้าวเหนียว	Panicoideae
Hordeum vulgare L.	ข้าวบาร์เลย์	Barley	พันธุ์สะเมิง	Poaceae
Oryza sativa L.	ข้าวสังข์หยด	Sangyod rice	พันธุ์พัทลุง	Gramineae
Zea mays L. var. saccharata	ข้าวโพด	Corn	พันธุ์หวาน	Gramineae

อะซิโตน (Acetone, A1084-4-4001, QRËC, New Zealand) สารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst mixture, Kjeltabs CX 12-0328, Gerhardt, USA) สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 98 (Conc. Sulfuric acid 98%, 534-2.5L, Univar, Australia) กรดบอริก (Boric acid, A0723665-433, Emsure, Germany) เมทิลเรด (Methyl red, 131617.1606, Panreac, EU) โบรโมคลีซอลกรีน (Bromocresol green, A2327-5G, Labchem, Australia) กรดแกลลิก (Gallic acid, 48630-100G, Fluka, Spain) โฟลิน-ซิโอคาลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu's reagent, UN3264, VWR international S.A.S, France) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, 367706-500G, Carlo Erba, Italy) คาเทชิน (Catechin hydrate, 22110-1G, Sigma-Aldrich, Germany) อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium chloride, 879-500G, Univar, Australia) โซเดียมไนไตรท์ (Sodium nitrite, 492-500G, Univar, Australia) เฟอรัสซัลเฟต (Ferrous sulphate, 226-500G, Univar, Australia) โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate, 456-500G, Univar, Australia) กรดอะซิติก (Acetic acid, K45402163 409, Emsure, Germany) 2,4,6-Tris-(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ, 93285-1G, Sigma-Aldrich, Switzerland) เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride, 231-729-4, POCH SA, Poland) 6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox, 238813 1G, Sigma-Aldrich, China) 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid (ABTS, Sigma-Aldrich, USA) โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate, 1188, Univar, Australia) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, 465-1KG, Univar, Australia) เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase, from porcine pancreas, A6255-10 mg, Sigma-Aldrich, USA) โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride, 383-1KG, Univar, Australia) แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride, Univar, Australia) ฟีนอล (Phenol crystallized, 164852.1210, Panreac, EU) กรดไดไนโตรซาลิไซลิก (Dinitrosalicylic acid, 128848-100G, Sigma-Aldrich, India) แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride, 296-500G, Univar, Australia) กลูโคส (D^+-Glucose, 49150-1KG, Fluka, Spain) ปิโตรเลียม อีเทอร์ (Petroleum ether, 40-60°C, 131315.1612, Panreac, EU) ไดเอทิล อีเทอร์ (Diethyl ether, D3103-1-4001, QRËC, New Zealand) ทราย (Sand, acid washes, Univar, Australia) บิวทิล ไฮดรอกซี่ โทลูอีน (Butylated Hydroxy Toluene, BHT) และแอลฟา-โทโคฟีรอล (α-Tocopherol, T3251-25G, Sigma-Aldrich, Germany)

3.1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert, UFE 600, Germany) เครื่องปั่น (Blender, Sharp, EM-11, Japan) ตู้เย็น (Refrigerator, Sanyo, Thailand) เครื่องชั่งสาร 3 ตำแหน่ง (Balance, Mettler Toledo, Switzerland) เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง (Balance, Sartorius, Germany) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert, Germany) ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, Memmert, INP 600, Germany) หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave, Tomy, ES-315, Japan) เครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer, Vortex genie 2, G560E, USA) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, Falcon,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6/300, Germany) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, Shimadzu, UV-1601, Japan) เครื่องจ่ายตัวอย่างลงเพลทอาหารเลี้ยงเชื้อแบบอัตโนมัติ (Automate spiral plater, Spiral Biotech, autoplate 4000, USA) เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace, Humanlab รุ่น DMF-05, 1200, Korea) ไมโครปิเปตปริมาตร 2-20 ไมโครลิตร (Autopipette, Biohit proline, PD_39917, USA) ไมโครปิเปตปริมาตร 10-100 ไมโครลิตร (Autopipette, Biohit proline, PD_39919, USA) ไมโครปิเปตปริมาตร 100-1000 ไมโครลิตร (Autopipette, Biohit proline, PD_39918, USA) ไมโครปิเปตปริมาตร 500-5000 ไมโครลิตร (Autopipette, Biohit proline, PD_39915, USA) ฟลาสก์กลั่นโปรตีน (CLS5420800, Aldrich Pyrex® Kjeldahl, Gerhardt, Germany) ฟิลเตอร์ครูซิเบิล (Fritted Crucible, Robu, D-57644, Germany) โถดูดความชื้น (Desiccator, Nalgene, USA) เครื่องกวนสาร (Magnetic sterrier, IKA c-mag HS10, China) เครื่องวัดค่าพีเอชแบบพกพา (pH meter, Testo 205, Testo AG, ประเทศเยอรมัน) เพลทพลาสติก (Plate, Hycon plastic, K1004, England) กระดาษกรอง (Filter paper, Whatman, เบอร์ 54, 1454-110, USA) กระดาษกรองปราศจากเถ้า (Filter paper ashless, Whatman, เบอร์ 41, 1441-125, USA) ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven) ปั้ม (Suction pump) ครูซิเบิล (Crucible) หลอดทดลองขนาด 16x150 มิลลิเมตร (Test tube, Pyrex, Thailand) เตาแก๊ส (กล้วยน้ำไทย การช่างไทย, ประเทศไทย) ภาชนะอะลูมิเนียม บุชเนอร์ บีกเกอร์ขนาด 1,000, 500, 250, 150 มิลลิลิตร ฟลาสก์ขนาด 1,000, 500, 250, 125 มิลลิลิตร ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000, 500, 250, 100, 50, 25, 10 มิลลิลิตร ปิเปตแก้วขนาด 10, 5, 1 มิลลิลิตร กระบอกตวงสารขนาด 1,000, 500, 100 มิลลิลิตร ถ้วยอะลูมิเนียม หลอดดักแก๊ส ช้อนตักสาร เทอร์โมมิเตอร์ ถ้วยพลาสติก กรวยกรอง ตะเกียงแอลกอฮอล์และแท่งแก้วคนสาร

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber)

3.2.1.1 การเตรียมผงแห้งจากเปลือกผลไม้

การเตรียมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ทำได้โดยนำเปลือกผลไม้ทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ ทับทิม ละมุด ส้มเขียวหวาน สับปะรด เสาวรส และแอปเปิ้ลมาล้างทำความสะอาด จากนั้นนำไปทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เมื่อตัวอย่างเปลือกผลไม้แห้งแล้วนำไปปั่นให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องปั่นแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นเก็บผงเปลือกผลไม้ไว้ในถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

3.2.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้

การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้ทำตามวิธีการของ AOAC (2006) ทำได้โดยนำผงเปลือกผลไม้ที่เตรียมไว้ทั้งหมด 6 ชนิดมาชั่งใส่ลงในฟลาสก์ขนาด 500 มิลลิลิตรจำนวน 2 ใบ ใบละ 1 กรัมและทำการเตรียมฟลาสก์ขนาด 500 มิลลิลิตรมาอีกจำนวน 2 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยไม่ใส่ตัวอย่างเปลือกผลไม้สำหรับการหาแบลงค์ (Blank) จากนั้นนำฟลาสก์ทั้ง 4 ใบมาทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่อไปนี้ เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.08 โมลาร์ พีเอช 6.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตรลงในฟลาสก์แต่ละใบแล้วเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสทนความร้อน (Heat-stable α-amylase, from *Bacillus licheniformis,* A3306-10 ml, Sigma-Aldrich, Germany) ปริมาตร 100 ไมโครลิตรปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วนำไปย่อยในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที โดยทำการเขย่าทุกๆ 5 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในอุณหภูมิห้องแล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.275 โมลาร์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับพีเอชให้เท่ากับ 7.5±0.2 แล้วเติมเอนไซม์โปรติเอส (Protease, from *Bacillus licheniformis,* P5459-56, Sigma-Aldrich, Germany) ปริมาตร 100 ไมโครลิตรปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วนำไปย่อยในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีโดยเขย่าตลอดเวลาแล้วทิ้งให้เย็นในอุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.375 โมลาร์ปริมาตร 10 มิลลิลิตรแล้วปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 4.0-4.6 แล้วเติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase, from *Aspergillus niger,* A7095-50 ml, Sigma-Aldrich, Germany) ปริมาตร 300 ไมโครลิตรปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วนำไปย่อยในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าตลอดเวลาซึ่งในระหว่างนี้นำสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 280 มิลลิลิตรปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วนำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาเติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 280 มิลลิลิตรลงในฟลาสก์ที่ย่อยเสร็จแล้วขณะร้อนเพื่อให้เกิดการตกตะกอนของใยอาหารและหลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาทีเพื่อให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ เมื่อครบเวลาทำการเทตะกอนลงใน Fritted crucible โดยก่อนที่จะใช้ให้นำ Fritted crucible แช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักจนน้ำหนักคงที่ แล้วจึงกรองใยอาหารโดยใช้ Suction pump และล้างตะกอนด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 78 ปริมาตร 20 มิลลิลิตรจำนวน 3 ครั้งแล้วล้างต่อด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 10 มิลลิลิตรจำนวน 2 ครั้งและสุดท้ายล้างด้วยอะซิโตนปริมาตร 10 มิลลิลิตรจำนวน 2 ครั้ง จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักสิ่งที่ตกค้างแล้วนำตัวอย่างครูซิเบิลหนึ่งไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนและอีกหนึ่งครูซิเบิลไปวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าทั้งหมดทำการวิเคราะห์ตามวิธีการดังต่อไปนี้

ก) การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทั้งหมดทำตามวิธี Kjeldahl โดยจะวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการย่อย ขั้นตอนการกลั่นและขั้นตอนการไทเทรต เริ่มต้นด้วยขั้นตอนการย่อยคือชั่งน้ำหนักตัวอย่างเปลือกผลไม้ 1 กรัมใส่ลงในหลอดย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วเติมสารเร่งปฏิกิริยาชนิดสำเร็จรูป 1 เม็ด จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 20 มิลลิลิตรและนำไปใส่ในเครื่องย่อยโดยย่อยที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียสจนตัวอย่างเป็นสีเขียวใส แล้วทำการย่อยต่ออีก 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทิ้งไว้ให้เย็นและทำการกลั่นต่อโดยการตวงสารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 50 มิลลิลิตรลงในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตรและหยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จากนั้นใส่ในเครื่องกลั่นเพื่อทำการกลั่นและขั้นตอนสุดท้ายนำมาไทเทรตโดยนำตัวอย่างที่ทำการกลั่นแล้วมาไทเทรตกับสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน จากนั้นนำปริมาตรสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตมาคำนวณหาปริมาณโปรตีน โดยสูตรการคำนวณหาปริมาณโปรตีนทั้งหมดคือ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{\text{ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต} \times \text{ความเข้มข้นของกรด} \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} \times \text{conversion factor}$$

ข) การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าทั้งหมดทำได้โดยนำภาชนะครูซิเบิลไปเผาในเตาเผาความร้อนสูง (Muffle furnace, humanlab รุ่น DMF-05, 1200C 4.5 ลิตร, Korea) ที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักของครูซิเบิลเปล่าแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างเปลือกผลไม้ 1 กรัมใส่ในครูซิเบิล จากนั้นนำไปเผาในเตาเผา Muffle furnace ที่อุณหภูมิ 500-550 องศาเซลเซียสจนเป็นเถ้าสีขาวทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณเถ้าทั้งหมดตามสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักครูซิเบิลพร้อมตัวอย่างหลังเผา} - \text{น้ำหนักครูซิเบิลเปล่าก่อนเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

การคำนวณหาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) ตามวิธี AOAC (2006) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ใยอาหารทั้งหมด (\%)} = \frac{Z - P - A - B}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

เมื่อ Z = น้ำหนักสิ่งที่ตกค้าง (กรัม)

P = น้ำหนักโปรตีนทั้งหมด (กรัม)

A = น้ำหนักเถ้าทั้งหมด (กรัม)

B = แบลงค์ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การศึกษาผลของธัญชาติต่อการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกและสมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติ

3.2.2.1 การเตรียมผงธัญชาติ

การเตรียมผงธัญชาติทำได้โดยนำธัญชาติทั้งหมด 8 ชนิดได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวทับทิมชุมแพ ข้าวหอมมะลิ ข้าวสินเหล็ก ลูกเดือย ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสังข์หยดและข้าวโพด มาปั่นให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องปั่นแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำส่วนที่ร่อนได้ใส่ในถุงสุญญากาศและเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

3.2.2.2 การเตรียมกล้าเชื้อสำหรับการหมักโยเกิร์ตธัญชาติ

การเตรียมกล้าเชื้อดัดแปลงมาจากวิธีการของ Charalampopoulos และ Pandiella (2010) ทำได้โดยนำผงธัญชาติทั้งหมด 4 ชนิดมาผสมกันตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.2 ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำส่วนใสที่ได้มาปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตรและนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและเติมกล้าเชื้อผสมของแบคทีเรียโพรไบโอติกสำเร็จรูป (FD-DVS ABT-5 Probio-Tec) ที่เป็นเชื้อผสมระหว่าง *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus* และ *Bifidobacterium* ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนได้กล้าเชื้อที่มีความเข้มข้นของเซลล์เท่ากับ 8.0 log CFU ต่อมิลลิลิตรและนำกล้าเชื้อที่ได้ไปใช้ในการหมักโยเกิร์ตที่ผลิตจากธัญชาติ

ตารางที่ 3.2 สูตรธัญชาติในการเตรียมกล้าเชื้อเริ่มต้น

ชนิดของส่วนผสม	**ปริมาณ**	
ข้าวโพด	10.5	กรัม
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	7.5	กรัม
ลูกเดือย	4.5	กรัม
ข้าวบาร์เลย์	4.5	กรัม
น้ำสะอาด	273	มิลลิลิตร

3.2.2.3 การหมักโยเกิร์ตจากผงธัญชาติ

ในการทดลองนี้ได้ทำการหมักโยเกิร์ตจากธัญชาติเดี่ยว 8 สูตรได้แก่ โยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่ โยเกิร์ตข้าวทับทิมชุมแพ โยเกิร์ตข้าวหอมมะลิ โยเกิร์ตข้าวสินเหล็ก โยเกิร์ตลูกเดือย โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ โยเกิร์ตข้าวสังข์หยดและโยเกิร์ตข้าวโพด ซึ่งในการหมักโยเกิร์ตแต่ละสูตรดัดแปลงมาจากวิธีการของ Coda และคณะ (2012) ทำได้โดยชั่งธัญชาติแต่ละสูตร 45 กรัมเติมน้ำสะอาดปริมาตร 455 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที โดยคนให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดเวลาขณะต้มเมื่อครบเวลาทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในน้ำเย็น จากนั้นเทโยเกิร์ตใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดและปิเปตกล้าเชื้อความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตรคนให้เข้ากันแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างที่ชั่วโมงที่ 0 และชั่วโมงที่ 24 ของการบ่มแล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดและหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากโยเกิร์ต ซึ่งวิธีการวิเคราะห์โดยละเอียดมีดังนี้

ก) การวิเคราะห์หาค่าพีเอชในโยเกิร์ตธัญชาติ

การวิเคราะห์หาค่าพีเอชทำได้โดยนำโยเกิร์ตไปวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอช (pH meter, Testo 205, Testo AG, ประเทศเยอรมัน) โดยจุ่มลงในเนื้อของโยเกิร์ตแล้วอ่านค่าของพีเอชที่ได้

ข) การวิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตทำตามวิธีของ AOAC (2006) ซึ่งทำได้โดยชั่งโยเกิร์ต 20 กรัมเติมน้ำกลั่นปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ 40 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันแล้วเติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลและนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมด (%) ดังสมการ

ปริมาณกรดทั้งหมด (%) = 10 x ปริมาตรสารที่ใช้ในการไทเทรต x 0.1 x 0.009 x 100

ค) การวิเคราะห์หาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ

การวิเคราะห์หาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติที่ชั่วโมงที่ 0 (ปริมาณเชื้อเริ่มต้น) และชั่วโมงที่ 24 (ปริมาณเชื้อหลังการหมัก) ด้วยเทคนิค Spiral plate ทำได้โดยนำตัวอย่างโยเกิร์ต 25 กรัมมาเจือจางด้วยสารละลายเปปโตนซาไลน์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 225 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปตีป่นด้วยเครื่องตีป่น (Stomacher, Bagmixer 400, France) เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นจนถึงระดับความเจือจาง $1:10^6$ จากนั้นนำตัวอย่างจ่ายลงจานอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ด้วยเครื่อง Spiral plater (Spiral plater, Autoplate 4000, Spiral Biotech, USA) แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมงในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อยหลังจากครบ 48 ชั่วโมงทำการนับจำนวนโคโลนีด้วยมือ (manual counting) โดยการใช้ Spiral grid ทาบลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อให้ตรงกับจุดเริ่มต้นที่จุดไว้ โดยเริ่มนับจำนวนโคโลนีจากวงนอกสุดที่เป็น segment ที่ 8 ซึ่งจะเลือกนับ quadrant A หรือ B อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยนับจากข้างนอกเข้ามาข้างในจนกระทั่งได้จำนวนโคโลนีอย่างน้อย 20 โคโลนี ถ้าวงนอกสุดมีจำนวนโคโลนีน้อยกว่า 20 โคโลนีให้นับจำนวนโคโลนีใน segment ที่ติดกันถัดเข้ามาจนกระทั่งได้จำนวนโคโลนีอย่างน้อย 20 โคโลนี ถ้าหากจำนวนโคโลนีขึ้นมากกว่า 20 โคโลนีใน segment สุดท้ายให้นับต่อจนครบทุกโคโลนีและนับจำนวนโคโลนีใน segment เดียวกันในด้านทแยงมุมที่อยู่ใน quadrant เดียวกัน แต่ถ้านับทุก segment แล้วมีจำนวนโคโลนีน้อยกว่า 20 โคโลนีให้นับโคโลนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดในจานอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วนำจำนวนโคโลนีที่ได้มาคำนวณหาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดโดยคำนวณตามสูตร

$$\text{จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมด (CFU ต่อกรัม)} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนโคโลนีทั้ง 2 ด้าน}}{\text{ค่าคงที่ของปริมาตร}} \times 1{,}000 \times \text{dilution factor}$$

ตารางที่ 3.3 ค่าคงที่ของปริมาตรตัวอย่างที่จ่ายลงบน segment ที่นับโคโลนีทั้ง 2 ด้าน (ปริมาตรที่จ่าย 50 ไมโครลิตรต่อจาน)

Segment ที่	จานขนาด 100 มิลลิลิตร
8	1.214
9	2.968
10	5.500
11	9.157
12	14.482
13	25.015
ทั้งจานอาหารเลี้ยงเชื้อ	50.030

ที่มา : Automated spiral plater User Guide, Spiral Biotech

ง) การวิเคราะห์สมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติ

ง.1 การเตรียมสารสกัดโยเกิร์ต

การเตรียมสารสกัดโยเกิร์ตดัดแปลงมาจากวิธีการของ Shori และ Baba (2014) ทำได้โดยชั่งโยเกิร์ต 50 กรัมผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 12.5 มิลลิลิตรแล้วปรับค่าพีเอชให้ได้ 4.0 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ จากนั้นนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำส่วนใสที่ได้มาปรับค่าพีเอชให้ได้ 7.0 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์และนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้งหนึ่งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำส่วนใสที่ได้มาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งทำการวิเคราะห์ตามวิธีการดังนี้

ง.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดทำตามวิธีการของ Shori และ Baba (2014) โดยการปิเปตสารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตรกับน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตรและเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu's reagent (UN3264, VWR international S.A.S, France) ความเข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัม (mg gallic acid equivalents (GAE)/100 g yogurt)

ง.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดทำตามวิธีการของ Yang และคณะ (2009) โดยปิเปตสารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 0.25 มิลลิลิตรผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 1.25 มิลลิลิตรแล้วเติมสารละลายโซเดียมไนไตรท์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 0.075 มิลลิลิตรและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตรและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาทีแล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 3 มิลลิลิตรและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรทันทีด้วยเครื่องสเปกโตร-โฟโตมิเตอร์ จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจากสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัม (mg catechin equivalents (CE)/100 g yogurt)

ง.4 การศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

ก) การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay

การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing anti-oxidant power (FRAP) assay ทำตามวิธีของ Martins และคณะ (2013) โดยปิเปตสารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองแล้วเติม FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตรแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณ Fe^{2+} โดยเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟตที่ความเข้มข้น 10, 3, 1.5, 0.75, 0.375, 0.1875, 0.0938 และ 0.0469 มิลลิโมลาร์และรายงานผลในหน่วยมิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อโยเกิร์ต 100 กรัม (mmol Fe (II)/100 g yogurt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay

การวิเคราะห์หาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดโยเกิร์ตด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay ทำตามวิธีการของ Re และคณะ (1999) เริ่มจากการเตรียมสารละลาย $ABTS^+$ โดยผสมสารละลาย 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid (ABTS, Sigma Aldrich, Switzerland) ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์กับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ในอัตราส่วน 1:1 ผสมให้เข้ากันและเก็บไว้ที่มืดในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลาย $ABTS^+$ ที่ได้มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตรให้ได้เท่ากับ 0.7±0.02 จากนั้นนำสารละลาย ABTS มาปริมาตร 3 มิลลิลิตรผสมกับสารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 0.03 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาทีและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตรโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox, Sigma-Aldrich, USA) ทำการเตรียมสาร ละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ความเข้มข้น 1,000, 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125 และ 1.5625 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจากสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์และรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของโทรล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัม (mg trolox equivalents (TE)/100 g yogurt)

3.2.3 ผลของผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมต่อคุณภาพของโยเกิร์ตธัญชาติผสม

ในการทดลองนี้ได้พัฒนาโยเกิร์ตธัญชาติผสมจำนวน 4 สูตร (ตารางที่ 3.4) ซึ่งโดยทำการศึกษาผลของการเติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมซึ่งประกอบด้วยเปลือกเสาวรส สับปะรด ทับทิมและแอปเปิ้ล ในอัตราส่วน 1:1:1:1 ในโยเกิร์ตทั้งหมด 8 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1)F ที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (ร้อยละ 1) ชุดที่ 2 โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1) ที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ชุดที่ 3 โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(2)F ที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (ร้อยละ 1) ชุดที่ 4 โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(2) ที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ชุดที่ 5 โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3)F ที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (ร้อยละ 1) ชุดที่ 6 โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3) ที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ชุดที่ 7 โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(4)F ที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (ร้อยละ 1) และชุดที่ 8 โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(4) ที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม โดยทำการหมักตามวิธีในข้อ 3.2.2.3 จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน และสุ่มตัวอย่างโยเกิร์ตทุกชุดที่เวลา 0, 7 และ 14 วันของการเก็บรักษามาวิเคราะห์หาค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมด รวมทั้งศึกษาสมบัติทางพฤกษเคมีได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธีนี้จะทำตามวิธีการในข้อ ง.2 การวิเคราะห์หาสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดทำตามวิธีการในข้อ ง.3 การศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระทำตามวิธีการในข้อ ง.4 และวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ ปริมาณเยื่อใยหยาบ ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้น ปริมาณของแข็ง ปริมาณโปรตีนทั้งหมดและปริมาณเถ้าทั้งหมดที่ทำวิธีเดียวกับข้อ 3.2.1.2 จากนั้นคัดเลือกโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่มีคุณลักษณะเหมาะสมจำนวน 2 สูตรมาทำการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสในขั้นตอนต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 ส่วนผสมที่ใช้ในการหมักโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

สูตรที่	โยเกิร์ต	ส่วนผสม	ชุดที่ 1 A(1)F (ร้อยละ)	ชุดที่ 2 A(1) (ร้อยละ)
1	**ธัญชาติผสม A(1)**	ข้าวหอมมะลิ	1.80	1.80
		ข้าวสินเหล็ก	1.80	1.80
		ลูกเดือย	1.80	1.80
		ข้าวบาร์เลย์	1.80	1.80
		ข้าวโพด	1.80	1.80
		น้ำตาลซูโครส	5.00	5.00
		Honey flavor syrup	7.80	7.80
		ผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม	0.10	-
		น้ำสะอาด	78.10	78.20
		รวม	**100**	**100**
สูตรที่	**โยเกิร์ต**	**ส่วนผสม**	**ชุดที่ 3 A(2)F (ร้อยละ)**	**ชุดที่ 4 A(2) (ร้อยละ)**
2	**ธัญชาติผสม A(2)**	ข้าวหอมมะลิ	1.35	1.35
		ข้าวสินเหล็ก	1.80	1.80
		ลูกเดือย	2.25	2.25
		ข้าวบาร์เลย์	2.25	2.25
		ข้าวโพด	1.35	1.35
		น้ำตาลซูโครส	5.00	5.00
		Honey flavor syrup	7.80	7.80
		ผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม	0.10	-
		น้ำสะอาด	78.10	78.20
		รวม	**100**	**100**

หมายเหตุ : เปลือกผลไม้ผสมประกอบด้วยผงแห้งจากเปลือกเสาวรส สับปะรด ทับทิมและแอปเปิ้ล ในอัตราส่วน 1:1:1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ส่วนผสมที่ใช้ในการหมักโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (ต่อ)

สูตรที่	โยเกิร์ต	ส่วนผสม	ชุดที่ 5 B(3)F (ร้อยละ)	ชุดที่ 6 B(3) (ร้อยละ)
3	**ธัญชาติผสม B(3)**	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	1.35	1.35
		ข้าวทับทิมชุมแพ	1.35	1.35
		ลูกเดือย	0.90	0.90
		ข้าวบาร์เลย์	0.90	0.90
		ข้าวสังข์หยด	1.80	1.80
		ข้าวโพด	2.70	2.70
		น้ำตาลซูโครส	5.00	5.00
		Honey flavor syrup	7.80	7.80
		ผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม	0.10	-
		น้ำสะอาด	78.10	78.20
		รวม	**100**	**100**
สูตรที่	**โยเกิร์ต**	**ส่วนผสม**	**ชุดที่ 7 B(4)F (ร้อยละ)**	**ชุดที่ 8 B(4) (ร้อยละ)**
4	**ธัญชาติผสม B(4)**	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	1.80	1.80
		ข้าวทับทิมชุมแพ	2.25	2.25
		ลูกเดือย	1.80	1.80
		ข้าวบาร์เลย์	0.90	0.90
		ข้าวสังข์หยด	0.90	0.90
		ข้าวโพด	1.35	1.35
		น้ำตาลซูโครส	5.00	5.00
		Honey flavor syrup	7.80	7.80
		ผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม	0.10	-
		น้ำสะอาด	78.10	78.20
		รวม	**100**	**100**

หมายเหตุ : เปลือกผลไม้ผสมประกอบด้วยผงแห้งจากเปลือกเสาวรส สับปะรด ทับทิมและแอปเปิ้ล ในอัตราส่วน 1:1:1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยหยาบ

การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยหยาบทำตามวิธีของ Kirk และ Sawyer (1991) ทำได้โดยชั่งตัวอย่างโยเกิร์ต 2.7-3.0 กรัมนำไปสกัดด้วย Petroleum ether โดยการกวนและแยกตัวทำละลายออกทำเช่นนี้ 3 ครั้งแล้วทิ้งไว้ให้แห้งในอุณหภูมิห้อง จากนั้นถ่ายลงในฟลาสก์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1275 โมลาร์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร โดยจะต้องทำให้สารละลายกรดซัลฟิวริกร้อนจนเดือดก่อนและนำมาต้มที่ความร้อนปานกลางเป็นเวลา 30 นาทีโดยทำการเขย่าฟลาสก์ทุกๆ 2 นาทีเพื่อผสมตัวอย่างให้เข้ากัน ในระหว่างนี้เตรียมกรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel) พร้อมวางกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 54 ไว้บนกรวยกรองแล้วเทน้ำต้มเดือดลงในกรวยกรองก่อนเพื่อให้ร้อน เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายกรดซัลฟิวริกครบเวลา 30 นาทีแล้วตั้งของผสมที่เป็นกรดนี้ไว้ 1 นาที จากนั้นเทของผสมที่จะนำมากรองลงไปในกรวยกรองที่เตรียมไว้โดยใช้ Suction pump ให้เสร็จภายใน 10 นาทีแล้วชะล้างสิ่งที่ไม่ละลายด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำที่ล้างปราศจากกรด จากนั้นทำการชะล้างฟลาสก์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.313 โมลาร์ปริมาตร 200 มิลลิลิตรที่ให้ความร้อนจนถึงจุดเดือดและต้มที่ความร้อนปานกลางเป็นเวลา 30 นาทีซึ่งทำเช่นเดียวกับ boiling acid treatment จากนั้นล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 1 และล้างด้วยน้ำร้อนอีกทีจนปราศจากกรด จากนั้นชะล้างด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 2 ครั้งและล้างด้วย Diethyl ether อีกจำนวน 3 ครั้ง หลังจากนั้นถ่ายส่วนที่ไม่ละลายลงบนกระดาษกรองที่ปราศจากเถ้า (Filter paper ashless) เบอร์ 41 ที่ชั่งหาน้ำหนักมาก่อนแล้ว จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำกระดาษกรองที่มีส่วนที่ไม่ละลายติดอยู่ไปเผาในเตาเผาที่ความร้อนสูงจนได้เป็นเถ้า ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณเยื่อใยหยาบจากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณเยื่อใยหยาบ (\%)} = \frac{F_1 - F_2}{F_0} \times 100$$

เมื่อ F_0 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

F_1 = น้ำหนักสิ่งตกค้างก่อนเผา (กรัม)

F_2 = น้ำหนักสิ่งตกค้างหลังเผา (กรัม)

3.2.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมดทำตามวิธีของ Kirk และ Sawyer (1991) โดยทำการอบภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับใส่ตัวอย่างเพื่อหาความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงโดยใช้ตู้อบแบบสุญญากาศและอบฝาปิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลาบรรจุทรายปริมาตร 25 กรัมและแท่งแก้วขนาดเล็กสำหรับคนไว้ในภาชนะอะลูมิเนียม จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบแบบสุญญากาศและที่อุณหภูมิ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 5 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักตัวอย่างโยเกิร์ตปริมาตร 3.0±0.5 กรัมลงในภาชนะที่ทรายกับแท่งแก้วที่เตรียมไว้ โดยใส่ไว้บริเวณตรงกลางเพื่อไม่ให้ตัวอย่างสัมผัสกับข้างภาชนะ จากนั้นนำภาชนะออกจากเครื่องชั่งแล้วผสมทรายกับตัวอย่างให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วและทิ้งแท่งแก้วไว้ในภาชนะตลอดการวิเคราะห์ จากนั้นนำไปอบในตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 100±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4.75 ชั่วโมง ± 15 นาทีที่สุญญากาศต่ำสุด -86 กิโลพาสคัล โดยระหว่างการอบในตู้อบแบบสุญญากาศจะปล่อยอากาศเข้าอย่างช้าๆ ซึ่งอากาศที่ปล่อยเข้ามานี้จะถูกทำให้แห้งโดยผ่านการดักจับของแคลเซียมซัลเฟต หลังจากอบจนครบ 4.75 ชั่วโมง ± 15 นาทีแล้วปิดสุญญากาศของตู้อบและค่อยๆ ปล่อยอากาศเข้า จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาทีหรือจนกว่าจะเย็นเท่าอุณหภูมิห้องชั่งภาชนะหลังอบและนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักที่สูญหาย}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (\%)} = 100 - \text{ปริมาณความชื้น (\%)}$$

3.2.3.3 การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมจำนวน 4 ชุดได้แก่ ชุดที่ 1 โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1)F ที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (ร้อยละ 0.1) ชุดที่ 2 โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1) ที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ชุดที่ 3 โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3)F ที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (ร้อยละ 0.1) และชุดที่ 4 โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3) ที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเกี่ยวกับความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี ลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น ความหวาน ความเปรี้ยวและความชอบโดยรวม ซึ่งจะมีผู้เข้าร่วมชิมจำนวนทั้งหมด 36 คนโดยจะทดสอบความชอบโดยใช้วิธี 9 point hedonic scale ผู้เข้าร่วมชิมจะประเมินผลด้วยตัวเลขสามหลักและนำเสนอแบบสุ่มคือ จะแบ่งเป็น 9 ระดับคะแนนความชอบซึ่งหมายเลข 1 คือ “ไม่ชอบมากที่สุด” และหมายเลข 9 คือ “ชอบมากที่สุด”

3.2.3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติทำได้โดยการนำผลการทดลองทั้ง 3 ซ้ำของปริมาณความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมด สมบัติทางพฤกษเคมี องค์ประกอบทางเคมีและการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ Analysis variance (ANOVA) และ Duncan’s multiple range test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละทรีทเมนต์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 24.0 (IBM, USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้

จากการวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้ทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ เปลือกทับทิม เปลือกละมุด เปลือกส้มเขียวหวาน เปลือกสับปะรด เปลือกเสาวรส และเปลือกแอปเปิ้ล พบว่าเปลือกเสาวรสมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงสุดคือร้อยละ 64.95 รองลงมาเป็นเปลือกส้มเขียวหวาน ซึ่งมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 58.83 ตามด้วยเปลือกสับปะรด เปลือกละมุด เปลือกทับทิมและเปลือกแอปเปิ้ลมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 46.86, 45.94, 44.01 และ 30.99 ตามลำดับที่แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจากการที่ผงแห้งจากเปลือกผลไม้ทั้ง 6 ชนิดมีปริมาณผันแปรกัน จึงได้เตรียมผงเปลือกผลไม้ผสมของเปลือกเสาวรส สับปะรด ทับทิมและแอปเปิ้ลในอัตราส่วน 1:1:1:1 เพื่อนำมาใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.1 ผลปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละ) ± SD
เปลือกทับทิม	44.01 ± 13.54
เปลือกละมุด	45.94 ± 14.23
เปลือกส้มเขียวหวาน	58.83 ± 13.64
เปลือกสับปะรด	46.86 ± 6.49
เปลือกเสาวรส	64.95 ± 6.21
เปลือกแอปเปิ้ล	30.99 ± 13.17

ในการทดลองนี้เปลือกเสาวรสมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดสูงสุด (ร้อยละ 64.95) ซึ่งสูงกว่าปริมาณใยอาหารในเปลือกส้มเขียวหวาน เปลือกสับปะรด เปลือกละมุด เปลือกทับทิมและเปลือกแอปเปิ้ล จากผลงานวิจัยของ do Espírito Santo และคณะ (2012) ซึ่งได้วิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดของผงเปลือกเสาวรสแห้งสายพันธุ์สีเหลือง (yellow cultivar) จากประเทศบราซิล โดยพบว่ามีปริมาณสูงเช่นเดียวกัน (ร้อยละ 65.08) อีกทั้งยังประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆเช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้าและความชื้น (ร้อยละ 6.32, 6.96, 74.33, 3.88 และ 9.40 ตามลำดับ) ส่วนปริมาณใยอาหารในเปลือกส้มแห้งจากงานวิจัยของ de Moraes Crizel และคณะ (2013) รายงานว่าเปลือกส้มแห้งสายพันธุ์ส้มเกลี้ยง (*Citrus sinensis*) จากประเทศบราซิลมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 63.7 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง (เป็น insoluble dietary fiber (IDF) 48.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง เป็น soluble dietary fiber (SDF) 15.6 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง และอัตราส่วนของ IDF/SDF มีค่าเท่ากับ 3.1:1) อีกทั้งยังประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆเช่น ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้าและคาร์โบไฮเดรต (7.1, 8.50, 1.81, 3.03 และ 86.7 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) นอกจากนี้ Huang และคณะ (2011) ได้วิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารในเปลือกสับปะรดสายพันธุ์ Tai-Nong-17 จากประเทศไต้หวันที่ผ่านการอบแห้ง พบว่ามีปริมาณใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ 42.2 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง (เป็น insoluble dietary fiber (IDF) 36.3 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง และเป็น soluble dietary fiber (SDF) 5.90 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ยังวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีเช่น ปริมาณโปรตีน (crude protein) ปริมาณไขมัน (crude lipid) เถ้าและคาร์โบไฮเดรต พบว่ามีปริมาณ 9.13, 1.57, 4.81 และ 42.3 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับเปลือกทับทิมมีงานวิจัยของ Hasnaoui และคณะ (2014) ได้วิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงเปลือกทับทิมแห้งทั้งหมด 12 สายพันธุ์จากประเทศตูนิเซียพบว่ามีปริมาณใยอาหารทั้งหมดระหว่าง 33.10 ถึง 62.09 กรัมต่อ 100 กรัมของผงแห้ง โดยสายพันธุ์ที่มีปริมาณใยอาหารทั้งหมดใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ในการทดลองนี้คือสายพันธุ์ Gobsi_8 (46.41 กรัมต่อ 100 กรัมของผงแห้ง) และ สายพันธุ์ Gobsi_9 (45.33 กรัมต่อ 100 กรัมของผงแห้ง) ซึ่งทั้ง 2 สายพันธุ์นี้มีอัตราส่วนของ insoluble dietary fiber/ soluble dietary fiber (IDF/SDF) เท่ากับ 1.01 และ 0.94 ตามลำดับ นอกจากนี้ Bae และคณะ (2016) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในสารสกัดจากเปลือกแอปเปิ้ลแห้งสายพันธุ์ฟูจิ (Fuji variety, *Maluspumila*) จากประเทศเกาหลีพบว่ามีปริมาณใยอาหารทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 58.44 (เป็น soluble dietary fiber (SDF) ร้อยละ 6.76 insoluble dietary fiber (IDF) ร้อยละ 51.68 และอัตราส่วนของ SDF/IDF เท่ากับ 0.13)

American Association of Cereal Chemists (AACC) ได้ให้คำจำกัดความของใยอาหาร (dietary fiber) ว่าคือสิ่งที่มาจากส่วนที่กินได้ของพืชหรือคาร์โบไฮเดรตที่คล้ายคลึงกัน (analogous carbohydrates) ซึ่งสามารถทนต่อการย่อยอาหารและการดูดซึมของลำไส้เล็กในร่างกายของมนุษย์ได้ รวมทั้งมีผลทางสรีรวิทยาที่เป็นประโยชน์เช่น ช่วยในการระบาย (laxation) การลดระดับน้ำตาลในเลือด (blood glucose attenuation) และการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (blood cholesterol attenuation) (AACC Report, The definition of dietary fiber, 2000) นอกจากนี้ Codex draft definition ได้ระบุว่าใยอาหารโดยทั่วไปมีคุณสมบัติดังนี้ ช่วยลด intestinal transit time และเพิ่มปริมาณอุจจาระ ถูกหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลทั้งหมดในเลือดหรือลดระดับ LDL cholesterol ในเลือด ช่วยลดระดับน้ำตาล (post-prandial blood glucose) และ/หรือช่วยลดระดับอินซูลินในเลือดได้ (Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses, 2009) ตามคำแนะนำของ Trowell (1972) ใยอาหารประกอบด้วยเศษของเซลล์พืชที่กินได้ พอลิแซคคาไรด์ ลิกนินและสารที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทนต่อการย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ องค์ประกอบของใยอาหารรวมถึงเซลลูโลส เฮมิ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลส ลิกนิน กัม (gums) เมือก (mucilage) โอลิโกแซคคาไรด์ เพกตินและสารย่อยอื่นๆเช่น แวกซ์ (waxes) คิวติน (cutin) ซูเบอลิน (suberin) ต่อมามีการใช้คำว่าใยอาหาร (dietary fiber) แทนคำว่าเยื่อใยหยาบ (crude fiber) แล้วมีการสรุปเกี่ยวกับองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆกันที่ทนต่อการย่อย (indigestible carbohydrate) รวมถึงเยื่อใยหยาบ (crude fiber) พอลิ-แซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (nonstarch polysaccharide) ใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fober) ส่วนที่ไม่สามารถย่อยได้ (indigestible fraction) และสตาร์ชที่ทนต่อการย่อย (resistant starch) ดังตารางที่ 1 ภาคผนวก จ ใยอาหารสามารถถูกจัดจำแนกได้หลายทางตามโครงสร้างและความสามารถในการละลายพอลิแซคคาไรด์ถูกจัดแบ่งเป็นโมเลกุลเชิงเส้น (linear molecules) หรือไม่เชิงเส้น (nonlinear molecules) ตามความสามารถในการละลาย โดยพอลิแซคคาไรด์เหล่านี้แบ่งได้เป็น ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) สำหรับใยอาหารที่ไม่ละลายประกอบด้วยส่วนประกอบของผนังเซลล์เป็นส่วนใหญ่ (เช่น เซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส) ในขณะที่ใยอาหารที่ละลายน้ำประกอบด้วย noncellulosic polysaccharide เช่น เพกติน กัม (gums) เมือก (mucilage) (Nair และคณะ, 2010)

4.2 การศึกษาผลของธัญชาติต่อการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกและสมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติ

จากการศึกษาผลของธัญชาติต่อการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกและสมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติทั้งหมด 8 สูตร ผลค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปกรดแลคติกและการวิเคราะห์หาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.2)

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดและจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ

4.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ

โยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยวก่อนการหมักมีค่าพีเอชค่อนข้างผันแปรกันคือ โยเกิร์ตข้าวสินเหล็กและโยเกิร์ตลูกเดือยมีค่าพีเอชสูงที่สุด (6.63 และ 6.64) รองลงมาคือโยเกิร์ตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวทับทิมชุมแพ ข้าวสังข์หยดและข้าวโพด (6.03 ถึง 6.43) และโยเกิร์ตที่มีค่าพีเอชต่ำสุดคือโยเกิร์ตจากข้าวบาร์เลย์ (5.55) เมื่อหมักโยเกิร์ตครบ 24 ชั่วโมงพบว่า โยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยวสูตรที่ 1 ถึง 8 (ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1.56 ถึง 2.15) เมื่อพิจารณาปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยวที่เวลาเริ่มต้นของการหมักพบว่าโยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยวเกือบทุกสูตรมีปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.09 มีเพียงโยเกิร์ตจากข้าวบาร์เลย์เท่านั้นที่มีปริมาณกรดทั้งหมดสูงที่สุดคือร้อยละ 0.12 ซึ่งสูงกว่าค่าพีเอชของโยเกิร์ตสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อหมัก 24 ชั่วโมงพบว่าโยเกิร์ตข้าวโพดมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นสูงที่สุดคือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.39 และโยเกิร์ตธัญชาติสูตรอื่นๆมีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.09 ถึงร้อยละ 0.27 ซึ่งสูงกว่าปริมาณกรดของโยเกิร์ตสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ

โยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยวสูตรที่ 1 (ข้าวไรซ์เบอร์รี่) ก่อนการหมักมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดสูงสุด (7.72 log CFU ต่อกรัม) ส่วนโยเกิร์ตสูตรอื่นๆมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดเริ่มต้นใกล้เคียงกันซึ่งมีปริมาณเชื้ออยู่ระหว่าง 6.91 ถึง 7.31 log CFU ต่อกรัม จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะเห็นว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดระหว่างโยเกิร์ตธัญชาติแต่ละสูตรทั้งที่เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของการหมัก ($P<0.05$) เมื่อหมักโยเกิร์ตครบ 24 ชั่วโมงพบว่าโยเกิร์ตที่มีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือโยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยวสูตรที่ 8 (ข้าวโพด) ซึ่งมีปริมาณเชื้อที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.63 log CFU ต่อกรัม ซึ่งสัมพันธ์กันกับการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชและปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นในโยเกิร์ตสูตรนี้ ส่วนโยเกิร์ตสูตรอื่นจะมีปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 1.04 ถึง 1.21 log CFU ต่อกรัม ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณเชื้อที่เพิ่มขึ้นในโยเกิร์ตธัญชาติสูตรต่างๆพบว่าปริมาณเชื้อมีความสัมพันธ์กันกับสัดส่วนของปริมาณข้าวโพดคือ ยิ่งมีสัดส่วนของข้าวโพดมากก็ยิ่งมีปริมาณเชื้อเพิ่มมากขึ้น แต่จากผลการวิเคราะห์ทางสถิตินั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณเชื้อในชั่วโมงที่ 24 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4.2

โยเกิร์ตข้าวโพด โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์และโยเกิร์ตลูกเดือยมีจำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติกที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าโยเกิร์ตธัญชาติสูตรอื่นหลังหมักครบ 14 วัน โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Helland และคณะ (2004) ได้รายงานว่าแบคทีเรียโพรไบโอติก *Lactobacillus reuteri* (สายพันธุ์ SD 2112), *Lactobacillus acidophilus* (สายพันธุ์ LA5 และสายพันธุ์ *NCDO* 1748) และ *Lactobacillus rhamnosus* GG (สายพันธุ์ ATCC 53103) เจริญได้ดีใน porridge ซึ่งมีส่วนผสมของแป้งข้าวโพด (maize) ร้อยละ 18.5 และข้าวบาร์เลย์ (malted barley) ร้อยละ 1.5 ทำให้ได้ปริมาณของแห้งทั้งหมดร้อยละ 20 น้ำหนักโดยปริมาตร ในระหว่างการหมัก โดยเพิ่มจำนวนขึ้นสูงสุดถึง 7.2-8.2 log CFU ต่อกรัม (จากจำนวนเชื้อเริ่มต้น 6-7 log CFU ต่อกรัม) หลังการหมักเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และ Trikoomdun และ Leenanon (2016) ได้รายงานว่าแบคทีเรียโพรไบโอติก *Lactobacillus acidophilus* (สายพันธุ์ TISTR 1338) และ *Lactobacillus casei* (สายพันธุ์ TISTR 390) อยู่รอดได้ดีในโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดหวาน (*Zea mays saccharata*) ซึ่งเติมเชื้อทั้ง 2 หลังจากหมักด้วยแบคทีเรียโพรไบโอติก *Lactobacillus bugaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน โดยเชื้อ *Lactobacillus casei* และ *Lactobacillus acidophilus* มีจำนวน 9.11 และ 8.76 log CFU ต่อกรัม ตามลำดับ และในการทดลองนี้แบคทีเรียโพรไบโอติกในโยเกิร์ตลูกเดือยข้าวเหนียวมีจำนวนเพิ่มขึ้นสูงหลังหมักอาจเป็นผลมาจากการมีสารอาหารหลายชนิดในลูกเดือยที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ทัศนีย์ และอรอนงค์ (2530) ได้รายงานว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยวระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

สูตรที่	โยเกิร์ต	ค่าพีเอช ± SD		ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ) ± SD		จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมด (log CFU ต่อกรัม) ± SD	
		ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 24	ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 24	ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 24
1	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวไรซ์เบอร์รี่)	6.39 ± 0.20^{a}	4.29 ± 0.08^{ab}	0.09 ± 0.00^{a}	0.24 ± 0.05^{b}	7.72 ± 1.05^{a}	8.91 ± 0.72^{a}
2	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวทับทิมชุมแพ)	6.40 ± 0.14^{a}	4.58 ± 0.15^{a}	0.09 ± 0.00^{a}	0.24 ± 0.05^{b}	7.26 ± 0.44^{a}	8.32 ± 0.43^{a}
3	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวหอมมะลิ)	6.44 ± 0.16^{a}	4.81 ± 0.47^{a}	0.09 ± 0.00^{a}	0.18 ± 0.00^{b}	7.31 ± 0.52^{a}	8.49 ± 0.66^{a}
4	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวสินเหล็ก)	6.64 ± 0.09^{a}	4.62 ± 0.41^{a}	0.09 ± 0.00^{a}	0.24 ± 0.05^{b}	7.25 ± 0.86^{a}	8.29 ± 0.14^{a}
5	ธัญชาติเดี่ยว (ลูกเดือย)	6.63 ± 0.13^{a}	4.65 ± 0.25^{a}	0.09 ± 0.00^{a}	0.24 ± 0.05^{b}	6.91 ± 0.81^{a}	8.28 ± 0.55^{a}
6	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวบาร์เลย์)	5.55 ± 0.10^{c}	3.99 ± 0.28^{b}	0.12 ± 0.05^{a}	0.21 ± 0.05^{b}	7.12 ± 0.32^{a}	8.33 ± 0.29^{a}
7	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวสังข์หยด)	6.43 ± 0.11^{a}	4.71 ± 0.32^{a}	0.09 ± 0.00^{a}	0.18 ± 0.00^{b}	7.19 ± 0.36^{a}	8.25 ± 0.40^{a}
8	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวโพด)	6.03 ± 0.19^{b}	3.87 ± 0.34^{b}	0.09 ± 0.00^{a}	0.48 ± 0.05^{a}	6.97 ± 0.71^{a}	8.60 ± 0.03^{a}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวของคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

แป้งลูกเดือยมีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 8.89, 15.18, 5.52, 1.53, 0.25, และ 77.52 ตามลำดับ ขณะที่สตาร์ชลูกเดือยมีปริมาณสารอาหารดังกล่าวร้อยละ 11.40, 2.79, 0.78, 0.26, และ 96.14 ตามลำดับ และสตาร์ชลูกเดือยยังมีปริมาณ amylose เท่ากับร้อยละ 10.8 และ amylopectin เท่ากับร้อยละ 89.2 นอกจากนี้ในแป้งลูกเดือยยังมีกรดอะมิโนหลายชนิดเช่น กรดอะมิโนจำเป็น ได้แก่ ลิวซีน (ร้อยละ 14.90) วาลีน (ร้อยละ 7.41) เมไทโอนีน (ร้อยละ 0.73) ไอโซลิวซีน (ร้อยละ 5.03) ทรีโอนีน (ร้อยละ 3.23) ฟีนิลอะลานีน (ร้อยละ 5.98) และไลซีน (ร้อยละ 1.50) และกรดอะมิโนไม่จำเป็น ได้แก่ ฮิสทีดีน (ร้อยละ 1.83) กรดกลูตามิก (ร้อยละ 25.74) โพรลีน (ร้อยละ 7.46) อะลานีน (ร้อยละ 10.03) กรดแอสปาร์ติก (ร้อยละ 0.33) ไทโรซีน (ร้อยละ 4.67) ไกลซีน (ร้อยละ 2.72) เซอร์รีน (ร้อยละ 4.50) อาร์จินีน (ร้อยละ 4.64) และแอมโมเนีย (น้อยกว่าร้อยละ 3.47) วิตามินบี 1 และบี 2 ปริมาณ 754.7 และ 28.8 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม นอกจากนี้ยังมีไขมันเช่น ไขมันไม่อิ่มตัว (ร้อยละ 83.78) ได้แก่ กรดโอเลอิก (ร้อยละ 83.78) และกรดลิโนเลอิก (ร้อยละ 57.08) และไขมันอิ่มตัว (ร้อยละ 16.22) ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (ร้อยละ 14.24) และกรดสเตียริก (ร้อยละ 1.98) และแร่ธาตุดังนี้ ฟอสฟอรัส (2,516 ppm) โพแทสเซียม (1,521 ppm) โซเดียม (181 ppm) แคลเซียม (18.1 ppm) ทองแดง (4.80 ppm) ปรอท (1,103 ppm) แมงกานีส (20.3 ppm) สังกะสี (29.5 ppm) และเหล็ก (47.4 ppm) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าลูกเดือยมีสารอาหารหลายชนิดเป็นองค์ประกอบได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใยหยาบ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็กร้อยละ 14, 5, 65, 3, 0.07, 0.242 และ 0.001 และยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวิภาพ (bioactive) อีกหลายชนิดเช่น coixenolide, coixan และ total triterpenes เท่ากับ 44.60, 59.03 และ 22.83 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในขณะที่สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ 2 ชนิดเช่น fatty acid และ coixenolide มีรายานว่ามี antitumor activity ที่มีนัยสำคัญใน coxi seed oil มีไตรกลีเซอไรด์สูงถึงร้อยละ 87 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในกรดไขมันทั้งหมดของไตรกลีเซอไรด์มีมากกว่าร้อยละ 84 ส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิก (oleic acid) ร้อยละ 31.42 และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ร้อยละ 47.38 และยังมีพอลิแซคคาไรด์ที่แอกทีฟอีก 3 ชนิดที่มีส่วนช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังจากทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งพอลิแซคคาไรด์ A ประกอบด้วย แรมโนส อะราบิโนส ไซโลส แมนโนส และกาแลคโตสในอัตราส่วน 1:1:1:11:10 พอลิ-แซคคาไรด์ B ประกอบด้วย แรมโนส อะราบิโนส ไซโลส แมนโนส กาแลคโตส และกลูโคสใน อัตราส่วน 3:18:13:3:10:5 และพอลิแซคคาไรด์ C คือ กลูแคน (Yu และคณะ, 2014) ซึ่งพอลิแซค-คาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในลูกเดือยอาจจะช่วยส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกระหว่าง การหมักโยเกิร์ตลูกเดือย ซึ่งสุภัจฉรา (2557) ได้กล่าวว่าแบคทีเรียโพรไบโอติก กลุ่มที่ใช้แป้งเป็นอาหารเรียกว่า carbolyticbacteria ได้แก่ กลุ่ม lactobacilli, eubacteria และ bifidobacteria และกลุ่มที่ใช้แป้งและโปรตีนเป็นอาหารได้แก่ กลุ่ม streptococci และ bacteriodes โดยสารอาหารจำพวกแป้ง ใยอาหาร และโอลิโกแซคคาไรด์จะไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็กจะเคลื่อนลงมาที่ลำไส้ใหญ่ เชื้อเหล่านี้จะทำการหมักเพื่อเพิ่มจำนวนขึ้นจนเป็นเชื้อส่วนใหญ่ในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือยยังเป็นหนึ่งในสมุนไพรจีนที่มีคุณสมบัติทางยาในการช่วยป้องกันโรคมะเร็ง ความดันโลหิตสูง โรคไขข้อเสื่อม โรคหอบหืด และความผิดปกติทางระบบภูมิคุ้มกันอีกด้วย (Yu และคณะ, 2017) Hiran และคณะ (2016) ยังได้รายงานว่าเมล็ดข้าวโพดแห้งสายพันธุ์ High Brix #3 มีองค์ประกอบทางเคมี เช่น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 12.1, 4.2, 1.4, 2.1 และ 80.3 ตามลำดับ Fuentes-Zaragoza และคณะ (2011) กล่าวว่าเมล็ดข้าวโพดมี resistant starch ปริมาณ 25.2 กรัมต่อ 100 กรัมที่รับประทาน ใยอาหารปริมาณ 19.6 กรัมต่อ 100 กรัมที่รับประทาน และมีปริมาณ starch ทั้งหมด 77.9 กรัมต่อ 100 กรัมที่รับประทาน ซึ่ง resistant starch คือ อัตราส่วนของสตาร์ชที่ไม่ถูกไฮโดรไลส์เป็น D-glucose ที่บริเวณลำไส้เล็กในเวลา 120 นาที นับตั้งแต่รับประทานเข้าไป แต่จะถูกหมักในลำไส้ใหญ่ จากการศึกษาจำนวนมากก่อนหน้านี้พบว่า resistant starch เป็นโมเลกุลเชิงเส้น (linear molecule) ของ α-1,4-D-glucan ที่มาจากส่วนคืนตัวของอะไมโลส (retrograded amylase fraction) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำประมาณ 1.2x105 ดาลตัน Brown และคณะ (1995) กล่าวว่า high amylose maize starch ประกอบด้วย R2 Resistant granule ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกโดยเหมาะสำหรับแบคทีเรียโพรไบโอติกดังนี้ 1) เป็นแหล่งของใยอาหาร 2) จัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) 3) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แบคทีเรียโพรไบโอติก 4) ช่วยเพิ่มการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกในอาหารแปรรูป 5) ช่วยปกป้องเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติกระหว่างการขนส่งสารผ่านระบบทางเดินอาหาร 6) ช่วยรักษาองค์ประกอบและโครงสร้างระหว่างการขนส่งสารผ่านระบบทางเดินอาหารตอนต้น 7) ช่วยเพิ่มการรอดชีวิตและการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียโพรไบโอติกในลำไส้ใหญ่ 8) Modified variants ของ resistant starch สามารถถูกใช้ในการควบคุมการเจริญของโพรไบโอติก 9) ช่วยลดหรือกำจัดแบคทีเรียก่อโรคและมีปฏิสัมพันธ์ในเชิงบวกกับส่วนอื่นๆ 10) เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพเมื่อรับประทานเข้าไป ซึ่ง resistant starch ในข้าวโพดจัดเป็น resistant starch ที่มีลักษณะเป็นเม็ดแป้งดิบ (raw or ungelatinized starch) ทนต่อการทำงานของเอนไซม์ในลำไส้และไม่สามารถดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ได้ พบได้ในแป้งที่มีอะไมโลสสูงรวมทั้งแป้งมันฝรั่งดิบ แป้งกล้วยดิบ และแป้งข้าวโพด (high amylose maize starch) (จิรนาถ, 2554) คุณลักษณะดังกล่าวจึงทำให้แป้งข้าวโพดมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก อีกทั้งยังมีส่วนช่วยส่งเสริมการทำงานและปกป้องดูแลระบบขนส่งสารของโพรไบโอติกบางส่วนในระบบทางเดินอาหารตอนต้น จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าแป้งข้าวโพดมีประโยชน์ที่จะนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โพรไบโอติก (Brown และคณะ, 1995) ซึ่งพรีไบโอติก (prebiotic) คือ คาร์โบไฮเดรตสายสั้นๆที่ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์เดิมเคยถูกเรียกว่า short-chain carbohydrate บางครั้งอ้างว่าคือ non-digestible oligosaccharide ซึ่งพรีไบโอติกเป็น non-active food constituent ที่ไม่ถูกย่อยจึงผ่านไปยังทางเดินอาหารส่วนล่างเช่น ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ และเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ (host) คือ เป็นตัวกลางในการกระตุ้นการเจริญและกิจกรรมของแบคทีเรียโพรไบโอติก (Gibson และ Roberfroid, 1995) แลคทูโลส (lactulose) กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (galactooligosaccharides) พวกฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructooligosaccharides)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินนูลิน (inulin) มอลต์โตโอลิโกแซคคาไรด์ (maltooligosaccharides) และ resistant starch คือ พรีไบโอติกที่ใช้ในอาหารทั่วไปของมนุษย์ องค์ประกอบที่สำคัญตอนปลายของเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตคือ กรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) โดยเฉพาะกรดอะซิติก กรดโพร-พิโอนิก และกรดบิวทิริกที่ร่างกายใช้เป็นแหล่งพลังงาน สารเหล่านี้สามารถพบได้ในพืชชนิดต่างๆเช่น ผักชีฝรั่ง หัวหอม กระเทียม หน่อไม้ฝรั่ง แก่นตะวัน กล้วย มะเขือเทศ และพืชชนิดอื่นๆอีกมากมาย (Al-Sheraji และคณะ, 2013) คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้ (non-digestible carbohydrates) จัดเป็นพรีไบโอติกเช่นกัน โดยมีเกณฑ์การจำแนกดังนี้ 1) สามารถต้านทานกรดในกระเพาะอาหารและเอนไซม์ต่างๆในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้ 2) สามารถเกิดกระบวนการหมักโดยแบคทีเรียในระบบทางเดินอาหารได้และ 3) มีความสามารถในการส่งเสริมการมีชีวิตหรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ได้ กาแลคโตโอลิ-โกแซคคาไรด์ ฟรุกโต-โอลิโกแซคคาไรด์ และอินนูลิน จัดเป็นพรีไบโอติกที่รู้จักกันดีที่สุด ซึ่งกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ไม่สามารถย่อยได้และได้มาจากแลคโตสที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในน้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและประกอบด้วยสายโซ่ของ galactose monomer ส่วนอินนูลินและฟรุคแทนที่จัดเป็นอินนูลิน (inulin-type fructans) ก็จัดเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Roberfroid, 2005)

4.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติ

4.2.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ

สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยวสูตรที่ 8 (ข้าวโพด) มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด (89.48 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัม) รองลงมาคือโยเกิร์ตสูตรที่ 1, 7 และสูตรที่ 4 (21.27, 12.43 และ 10.00 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัม ตามลำดับ) ส่วนโยเกิร์ตสูตรอื่นๆมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 4.63 ถึง 8.81 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัม สำหรับสารมาตรฐานที่ใช้เป็นชุดควบคุมเชิงบวกมี 2 ตัวคือ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol) และสารมาตรฐาน BHT มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 156.48 และ 119.16 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 100 กรัมตามลำดับดังตารางที่ 4.3

4.2.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติ

สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติที่มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุดคือสารสกัดจากโยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่ (30.67 มิลลิกรัมของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัม) ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าในโยเกิร์ตสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) รองลงมาคือ สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยวสูตร 5 (ลูกเดือย) มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 18.25 มิลลิกรัมของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัม ส่วนโยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยวอื่นๆมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (3.70 ถึง 14.48 มิลลิกรัมของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัม) สำหรับสารมาตรฐานที่ใช้เป็นชุดควบคุมเชิงบวกคือ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol) และสารมาตรฐาน BHT มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 116.46 และ 152.12 มิลลิกรัมของคาเทชินต่อสารสกัด 100 กรัม ตามลำดับดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 การศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติ

ก) การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay

สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติที่มีความสามารถในการรีดิวซ์ได้สูงที่สุดคือ สารสกัดจากโยเกิร์ตข้าวโพด ซึ่งมีความสามารถในการรีดิวซ์เท่ากับ 0.27 มิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อโยเกิร์ต 100 กรัม แต่จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะเห็นว่าไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความสามารถในการรีดิวซ์ระหว่างโยเกิร์ตแต่ละสูตรที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับสารสกัดจากโยเกิร์ตสูตรอื่นๆ และสารสกัดจากโยเกิร์ตที่มีความสามารถในการรีดิวซ์รองลงมาคือโยเกิร์ตธัญชาติสูตรที่ 1 (มีค่า 0.13 มิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อโยเกิร์ต 100 กรัม) โดยชุดควบคุมเชิงบวกคือ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol) และสารมาตรฐาน BHT มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 535.17 และ 14.53 มิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อสารสกัด 100 กรัม ตามลำดับดังตารางที่ 4.3

ข) การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay

สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติสูตรที่ 1 ถึง 8 ที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดคือ สารสกัดจากโยเกิร์ตข้าวโพด (47.52 มิลลิกรัมโทล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัม) รองลงมาคือโยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสังข์หยด ข้าวสินเหล็กและข้าวทับทิมชุมแพ (มีค่าเท่ากับ 12.06, 11.06, 6.57 และ 5.20 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัม ตามลำดับ) โดยมีความแตกต่างกันของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และชุดควบคุมเชิงบวกคือ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol) และสารมาตรฐาน BHT มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 53,548.85 และ 2,545.40 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อสารสกัด 100 กรัม ตามลำดับดังตารางที่ 4.3

จากการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติพบว่าสารสกัดโยเกิร์ตข้าวโพดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด รองลงมาคือสารสกัดโยเกิร์ตจากข้าวที่มีสีชนิดต่างๆ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Adom และ Lui (2002) ได้รายงานไว้ว่าข้าวโพดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (15.55 ไมโครโมลของกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ด) รองลงมาคือ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต และข้าวเจ้า (7.99, 6.53 และ 5.56 ไมโครโมลของกรดแกลลิกต่อกรัมของเมล็ด ตามลำดับ) โดยส่วนของสารประกอบฟีนอลิกหลักๆพบในรูป bound from ซึ่งในข้าวโพดมีร้อยละ 85 ในข้าวสาลีและในข้าวโอ๊ตมีร้อยละ 75 และในข้าวเจ้ามีร้อยละ 62 นอกจากนี้ยังพบกรดเฟอรูริก (feruric acid) ซึ่งพบในรูปอิสระ รูป soluble-conjugated และรูป bound ferulic acid ในอัตราส่วน 0.1:1:100 ซึ่งธัญชาติจะมีสารพฤกษเคมีที่ไม่ซ้ำกันซึ่งจะเสริมกันเมื่อบริโภคทั้งผักและผลไม้เข้าไปด้วยตัวอย่างเช่น สารประกอบที่เป็นโพลีฟีนอล ได้แก่ อนุพันธ์ของกรดเบนโซอิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติเดี่ยว

สูตรที่	โยเกิร์ต	Total Phenolic content (mgGAE/100 g yogurt) ± SD	Total Flavonoid content (mgCE/100 g yogurt) ± SD	Anti-oxidant activity	
				FRAP assay (mmol Fe (II) / 100 g yogurt) ± SD	ABTS assay (mgTE/100 g yogurt) ± SD
1	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวไรซ์เบอร์รี่)	21.27 ± 0.46^{d}	30.67 ± 2.13^{c}	0.13 ± 0.00^{c}	12.06 ± 0.68^{d}
2	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวทับทิมชุมแพ)	6.39 ± 0.14^{h}	12.19 ± 0.33^{f}	0.04 ± 0.00^{c}	5.20 ± 0.89^{e}
3	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวหอมมะลิ)	4.63 ± 0.22^{i}	7.98 ± 1.50^{g}	0.01 ± 0.00^{c}	0.57 ± 0.31^{f}
4	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวสินเหล็ก)	10.00 ± 0.16^{f}	8.42 ± 0.17^{g}	0.06 ± 0.00^{c}	6.57 ± 1.91^{e}
5	ธัญชาติเดี่ยว (ลูกเดือย)	8.81 ± 0.38^{g}	18.25 ± 0.25^{d}	0.03 ± 0.00^{c}	1.19 ± 0.60^{f}
6	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวบาร์เลย์)	5.91 ± 0.08^{h}	3.70 ± 0.47^{h}	0.01 ± 0.01^{c}	0.19 ± 0.06^{f}
7	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวสังข์หยด)	12.43 ± 0.14^{e}	14.48 ± 0.22^{e}	0.07 ± 0.00^{c}	11.06 ± 0.51^{d}
8	ธัญชาติเดี่ยว (ข้าวโพด)	89.48 ± 1.78^{c}	12.78 ± 0.06^{f}	0.27 ± 0.01^{c}	47.52 ± 1.14^{c}
Butylated hydroxyl toluene (BHT)		119.16 ± 0.21^{b}	152.12 ± 0.65^{a}	14.53 ± 0.17^{b}	2,545.40 ± 1.61^{b}
α-tocopherol		156.48 ± 0.27^{a}	116.46 ± 0.07^{b}	535.17 ± 0.73^{a}	53,548.85 ± 0.56^{a}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวของคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

(benzoic acid) กรดซินนามิก (cinnamic acid) แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) ควิโนน (quinones) ฟลาโวนอล (flavonols) ชาลโคน (chalcones) ฟลาโวน (flavones) ฟลาวาโนนและกรดอะมิโนของสารประกอบฟีนอลิก (amino phenolic compounds) (Shahidi และคณะ, 1995) ด้วยเหตุนี้ข้าวโพดจึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุดเนื่องมาจากในข้าวโพดมีสารประกอบของกรดเฟอรูลิก (ferulic acid) ซึ่งกรดนี้เป็นสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มกรดซินนามิก (cinnamic acid) อีกทั้งกรดเฟอรูริกยังมีคุณสมบัติในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคมะเร็ง และยังเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ สารต้านจุลชีพที่ดี ดังนั้นกรดเฟอรูลิกจากธัญชาติจึงมีความสำคัญในการนำมาผลิตและแปรรูปเป็นแป้งในอาหารสุขภาพต่อไป (Boz, 2015) Min และคณะ (2012) ได้รายงานอีกว่าสารสกัดจากข้าวสีดำมีปริมาณ insoluble bound phenolic compound ทั้งหมดสูงที่สุด (90-95 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของเมล็ด) รองลงมาคือข้าวสีแดง ข้าวสีน้ำตาล ข้าวสีน้ำตาลอ่อน และข้าวสีขาว (86, 48-57, 46-63 และ 61 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของเมล็ด ตามลำดับ) ส่วน soluble free phenolics พบในข้าวมากที่สุด (240-257 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของเมล็ด) รองลงมาคือ ข้าวสีแดง ข้าวสีน้ำตาล ข้าวสีน้ำตาลอ่อน และข้าวสีขาว (69, 72-82, 58-62 และ 44 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของเมล็ด ตามลำดับ) และจากการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติพบว่าข้าวโพดยังเป็นธัญชาติที่มีคุณสมบัติที่ดีในการต้านอนุมูลอิสระได้มากที่สุด รองลงมาคือตระกูลข้าวสีดำ และข้าวสีแดง ซึ่ง Hiran และคณะ (2016) ได้รายงานว่าเมล็ดข้าวโพดแห้งสายพันธุ์ High Brix #3 มีองค์ประกอบทางเคมีเช่น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 12.1, 4.2, 1.4, 2.1 และ 80.3 ตามลำดับ โดยในข้าวโพดจะประกอบด้วยสตาร์ชที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกตัวอย่างเช่น amylase maize starch (Hi-maize) เป็นสตาร์ชที่ประกอบด้วยกลูโคส-โมโนเมอร์ ซึ่งมีผู้รายงานว่า maize starch นี้มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก พบได้ในแหล่งอาหารทั่วไปเช่น ธัญชาติ ผัก และผลไม้ (Fuentes-Zaragoza และคณะ, 2011) นอกจาก maize starch จะมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกแล้วยังมีส่วนช่วยส่งเสริมการทำงานและปกป้องดูแลระบบขนส่งสารของโพรไบโอติกบางส่วนในระบบทางเดินอาหารตอนต้น จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าแป้งข้าวโพดมีประโยชน์ที่จะนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โพรไบโอติก (Brown และคณะ, 1995) นอกจากนี้ในข้าวยังมีสารพฤกษเคมีในการต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะในข้าวสีดำ สีน้ำตาล สีแดง หรือสีม่วงพบว่าจะมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวที่มีสีขาว เปลือกสีของข้าวจะมีความแตกต่างกันโดยเฉพาะแอนโทไซยานิน (anthocyanins) มักมีอยู่ในรำข้าวสีดำและโปรแอนโทไซยานิน (proanthocyanins) มักมีอยู่ในรำข้าวสีแดง แอนโทไซยานิน (anthocyanins) เป็นสารพฤกษเคมีในขั้นทุติยภูมิที่เป็นหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบฟลาโวนอยด์ และสารพฤกษเคมีที่พบได้ในข้าวสีที่แตกต่างกันทั้งดำและแดงต่างก็มีบทบาทที่สำคัญในการยับยั้งกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระทั้งช่วยลดคอเลสเตอรอล (LDL) และลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ตลอดจนมีผลช่วยในการต้านการอักเสบได้อีกด้วย (Shao และ Bao, 2015) Sumczynski และคณะ (2016) ยังได้รายงานว่าข้าวสีดำจากประเทศไทยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay (26.4 มิลลิ-โมลของโทรล็อกซ์ต่อกิโลกรัมของเมล็ด) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสีแดงจากประเทศไทยที่มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay อยู่ที่ 21.7 มิลลิโมลของโทรล็อกซ์ต่อกิโลกรัมของเมล็ด

ในการศึกษาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติพบว่าสารสกัดโยเกิร์ตตระกูลข้าวสีดำและข้าวสีน้ำตาลมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด โดยงานวิจัยของ Adom และ Lui (2002) พบว่าข้าวโอ๊ตมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์อิสระ (free flavonoid content) สูงที่สุด (0.45 ไมโครกรัมต่อกรัมของเมล็ด) และ Sumczynski และคณะ (2016) รายงานว่าข้าวสีดำจากประเทศไทยมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูง (2,866 มิลลิกรัมของรูทีนต่อกิโลกรัมของเมล็ด) ซึ่งสูงกว่าในข้าวสีแดงจากประเทศไทยที่มีปริมาณสารประกอบฟลาโว-นอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 2,345 มิลลิกรัมของรูทีนต่อกิโลกรัมของเมล็ด

4.3 ผลของผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมต่อคุณภาพของโยเกิร์ตธัญชาติผสม

4.3.1 การศึกษาผลการเก็บรักษาโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

4.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

โยเกิร์ตธัญชาติผสมชุดที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีค่าพีเอชก่อนการหมักต่ำกว่าชุดที่ไม่ได้เติม เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าพีเอชของโยเกิร์ตทั้งชุดที่เติมและไม่เติมผงเปลือกผลไม้ผสมจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบว่าโยเกิร์ตทั้ง 8 ชุดมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.87 ถึง 4.02 และเมื่อครบ 7 วันของการเก็บรักษาโยเกิร์ตทุกชุดมีค่าพีเอชลดลงอีกเล็กน้อย (ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.85 ถึง 3.97) และเมื่อครบระยะเวลา 14 วันของการเก็บรักษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างโยเกิร์ตชุดที่เติมและไม่เติมผงแห้งจางเปลือกผลไม้ผสมปรากฏว่าในโยเกิร์ตทั้ง 4 สูตรชุดที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมจะมีค่าพีเอชต่ำกว่าชุดที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมและโยเกิร์ตธัญชาติผสมทั้ง 4 สูตรมีปริมาณกรดทั้งหมดก่อนการหมักเท่ากันอยู่ที่ร้อยละ 0.09 เมื่อหมักโยเกิร์ตครบ 24 ชั่งโมง (วันที่ 0 ของการเก็บรักษา) พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในชุดที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (โยเกิร์ตธัญชาติผสมทั้ง 8 ชุดมีปริมาณกรดทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.27 ถึง 0.36 ซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชที่มีค่าลงลงในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา เมื่อครบ 7 วันของการเก็บรักษาโยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรที่ 1 และ 4 มีปริมาณกรดทั้งหมดระหว่างโยเกิร์ตชุดที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมเท่ากันคือมีปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.39 และ 0.36 ตามลำดับ ส่วนในโยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรที่ 2 และ 3 โยเกิร์ตชุดที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีปริมาณกรดสูงกว่าชุดที่ไม่เติมอยู่ร้อยละ 0.03 และ 0.06 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาครบ 14 วันพบว่าในโยเกิร์ตสูตรที่ 1 และ 2 โยเกิร์ตชุดที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีปริมาณกรดทั้งหมดสูงกว่าชุดที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม โดยชุดที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมในสูตรที่ 1 และ 2 มีปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.42 และ 0.39 ตามลำดับ ส่วนโยเกิร์ตชุดที่ไม่เติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผงแห้งจากเปลือกผลไม้ในสูตรที่ 1 และ 2 มีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากันคือร้อยละ 0.36 ส่วนในโยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรที่ 3 และ 4 มีปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตชุดที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมเท่ากันคือมีปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 0.36 และ 0.39 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

4.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดก่อนการหมักในโยเกิร์ตธัญชาติผสมทั้ง 4 สูตรอยู่ในช่วง 7.11 ถึง 7.83 log CFU ต่อกรัม เมื่อครบเวลา 0 วันของการเก็บรักษาโยเกิร์ตทุกสูตรมีจำนวนของแบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มขึ้น โดยโยเกิร์ตที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมจะมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกมากกว่าโยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมประมาณ 1 log cycle และเมื่อครบวันที่ 7 ของการเก็บรักษาโยเกิร์ตทั้ง 8 ชุดมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดลดลงเมื่อเทียบกับวันที่ 0 ของการเก็บรักษาแต่ยังพบว่าในโยเกิร์ตที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมยังมีจำนวนของแบคทีเรียแลคติกมากกว่าโยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม และเมื่อครบระยะเวลา 14 วันของการเก็บรักษาพบว่าโยเกิร์ตที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมยังคงมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกที่รอดชีวิตสูงกว่าโยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (ตารางที่ 4.5)

การเติมเปลือกผลไม้ผสมซึ่งมีส่วนผสมของผงเปลือกเสาวรส สับปะรด ทับทิมและแอปเปิ้ลมีผลช่วยส่งเสริมการเจริญและการหมักของแบคทีเรียโพรไบโอติกในโยเกิร์ตธัญชาติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ do Espírito Santo และคณะ (2012) รายงานว่าใยอาหารจากผงเปลือกผลไม้แห้งมีส่วนช่วยในการกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกในโยเกิร์ต โดยใยอาหารจากผงเปลือกแอปเปิ้ล กล้วยและเสาวรสสามารถกระตุ้นการเจริญของ *L. acidophilus* L10 ได้เมื่อเทียบกับโยเกิร์ตชุดควบที่ไม่ได้เติมใยอาหารจากผงเปลือกผลไม้หลังครบ 1 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยใยอาหารจากผงเปลือกกล้วยมีส่วนช่วยในการเจริญของเชื้อมากที่สุดรองลงมาคือใยอาหารจากผงเปลือกเสาวรสและแอปเปิ้ลตามลำดับ ซึ่งหลังจากครบ 1 วันของการเก็บรักษายังพบว่ามีเพียงใยอาหารจากผงเปลือกเสาวรสในโยเกิร์ตที่หมักโดย *L. acidophilus* L10 เท่านั้นที่มีค่าพีเอชลดลงต่ำกว่าโยเกิร์ตชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และใยอาหารจากผงเปลือกกล้วยและเสาวรสในโยเกิร์ตที่หมักด้วย *L. acidophilus* L10 มีปริมาณกรดแลคติกทั้งหมดสูงกว่าโยเกิร์ตชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และมีการรายงานอีกว่า เส้นใยอาหารจากแอปเปิ้ลและกล้วยยังช่วยเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียโพรไบโอติกในโยเกิร์ตได้ไม่น้อยกว่า 1 log CFU ต่อมิลลิลิตรเมื่อเทียบกับโยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมใยอาหารจากเปลือกผลไม้ดังกล่าวหลังจากหมักที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสโดยเฉพาะที่ 28 วันของการเก็บรักษา นอกจากนี้งานวิจัยของ do Espírito Santo และคณะ (2012) ได้รายงานว่า skim milk yogurt ที่ใส่ผงแห้งจากเปลือกเสาวรสที่หมักโดย *L. acidophilus* L10 หรือ *L. acidophilus* NCFM หลังครบ 14 วันของการเก็บรักษาจะมีค่าพีเอชต่ำกว่าและมีปริมาณกรดแลคติกทั้งหมดสูงกว่าใน skim milk yogurt ที่ไม่ได้เติมผงแห้งจากเปลือกเสาวรสอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมก่อนการหมักและระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ชุดที่	โยเกิร์ต	ค่าพีเอช ± SD				ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ) ± SD			
		ก่อนการหมัก	หลังระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			ก่อนการหมัก	หลังระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
			0	7	14		0	7	14
1	ธัญชาติผสม A(1)F	6.06 ± 0.02[a]	3.93 ± 0.08[a]	3.85 ± 0.03[a]	3.80 ± 0.01[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.36 ± 0.00[a]	0.39 ± 0.05[a]	0.42 ± 0.05[a]
2	ธัญชาติผสม A(1)	6.10 ± 0.04[a]	3.98 ± 0.13[a]	3.85 ± 0.00[a]	3.84 ± 0.01[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.30 ± 0.05[a]	0.39 ± 0.05[a]	0.36 ± 0.00[a]
3	ธัญชาติผสม A(2)F	6.03 ± 0.01[a]	3.88 ± 0.00[a]	3.87 ± 0.05[a]	3.80 ± 0.01[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.27 ± 0.00[a]	0.42 ± 0.05[a]	0.39 ± 0.05[a]
4	ธัญชาติผสม A(2)	6.09 ± 0.00[a]	3.87 ± 0.05[a]	3.85 ± 0.00[a]	3.83 ± 0.02[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.36 ± 0.00[a]	0.39 ± 0.05[a]	0.36 ± 0.00[a]
5	ธัญชาติผสม B(3)F	6.02 ± 0.02[a]	4.01 ± 0.11[a]	3.95 ± 0.01[a]	3.80 ± 0.01[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.36 ± 0.00[a]	0.39 ± 0.05[a]	0.36 ± 0.00[a]
6	ธัญชาติผสม B(3)	6.10 ± 0.01[a]	4.02 ± 0.19[a]	3.95 ± 0.07[a]	3.90 ± 0.07[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.27 ± 0.00[a]	0.33 ± 0.05[a]	0.36 ± 0.00[a]
7	ธัญชาติผสม B(4)F	6.14 ± 0.01[a]	3.98 ± 0.06[a]	3.97 ± 0.01[a]	3.89 ± 0.01[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.36 ± 0.00[a]	0.36 ± 0.00[a]	0.39 ± 0.05[a]
8	ธัญชาติผสม B(4)	6.19 ± 0.01[a]	3.97 ± 0.04[a]	3.94 ± 0.04[a]	3.93 ± 0.01[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.36 ± 0.00[a]	0.36 ± 0.00[a]	0.39 ± 0.05[a]

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวของคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

: อักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ส่วนชุดที่ไม่มีอักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

ตารางที่ 4.5 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมก่อนการหมักและระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ชุดที่	โยเกิร์ต	จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมด ± SD			
		ก่อนการหมัก	หลังระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)		
			0	7	14
1	ธัญชาติผสม A(1)F	7.83 ± 0.50[a]	9.04 ± 0.09[a]	7.34 ± 0.13[a]	6.92 ± 0.17[a]
2	ธัญชาติผสม A(1)	7.62 ± 0.56[a]	8.23 ± 0.94[a]	6.65 ± 0.33[a]	6.53 ± 0.20[a]
3	ธัญชาติผสม A(2)F	7.70 ± 0.79[a]	9.14 ± 0.19[a]	7.63 ± 0.53[a]	7.49 ± 0.08[a]
4	ธัญชาติผสม A(2)	7.11 ± 0.71[a]	8.52 ± 0.21[a]	7.20 ± 0.76[a]	6.08 ± 0.28[a]
5	ธัญชาติผสม B(3)F	7.73 ± 0.76[a]	8.48 ± 0.76[a]	7.94 ± 0.23[a]	7.90 ± 0.05[a]
6	ธัญชาติผสม B(3)	7.30 ± 0.96[a]	8.40 ± 0.15[a]	7.24 ± 0.33[a]	6.98 ± 0.11[a]
7	ธัญชาติผสม B(4)F	7.54 ± 0.60[a]	8.83 ± 0.08[a]	8.38 ± 0.53[a]	7.63 ± 0.20[a]
8	ธัญชาติผสม B(4)	7.12 ± 0.88[a]	8.71 ± 0.11[a]	7.82 ± 0.66[a]	6.51 ± 0.36[a]

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวของคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

: อักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ส่วนชุดที่ไม่มีอักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

ในการทดลองนี้การที่โยเกิร์ตธัญชาติผสมมีปริมาณแบคทีเรียโพรไบโอติกที่มีชีวิตลดลงไม่มากขณะที่ปริมาณกรดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น อาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการเจริญและการหมักที่อุณหภูมิต่ำ Shah (1999) ได้มีการกล่าวอ้างไว้หลายปัจจัยเช่นอาจมีผลต่อการมีชีวิตรอดของแบคทีเรียโพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์นมหมัก ซึ่งการมีชีวิตรอดของแบคทีเรียโพรไบโอติกขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ที่ใช้ปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างแบคทีเรียแต่ละชนิดที่มีอยู่สภาวะที่ใช้เลี้ยงแบคทีเรียโพรไบโอติก โดยการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เนื่องจากเมแทบอลิซึมของแบคทีเรีย ความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์สุดท้ายและความเข้มข้นของกรดแลคติกและกรดอะซิติก นอกจากนี้การมีชีวิตรอดยังขึ้นอยู่กับการมีอยู่ของสารอาหารและปัจจัยที่ส่งเสริมการเจริญ (growth promoter) การมีสารยับยั้ง ความเข้มข้นของน้ำตาล (แรงดันออสโมซิส) ปริมาณออกซิเจนที่ซึมผ่านภาชนะบรรจุ (โดยเฉพาะกับ *Bifidobacterium* spp.) ปริมาณเชื้อที่เติมลงไป (inoculation level) ระดับอุณหภูมิ เวลาในการบ่ม อุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามปัจจัยหลักสำหรับการสูญเสียชีวิตของโพรไบโอติกจากการลดลงของพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อและการสะสมของกรดอินทรีย์ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและการหมัก ซึ่ง *Bifidobacteria* เป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญโดยธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนสูงอาจมีผลต่อการเจริญเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความอยู่รอดของเชื้อ ยังมีรายงานอีกว่าความพร้อมของปัจจัยในการเจริญมีผลต่อการเจริญและการอยู่รอดของแบคทีเรียโพรไบโอติกในโยเกิร์ต การยับยั้งกันเองระหว่างแบคทีเรียที่ใช้ในกล้าเชื้อเกิดขึ้นได้จากการสร้างสารยับยั้งเช่น แบคเทอริโอซิน ซึ่งอาจทำให้จุลินทรีย์ที่ไวต่อสารยับยั้งนี้ลดจำนวนลง อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ถึงแม้ว่าจำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติกในโยเกิร์ตธัญชาติจะลดจำนวนลง แต่ก็ยังคงมีจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตเหลืออยู่ในปริมาณมากพอ (10^6-10^7 CFU ต่อกรัม) ที่จะให้ประโยชน์ต่อสุขภาพ สำหรับแบคทีเรียโพรไบโอติกที่มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีจำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติกที่เข้าไปถึงลำไส้เล็กในจำนวนที่สูงพอ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการมีชีวิตรอดระหว่างผ่านกระบวนการผลิตต่างๆของผลิตภัณฑ์อาหารและการเก็บรักษา นอกจากนี้สายพันธุ์ของโพรไบโอ-ติกต้องทนสภาพในระบบทางเดินอาหารเช่น ความเป็นกรดสูงในกระเพาะอาหารและน้ำดีในลำไส้เล็กด้วย มีผู้แนะนำว่าจำนวนแบคทีเรียโพรไบโอติกที่มีชีวิตต่ำสุดในโยเกิร์ตโพรไบโอติกควรอยู่ที่ 10^6 CFU ต่อกรัมของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาที่จำหน่ายโยเกิร์ตนั้น (Talwalkar และ Kailasapathy, 2004) ซึ่งแบคทีเรียโพรไบโอติกนี้ควรมีชีวิตรอดในระบบทางเดินอาหารจากการรับประทานแบคทีเรียโพรไบโอติกที่มีชีวิตมีประโยชน์ต่อร่างกาย Kailasapathy และ Chin (2000) ได้กล่าวว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกที่มีชีวิตมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการได้แก่ ช่วยส่งเสริมภูมิคุ้มกันต่อการติดเชื้อในลำไส้ ช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน (immune enhancement) ช่วยป้องกันโรคท้องร่วง (diaeehoeal disease) ช่วยป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ (colon cancer) ช่วยปรับปรุงการใช้แลคโตส (lactose utilization) ช่วยรักษาเสถียรภาพของเยื่อเคลือบกระเพาะอาหาร (gut mucosal barrier) และช่วยป้องกันภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (hypercholesterolanemia)

4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติผสมชุดที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าชุดที่ไม่ได้เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้เกือบทุกสูตร ยกเว้นในโยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรที่ 3 ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในโยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมสูงกว่าโยเกิร์ตที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม โดยในโยเกิร์ตสูตรที่ 1 2 และ 4 โยเกิร์ตที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าโยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมอยู่ 7.36, 5.49 และ 11.73 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัมตามลำดับ และโยเกิร์ตที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าโยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมอยู่เท่ากับ 1.49, 10.67 และ 22.46 มิลลิกรัมของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัมตามลำดับ แต่ในโยเกิร์ตสูตรที่ 3 สารสกัดโยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าโยเกิร์ตที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมเท่ากับ 11.52 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัมและ 11.50 มิลลิกรัมของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัมตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติด้วยวิธี FRAP assay พบว่าสารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติผสมชุดที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีความสามารถในการต้านอนุมูล-อิสระสูงกว่าชุดที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้เกือบทุกสูตรยกเว้นสูตรที่ 3 โดยในโยเกิร์ตสูตรที่ 1 2 และ 4 ที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระได้สูงกว่าโยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมอยู่ 0.01 มิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อโยเกิร์ต 100 กรัม ในขณะที่โยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมของสูตรที่ 3 มีความสามารถในการรีดิวซ์สูกกว่าโยเกิร์ตที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมอยู่ 0.01 มิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อโยเกิร์ต 100 กรัม ส่วนการวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS พบว่าสารสกัดจากโยเกิร์ตสูตรที่ 2 3 และ 4 ที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าโยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมอยู่ 0.52, 1.17 และ 0.31 มิลลิกรัมโทล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัม แต่ในโยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรที่ 1 โยเกิร์ตที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าโยเกิร์ตที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมอยู่ 0.07 มิลลิกรัมโทล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัม (ตารางที่ 4.6)

4.3.3 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมทั้งหมด 8 ชุด จากตารางที่ 4.7 พบว่าโยเกิร์ตชุดที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมในแต่ละสูตรจะมีปริมาณเยื่อใยหยาบสูงกว่าโยเกิร์ตชุดที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ซึ่งผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมอาจไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติผสม

4.3.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมทั้ง 4 ชุดดังตารางที่ 4.8 พบว่าโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมแต่ละสูตรไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

ชุดที่	โยเกิร์ต	Total Phenolic content (mgGAE/100 g yogurt) ± SD	Total Flavonoid content (mgCE/100 g yogurt) ± SD	Anti-oxidant activity	
				FRAP assay (mmol Fe (II) /100 g yogurt) ± SD	ABTS assay (mgTE/100 g yogurt) ± SD
1	ธัญชาติผสม A(1)F	40.38 ± 3.16^{c}	28.71 ± 3.87^{c}	0.03 ± 0.00^{c}	11.27 ± 0.60^{c}
2	ธัญชาติผสม A(1)	33.02 ± 2.98^{c}	27.22 ± 3.41^{c}	0.02 ± 0.00^{c}	11.34 ± 2.85^{c}
3	ธัญชาติผสม A(2)F	33.52 ± 2.57^{c}	30.16 ± 2.76^{c}	0.03 ± 0.00^{c}	8.87 ± 2.99^{c}
4	ธัญชาติผสม A(2)	28.03 ± 1.55^{c}	19.49 ± 0.54^{c}	0.02 ± 0.00^{c}	8.35 ± 1.61^{c}
5	ธัญชาติผสม B(3)F	43.43 ± 2.34^{c}	42.32 ± 9.84^{c}	0.03 ± 0.00^{c}	13.26 ± 1.13^{c}
6	ธัญชาติผสม B(3)	54.95 ± 4.64^{c}	53.82 ± 12.76^{c}	0.04 ± 0.01^{c}	12.09 ± 2.10^{c}
7	ธัญชาติผสม B(4)F	43.41 ± 4.82^{c}	53.31 ± 10.22^{c}	0.03 ± 0.00^{c}	7.12 ± 2.10^{c}
8	ธัญชาติผสม B(4)	31.68 ± 3.32^{c}	30.85 ± 6.63^{c}	0.02 ± 0.00^{c}	6.81 ± 0.10^{c}
Butylated hydroxyl toluene (BHT)		119.16 ± 0.21^{b}	152.12 ± 0.65^{a}	14.53 ± 0.17^{b}	2,545.40 ± 1.61^{b}
α-tocopherol		156.48 ± 0.27^{a}	116.46 ± 0.07^{b}	535.17 ± 0.73^{a}	53,548.85 ± 0.56^{a}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวของคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

: อักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ส่วนชุดที่ไม่มีอักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

ชุดที่	โยเกิร์ต	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ) ± SD				
		เยื่อใยหยาบ	ความชื้น	ของแข็ง	โปรตีน	เถ้า
1	ธัญชาติผสม A(1)F	0.82 ± 0.24[a]	78.10 ± 4.28[a]	21.90 ± 4.28[a]	0.75 ± 0.07[a]	0.19 ± 0.06[a]
2	ธัญชาติผสม A(1)	0.45 ± 0.24[a]	82.86 ± 2.35[a]	17.14 ± 2.35[a]	0.52 ± 0.07[a]	0.19 ± 0.06[a]
3	ธัญชาติผสม A(2)F	0.64 ± 0.20[a]	68.54 ± 6.95[a]	31.46 ± 6.95[a]	0.23 ± 0.02[a]	0.19 ± 0.08[a]
4	ธัญชาติผสม A(2)	0.45 ± 0.22[a]	75.54 ± 5.65[a]	24.46 ± 5.65[a]	0.24 ± 0.01[a]	0.19 ± 0.07[a]
5	ธัญชาติผสม B(3)F	1.16 ± 0.42[a]	57.21 ± 2.88[a]	42.79 ± 2.88[a]	0.50 ± 0.02[a]	0.18 ± 0.05[a]
6	ธัญชาติผสม B(3)	0.97 ± 0.20[a]	59.92 ± 8.56[a]	40.08 ± 8.56[a]	0.65 ± 0.09[a]	0.19 ± 0.04[a]
7	ธัญชาติผสม B(4)F	1.15 ± 0.22[a]	64.92 ± 1.12[a]	35.08 ± 1.12[a]	0.47 ± 0.02[a]	0.23 ± 0.06[a]
8	ธัญชาติผสม B(4)	0.79 ± 0.25[a]	72.67 ± 6.17[a]	27.33 ± 6.17[a]	0.36 ± 0.03[a]	0.22 ± 0.05[a]

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวของคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

: อักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ส่วนชุดที่ไม่มีอักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส	โยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมและไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม (คะแนนเฉลี่ย) ± SD			
	โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1) F	โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1)	โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3) F	โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3)
ลักษณะปรากฏ	5.97 ± 0.55[a]	6.61 ± 0.34[a]	6.61 ± 0.80[a]	6.50 ± 0.66[a]
สี	5.83 ± 0.51[a]	6.58 ± 0.17[a]	5.97 ± 0.59[a]	6.42 ± 0.76[a]
ลักษณะเนื้อสัมผัส	5.58 ± 0.96[a]	6.50 ± 0.30[a]	5.64 ± 0.26[a]	6.50 ± 0.54[a]
กลิ่น	6.09 ± 1.13[a]	6.56 ± 0.13[a]	6.42 ± 0.52[a]	6.58 ± 0.14[a]
ความเปรี้ยว	5.50 ± 1.08[a]	6.19 ± 0.42[a]	5.97 ± 0.62[a]	6.55 ± 0.46[a]
ความหวาน	5.72 ± 1.18[a]	5.95 ± 0.29[a]	6.36 ± 0.38[a]	6.39 ± 0.50[a]
ความชอบโดยรวม	5.47 ± 1.13[a]	6.58 ± 0.09[a]	6.28 ± 0.57[a]	6.72 ± 0.19[a]

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวของคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

: อักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ส่วนชุดที่ไม่มีอักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในเปลือกผลไม้ทั้ง 6 ชนิดพบว่าเปลือกผลไม้ที่มีปริมาณใยอาหารสูงได้แก่ เปลือกเสาวรส เปลือกส้มเขียวหวานและเปลือกสับปะรด ส่วนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติทั้งหมด 8 สูตรพบว่าโยเกิร์ตข้าวโพดมีปริมาณกรดและจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มขึ้นหลังการหมักสูงที่สุดรองลงมาคือ โยเกิร์ตลูกเดือย นอกจากนี้การศึกษาสมบัติทางพฤกษเคมีของโยเกิร์ตธัญชาติทั้งหมด 8 สูตรพบว่าสารสกัดโยเกิร์ตที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในปริมาณสูงได้แก่ สารสกัดจากโยเกิร์ตข้าวโพด ส่วนสารสกัดโยเกิร์ตที่มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงได้แก่ สารสกัดจากโยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอรี่ ลูกเดือย และข้าวสังข์หยด ส่วนสารสกัดโยเกิร์ตที่มีความสามารถในการรีดิวซ์ที่ดีในการทดลองด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay ได้แก่ สารสกัดโยเกิร์ตจากโยเกิร์ตข้าวโพดและข้าวไรซ์เบอร์รี่ และสารสกัดโยเกิร์ตที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดในการทดลองด้วยวิธี ABTS assay คือ สารสกัดโยเกิร์ตจากโยเกิร์ตข้าวโพด

ผลของผงเปลือกผลไม้ผสมที่มีต่อโยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1)F, A(1), A(2)F, A(2), B(3)F B(3), B(4)F และ B(4) พบว่าสารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติผสมชุดที่เติมผงเปลือกผลไม้ผสมมีปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังครบระยะเวลาการเก็บรักษามากกว่าชุดที่ไม่เติมผงเปลือกผลไม้ผสม และพบว่าโยเกิร์ตเกือบทุกชุดที่เติมผงเปลือกผลไม้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการรีดิวซ์ด้วยวิธี FRAP method สูงกว่าชุดที่ไม่เติมผงเปลือกผลไม้ยกเว้นโยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3) ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการรีดิวซ์สูงกว่าสารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3)F ส่วนกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay พบว่าสารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมผงเปลือกผลไม้ผสมเกือบทุกชุดมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าชุดที่ไม่เติมผงเปลือกผลไม้ ยกเว้นโยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1) ที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าโยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1)F

สำหรับการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1)F, A(1), A(2)F, A(2), B(3)F, B(3), B(4)F และ B(4) พบว่าโยเกิร์ตชุดที่เติมผงเปลือกผลไม้ผสมมีปริมาณเยื่อใยหยาบสูงกว่าโยเกิร์ตชุดที่ไม่เติมผงเปลือกผลไม้ผสม และโยเกิร์ตชุดที่มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดคือ โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1)F และ B(3) และผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1)F, A(1), B(3)F และ B(3) พบว่าโยเกิร์ตธัญชาติผสมทุกชุดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้เป็นการพัฒนาโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม เพื่อเพิ่มทางเลือกของผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพให้แก่ผู้บริโภค หากทำการวิจัยเพื่อพัฒนาการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ควรทดสอบผลการเติมสารอาหารชนิดอื่นๆที่อาจช่วยส่งเสริมการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกในระหว่างการเก็บรักษา รวมทั้งการปรับปรุงในด้านรสชาติ กลิ่น สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตธัญชาติโพรไบโอติก นอกจากนี้ควรทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอื่นๆของโยเกิร์ตที่ผลิตขึ้น เช่น วิตามิน และเกลือแร่ เพื่อเป็นการเพิ่มความมั่นใจของผู้บริโภค และจากเนื้อสัมผัสของเปลือกผลไม้ทำให้โยเกิร์ธัญชาติผสมที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสมมีเนื้อสัมผัสที่ไม่ค่อยดีจึงมีแนวคิดว่าควรที่จะศึกษาในเนื้อผลไม้และพัฒนาสูตรโยเกิร์ตธัญชาติในการเติมผลไม้ลงไปน่าจะทำให้โยเกิร์ตน่ารับประทานมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2546). *รายงานการสำรวจภาวะอาหารและโภชนาการของประเทศ*. (ครั้งที่ 5). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

โกสินทร์ วิระษร, กุลธิดา กล้ารอด, ประณิธิ หงส์ประภาส และพัชรี บุญศิริ. (2557). ภาวะถูกออกซิไดซ์เกินสมดุลและสารต้านออกซิเดชันกับโรคมะเร็ง. *ศรีนครินทร์เวชสาร*, *29*, 207-209.

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. (2550). *เครื่องสำอางเพื่อความงามและสุขภาพ*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์กรุงเทพเวชสาร.

จิรนาถ บุญคง. (2554). Resistant starch แป้งที่มีบทบาทต่อสุขภาพ. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, *6(1)*, 1-8.

ชญานี บุญทัน, ธัญมาศ หลำเนียม, จุฬารัตน์ ทรายหมอ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. (2558). การเปรียบเทียบแป้งไรซ์เบอร์รี่และสารให้ความหวานต่อคุณภาพของซาลาเปาไรซ์เบอร์รี่ไส้คัสตาร์ดครีม. *วารสารวิทยาศาสตร์ เกษตรศาสตร์*, *46*, 525-528.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. (2557). ข้าวต้านเบาหวาน อาหารที่คุณเลือกได้. *วารสารอาหาร*, *44*, 15-18.

ทัศนีย์ พรกิจประสาน และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2530). การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งและสตาร์ชลูกเดือย. *วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทยาศาสตร์)*, *21*, 371-377.

นิดดา และทวีทอง หงส์วิวัฒน์. (2550). *คุณค่าอาหารและการกินผลไม้ 111 ชนิด*. (ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: แสงแดด.

พรทิพย์ เกยุรานนท์. (2553). *การวิจัยและพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ*: สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยมหิดล.

รณชัย ช่างศรี. (2558). มหัศจรรย์พันธุ์ข้าว. นิตยสารข้าวไทย, ฉบับที่ 49. ประจำเดือนกรกฎาคม สิงหาคม.

รัชฎาพร อุ่นศิริไลย์, จิราวรรณ อุ่นเมตตาอารี และจิตรา สิงห์ทอง. (2554). ฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดย่านาง เครือหมาน้อย และรางจืด. *รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*.

วริศรา สาระนิตย์, อริสรา เลียงประสิทธิ์, เอกนุช แย้มเกสร และวสันต์ อินทร์ตา. (2555). ผลต่อความชื้นต่อคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวบาร์เลย์. กรุงเทพมหานคร: *สาขาวิศวกรรม*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 209.

วารุณี ประดิษฐ์ศรีกุล. (2549). ถั่วหมักอร่อย. *วารสารอาหาร, 36*, 189-194.

วิเชียร ลีลาวัชรมาศ. (2541). โพรไบโอติก: อาหารสุขภาพสำหรับมนุษย์และสัตว์ ตอนที่ 1. *วารสารจาร์พาร์, 5*, 50-53.

วีณา จิรัจฉริยากูล. (2556). สารฟลาโวนอยด์และสมุนไพร (flavonoids and mecinal plants). ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, หน้า 1-90.

ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง. (2553). ข้าวสังข์หยด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.royalsipa.or.th.PhatthalungRiceResearchCenter. (วันที่ค้นข้อมูล 11 ธันวาคม 2559).

สุภัจฉรา นพจินดา. (2557). โพรไบโอติกส์กับการส่งเสริมสุขภาพ. *วารสารพยาบาลทหารบก*, *15(3)*, 1-6.

โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. (2550). *สารต้านอนุมูลอิสระ Radical Scavenging Agent*. กรุงเทพมหานคร: นิวไทยมิตรการพิมพ์.

AACC Report. (2000). The definition of dietary fiber. *Cereal Food World*, *46*, 112-129.

Adom, K. K., & Lui, R. H. (2002). Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*, 6182-6187.

Al-Sheraji, S., Ismail, A., Manap, M. Y., Mustafa, S., Yusof, R. M., & Hassan, F. (2013). Prebiotics as functional foods: A review. *Journal of Functional Food*, *5*, 1542-1553.

American Association of Cereal Chemists-AACC. (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, *46*, 112–126.

AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (18th ed.). Washington DC : Gai-thersburg, (Chapter 45).

AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (18th ed.). Washington DC : Gai-thersburg, (Chapter 33).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bae, I. Y., Jun, Y., Lee, S., & Lee, H. G. (2016). Characterization of apple dietary fibers influencing the *in vitro* starch digestibility of wheat flour gel. *LWT-Food Science and Technology*, *65*, 158-163.

Bender, D. A., & Bender, A. E. (1999). *Bender's Dictionary of nutrition and food technology*. (17th ed.). Woodhead Publishin: Abington.

Berrios, J. D. J., Swanson, B. G., & Cheong, W. A. (1999). Physico-chemical characterization of stored black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Research International*, *32*, 669-676.

Blasa, M., Gennari, L., Angelino, D., & Ninfali, P. (2010). Fruit and vegetable antioxidants in health. In R. R. Watson, & V. R. Preedy (Eds.), *Bioactive Food in Promoting Health: Fruits and vegetables* (pp. 37-58). New York: Elsevier Inc.

Boz, H. (2015). Ferulic acid in cereals – a review. *Czech Journal Food Science*, *33(1)*, 1-7.

Brown, I. L., Wang, X., Topping, D. L., Playne, M. J., & Conway, P. L. (1995). High amylase maize starch as a versatile prebiotic for use with probiotic bacteria. *Food Australia*, *50*, 603-610.

Buhler, D. R., & Miranda, C. (2000). Antioxidant activities of flavonoids. [Online]. Available : http://lpi.oregonstate.edu/f-w00/flavonoid.html.

Chang, H.-C., Huang, Y.-C., & Hung. W.-C. (2003). Antproliferative and chemo preventive effects of adlay seed on lung cancer *in vitro* and *in vivo*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*, 3656-3660.

Charalampopoulos, D., & Pandiella, S. S. (2010). Survival of human derived *Lactobacillus plantarum* in fermented cereal extracts during refrigerated storage. *LWT-Food Science and Technology*, *43*, 431–435.

Coda, R., Lanera, A., Trani, A., Gobbetti, M., & Di Cagno, R. (2012). Yogurt-like beverages made of a mixture of cereals, soy and grape must: Microbiology, texture, nutritional and sensory properties. *International Journal of Food Microbiology*, *155*, 120–127.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses (2009). *Thirty first session*. Düsseldorf, Germany.

de Moraes Crizel, T., Jablonski, A., de Oliveira Rios, A., Rech, R., & Flôres, S. H. (2013). Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. *LWT-Food Science and Technology*, *53*, 9-14.

do Espírito Santo, A. P., Cartolano, N. S., Silva, T. F., Soares, F. A. S. M., Gioielli, L. A., Perego, P., Converti, A., & Oliveira, M. N. (2012). Fibers from fruit by-products enhance probiotic viability and fatty acid profile and increase CLA content in yoghurts. *International Journal of Food Microbiology*, *154*, 135-144.

do Espírito Santo, A. P., Perego, P., Converti, A., & Oliveira, M. N. (2012). Influence of milk type and addition of passion fruit peel powder on fermentation kinetics, texture profile and bacterial viability in probiotic yoghurts. *LWT-Food Science and Technology*, *47*, 393-399.

Duke, J. A. (1983). Handbook of energy crops. [Online]. Available : http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Coix_lacryma-jobi.html.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, *124*, 411–421.

Fang, Y. Z., Yang, S., & Wu, G. (2002). Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition, 18*, 873-879.

FAO/WHO. (2001). Evaluation of health and nutritional properties of powder milk and live lactic acid bacteria. Cordoba, Argentina: Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization Expert Consultation Report, 1-34.

FAO/WHO. (2002). Guidelines for the evaluation of probiotics in food. London, Ontario: Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health OrganizationWorking Group Report, 1-11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fardet, A., Edmond, R., & Remesy, C. (2008). Is *in vitro* antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected *in vivo*?. *Journal of Cereal Science*, *48*, 258–276.

Fuentes-Zaragoza, E., Sánchez-Zapata, E., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2011). Resistant starch as prebiotic: A review. *Starch/Stärke*, *63*, 406-415.

Gibbs, W. W. (1998). Healing cancer. *Scientific American*, *279*, 40-41.

Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota. Introducing the concept of prebiotic. *Journal of Nutrition*, *125*, 1401-1412.

Gibson, G. R., Probert, H. M., Van Loo, J. A. E., & Roberfroid, M. B. (2004). Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews*, *17*, 257-259.

Guarner, F., & Malagelada, J. R. (2003). Bacterial flora of the digestive tract. *Gastroenterology and Hepatology*, *26*, 1-5.

Hall, R. (2003). What you need to know about nutrition: Got a question ?: corn sweet, yellow, raw (scientific name: *Zea mays*). [Online]. Available:http:// nutrition. about.corn/library/foodfind/blcorn.htm

Hasnaoui, N., Wathelet, B., & Jiménez-Araujo, A. (2014). Valorization of pomegranate peel from 12 cultivars: Dietary fibre composition, antioxidant capacity and functional properties. *Food Chemistry*, *160*, 196-203.

Helland, M. H., Wicklund, T., & Narvhus, J. A. (2004). Growth and metabolism of selected strains of probiotic bacteria in maize porridge with added malted barley. *International Journal of Food Microbiology, 91*, 305-313.

Hiran, P., Kerdchoechuen, O., & Laohakunjit, N. (2016). Combined effects of fermentation and germination on nutritional compositions functional properties and volatiles of maize seeds. *Journal of Cereal Science*, *71*, 207-216.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Holzapfel, W. H., Haberer, P., Geisen, R., Bjorkroth, J., & Schillinger, U. (2001). Taxonomy and important features of probiotic microorganisms in food and nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition*, *73*, 365S-373S.

Hsu, H.-Y., Lin, B.-F., Lin, J.-Y., Kuo, C.-C., & Chiang, W. (2003). Suppression of allergic reactions by dehulled adlay in association with the balance of Th1/Th2 cell responses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*, 3763-3769.

Huang, Y.-L., Chow, C.-J., & Fang, Y.-J. (2011). Preparation and physicochemical properties of fiber-rich fraction from pineapple peels as a potential ingredient. *Journal of Food and Drug Analysis*, *19*, 318-323.

Juliano, B. O. (1985). Rice chemistry and technology (2nd ed.). *The American Association of Cereal Chemists*, Inc., St Paul: Minnesota.

Kaczmarczyk, M. M., Miller, M. J., & Freund, G. G. (2012). The health benefits of dietary fiber: Beyond the usual suspects of type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease and colon cancer. *Metabolism Clinical and Experimental*, *61*, 1058–1066.

Kailasapathy, K., & Chin, J. (2000). Survival and therapeutic potential of probiotic organisms with reference to *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* spp. *Immunology and Cell Biology*, *78*, 80–88.

Kent, N. L. (1983). *Technology of cereals*. (3rd ed.) Pergamon Press: Oxford, USA

Kim, S. O., Yun, S.-J., Jung, B., Lee, E. H., Hahm, D.-H., Shim, I., & Lee, H.-J. (2004). Hypolipidemic effects of crude extract of adlay seed (*Coix lachrymajobi* var. *mayuen*) in obesity rat fed high fat diet: Relations of TNF-a and leptin mRNA expression and serum lipid level. *Life Science*, *75*, 1391-1404.

Kirk, S. R. & Sawyer, R. (1991). *Pearson's Composition and Analysis of Food*. (9th ed.). Singapore : Longman, (Chapter 2).

Kirk, S. R. & Sawyer, R. (1991). *Pearson's Composition and Analysis of Food*. (9th ed.). Singapore : Longman, (Chapter 4).

Kuo, C.-C., Shih, M.-C., Kuo, Y.-H., & Chiang, W. (2001). Antogonism of free-radical-induced damage of adlay seed and its antiprolifrative effect in human histolytic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

lymphoma U237 monocytic cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*, 1564-1570.

Lee, Y. K., & Salminen, S. (1995). The coming of age of probiotics. *Trends in Food Science and Technology, 6*, 241-245.

Li, J., & Corke, H. (1999). Physicochemical properties of normal and waxy Job's tears (*Coix lachrymal-jobi* L.) starch. *Cereal Chemistry*, *76*, 413-416,

Lintas, C. (1992). Nutritional aspects of fruit and vegetable consumption. In F. Lauret (Ed.), *Options Mediterraneennes* (pp. 79-87). Montpellier, France: CIHEAM.

Loizzo, M. R., Pugliese, A., Bonesi, M., Luca, D. D., O'Brien, N., Menichini, F., & Tundis, R. (2013). Influence of drying and cooking process on the phytochemical content, antioxidant and hypoglycemic properties of two bell *Capsicum annum* L. cultivars. *Food and Chemical Toxicology, 53*, 392-401.

Makhlouf, J., Zee, J., Tremblay, N., Belanger, A., Michaud, M., & Gosselin, A. (1995). Some nutritional characteristics of beans, sweet corn and peas (raw, canned and frozen) produced in the province of Quebec. *Food Research International*, *28*, 253-259.

Martins, A. C., Bukman, L., Vargas, A. M. M., Barizão, E. O., Moraes, J. C. G., Visentainer, J. V., & Almeida, V. C. (2013). The antioxidant activity of teas measured by the FRAP method adapted to the FIA system: Optimising the conditions using the response surface methodology. *Food Chemistry*, *138*, 574–580.

Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Vanzela, E. S. L., Stringheta, P. C., de Oliveira Pinto, C. L., & Martins, J. M. (2013). Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. *Food Research International*, *51*, 764–770.

Masisi, K., Beta, T., & Moghadasian, H. M. (2016). Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on *in vitro* and *in vivo* studies. *Food Chemistry*, *196*, 90–97.

Min, B., Gu, L., McClung, A. M., Bergman, C. J., & Chen, M. H. (2012). Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice (*Oriza sativa* L.) of different bran colors. *Food Chemistry*, *133*, 715-722.

Mudgil, D., & Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. International *Journal of Biological Macromolecules*, *61*, 1–6.

Nagao, T., Otsuka, H., Kohda, H., Sato, T., & Yamasaki, K. (1985). Benzoxazinone from *Coix lacrym-jobi* L. var. ma-yuen. *Phytochemistry*, *24*, 2959-6489.

Nair, K. K., Kharb, S., & Thompkinson, D. K. (2010). Inulin dietary fiber with functional and health attributes: A review. *Food Reviews International*, *26*, 189-203

Numata, M., Yamamoto, A., Moribayashi, A., & Yamada, H. (1994). Antitumor components isolated from the Chinese herbal medicine *Coix lacrym-jobi*. *Plata Medicine*, *60*, 356-359.

Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition, 44*, 307-315.

Ozcan, T., & Kurtuldu, O. (2014). Influence of dietary fiber addition on the properties of probiotic yogurt. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, *5*, 397-401.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, *26*, 1231–1237.

Reynolds, L. D., & Wilson, N. G. (1991). Gallic acid. [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/gallic_acid.

Roberfroid, M. (2007). Prebiotics: the concept revisited. *Journal of Nutrition*, *137*, 830-837.

Roberfroid, M. B. (2005). Introducing inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition*, *93*, 513-525.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Saeidnia, S., & Abdollahi, M. (2013). Toxicological and pharmacological concerns on oxidative stress and releated diseases. *Toxicology and Applied Pharmacology, 273*, 442-455.

Shah, N. P. (1999). Probiotic bacteria: selective enumeration and survival in dairy foods. *School of Life Sciences and Technology*, 7, 128-142.

Shahidi, F., & Naczk, M. (1995). Phenolic compounds in grains. *In Food Phenolics*: *Sources, chemistry, effects, applications*; (pp. 3-39). Technomic Publishing Company Inc: Lancaster, PA.

Shao, Y. & Bao, J. (2015). Polyphenols in whole rice grain: Genetic diversity and health benefits. *Food Chemistry*, *180*, 86-97.

Shori, A. B., & Baba, A. S. (2014). Comparative antioxidant activity, proteolysis and *in vitro* α-amylase and α-glucosidase inhibition of *Allium sativum*-yogurts made from cow and camel milk. *Journal of Saudi Chemical Society*, *18*, 456–463.

Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance – A review. *Appetite*, *51*, 456–467.

Slavin, J. L., Martini, M. C., Jacobs Jr., Marquart, L., (1999). Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. *American Journal of Clinical Nutrition*, *70*, 459S-463S.

Sumczynski, D., Kotásková, E., Družbíková, H., & Mlček, J. (2016). Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and *in vitro* digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Food Chemistry*, *211*, 339-346.

Takahashi, M., Konno, C., & Hikino, H. (1986). Isolation and hypoglycemic activity of coixan A, B, C glucans of *Coix lacrym-jobi* L. var. ma-yuen seed. *Planta Medicine*, *52*, 64-65.

Talwalkar, A., & Kailasapathy, K. (2004). The role of oxygen in the viability of probiotic bacteria with reference to *L. acidophilus* and *Bifidobacterium* spp. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, *5*, 1-8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Trikoomdum, W., & Leenanon, B. (2016). Production of corn milk yogurt supplemented with probiotics. *International Food Research Journal*, *23(4)*, 1733-1738.

Trowell, H. C. (1972). Crude fiber, dietary fiber, and atherosclerosis. *Atherosclerosis*, *16*, 138-148.

Tsai, C. E., Yang, L., Su, P., & Chen, R. M.-Y. (1998). Beneficial effect of adlay on plasma lipids in hamster and hyperlipidemic and diabetic patients. *Atherosclerosis*, *136*, 543-549.

Ukita, T., & Tanimura, A. (1961). Studies on the antitumorcomponent in seeds of *Coix lacrym-jobi* L. var. ma-yuen (Roman) Stapf. I. Isolation and antitumor activity of coixenolide. *Chemistry Pharmacine Bull, 9*, 43-46.

USDA Dietary Guidelines foe Americans. (2005). Food sources of selected nutrients. [Online]. Available : http://www.health.gor/dietaryguidelines/dga2005/

Van Loo, J., Coussement, P., de Leenheer, L., Hoebregs, H., & Smits, G. (1995). On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 35*, 525-552.

Wang, T., He, F., & Chen, G. (2014). Improving bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in cereal grains through processing technologies: A concise review. *Journal of Functional Foods*, *7*, 101–111.

Wootton-Beard, P., & Ryan, L. (2011). Improving public health: The role of a ntioxidant-rich fruit and vegetable beverages. *Food Research International, 44*, 3135-3148.

Yang, J., Martinson, T. E., & Liu, R. H. (2009). Phytochemical profiles and antioxidant activities of wine grapes. *Food Chemistry*, *116*, 332–339.

Yu, F., Li, Y. Z., Zhang, J., & Lui, C. X. (2014). *Coix lacryma-jobi* L. var. ma-yuen (Roman.) Stapf (Yiyiren. Jobstears). In *Dietary Chinese Herbs*: *Chemistry, Pharmacology, and Clinical Evidence* (Eds.), *Springer Wien Heidelberg* (pp.339-346). New York: Dordrecht.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yu, F., Zhang, J., Li, Y.-Z., Zhao, Z.-Y., & Liu, C.-X. (2017). Research and application of adlay in medicinal field. *Chinese Herbal Medicines*, *9(2)*, 126-133.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. de Man Rogosa Sharpe Broth (MRS) ประกอบด้วย

Proteose peptone	10.0	กรัม
Beef extract	10.0	กรัม
Yeast extract	5.0	กรัม
Dextrose	20.0	กรัม
Polysorbate 80	1.0	กรัม
Ammonium citrate	2.0	กรัม
Sodium acetate	5.0	กรัม
Magnesium sulfate	0.1	กรัม
Manganese sulfate	0.05	กรัม
Dipotassium phosphate	2.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนำส่วนประกอบข้างต้นละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับให้ได้พีเอช 6.5 ด้วย NaOH ความเข้มข้น 5 นอร์มอล และ HCl ความเข้มข้น 5 นอร์มอล จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2. Peptone saline water ประกอบด้วย

Peptone	1.0	กรัม
Sodium chloride	8.5	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

การเตรียม peptone saline water ทำได้โดยนำส่วนประกอบข้างต้นละลายในน้ำกลั่น จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลาย

1. การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber)

1.1 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer)

เตรียมโดยผสมสารละลาย A และ B ตามพีเอชที่ต้องการและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

สารละลาย A : 0.05 โมลาร์ ต้องชั่ง Dibasic sodium phosphate ($Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$) 7.8 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

สารละลาย B : 0.05 โมลาร์ ต้องชั่ง Monobasic sodium phosphate ($NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$) 8.9 กรัมในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

ตารางที่ 1 ปริมาตรสารละลาย A และ B ในพีเอชต่างๆ

พีเอช	A (มิลลิลิตร)	B (มิลลิลิตร)
5.8	4.00	46.00
6.0	6.15	43.85
6.2	9.25	40.75
6.4	13.25	36.75
6.6	18.75	31.25
6.8	24.50	25.50
7.0	30.50	19.50
7.2	36.00	14.00
7.4	40.50	9.50
7.6	43.50	6.50
7.8	45.75	4.25
8.0	47.35	2.65

ถ้าต้องการเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.08 โมลาร์ พีเอช 6.0

สารละลาย A : 0.05 โมลาร์ ใช้ Dibasic sodium phosphate ($Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$) 7.8 กรัม

ถ้า 0.08 โมลาร์ จะต้องใช้ Dibasic sodium phosphate ($Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$) เท่ากับ (0.08 x 7.8) / 0.05 = 12.48 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

สารละลาย B : 0.05 โมลาร์ ใช้ Monobasic sodium phosphate ($NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$) 8.9 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า 0.08 โมลาร์ จะต้องใช้ Monobasic sodium phosphate ($NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$) เท่ากับ (0.08 x 8.9) / 0.05 = 14.24 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร และผสมสารละลาย A และ B ตามพีเอชที่ต้องการตามตารางที่ 1

1.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ความเข้มข้น 0.275 โมลาร์

มวลโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 40 กรัมต่อโมล ต้องการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.275 โมลาร์

ถ้าเตรียมสารละลายความเข้มข้น 1 โมล ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัมต่อลิตร

ถ้าเตรียมสารละลายความเข้มข้น 0.275 โมล ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ (0.275 x 40) / 1 = 11 กรัมต่อลิตร

ชั่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 11 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

1.3 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ความเข้มข้น 0.375 โมลาร์

โดยหาความเข้มข้นของไฮโดรคลอริกในขวด จากสูตร

$$C = 10dx / Mw$$

โดย C คือ ความเข้มข้น หน่วยเป็นนอร์มอล (N)

d คือ ความหนาแน่น

x คือ % ปริมาณเนื้อกรด

จะได้ $C = 10 \times 1.19 \times 37 / 36.5 = 12.06$ นอร์มอล

เนื่องจาก 1 โมลาร์ มีค่าเท่ากับกรดไฮโรคลอริก 1 นอร์มอล

จะได้ว่า กรดไฮโดรคลอริกมีความเข้มข้น 12.06 โมลาร์

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ต้องการเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.375 โมลาร์ จากกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 12.06 โมลาร์ จะได้

$V_1 = (0.04 \times 1,000) / 12.06 = 3.32$ มิลลิลิตร

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกปริมาตร 3.32 มิลลิลิตรลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่นอยู่แล้ว จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 1,000 มิลลิลิตร

1.4 การเตรียมสารละลายกรดบอริก (Boric acid) ความเข้มข้นร้อยละ 2

สารละลาย 100 มิลลิลิตร ต้องใช้กรดบอริก 2 กรัม

ถ้าสารละลาย 1,000 มิลลิลิตร ต้องใช้กรดบอริกเท่ากับ (1,000 x 2) / 100 = 20 กรัม

ชั่งกรดบอริก 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid)

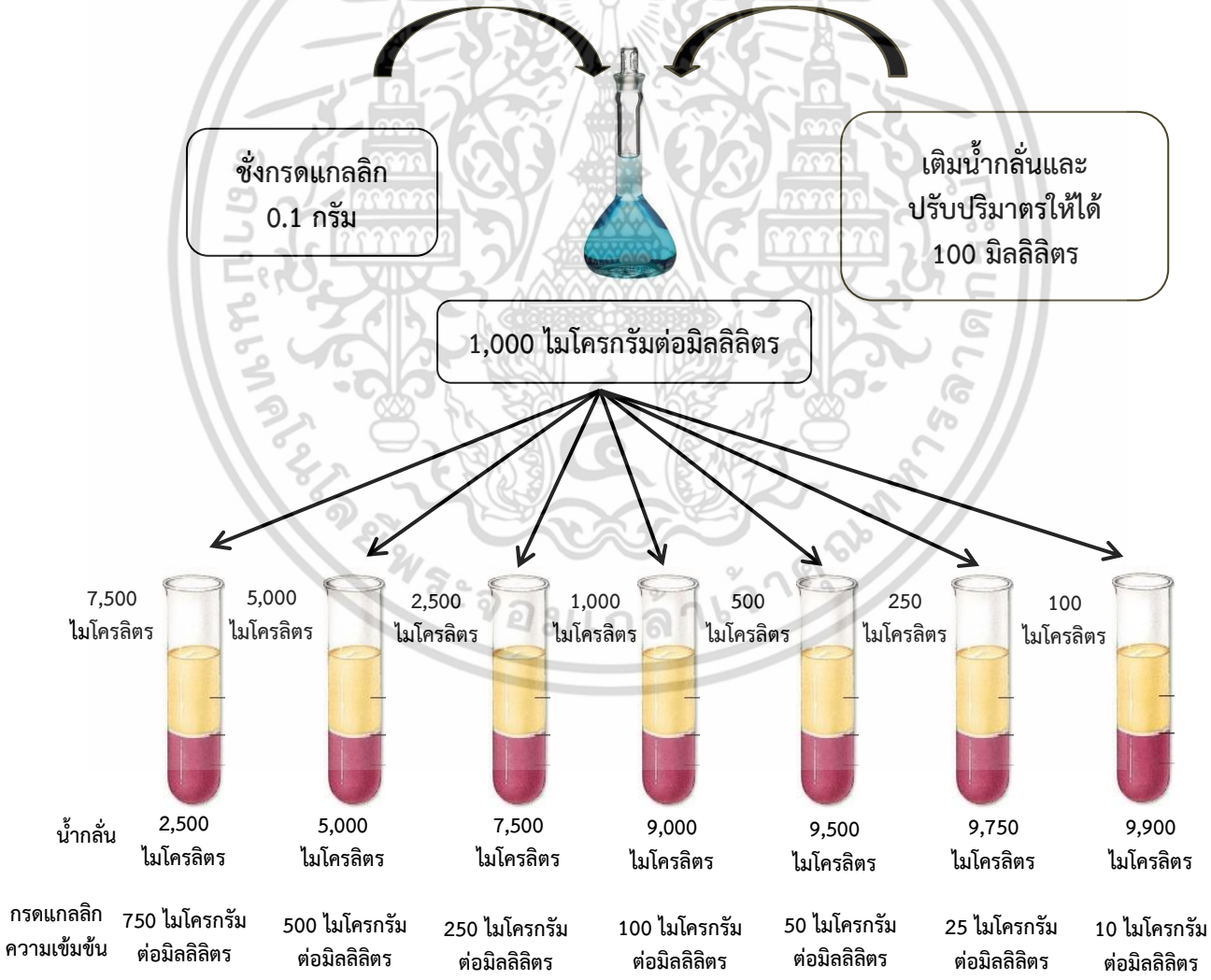
การคำนวณสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารกรดแกลลิกอยู่ 1,000 ไมโครกรัม

ถ้าสารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะมีเนื้อสารกรดแกลลิกอยู่เท่ากับ (1,000 x 100) / 1 = 100,000 ไมโครกรัม

- เปลี่ยนหน่วยจากไมโครกรัมเป็นกรัม (1 กรัม มีค่าเท่ากับ 1,000,000 ไมโครกรัม) จะได้ 100,000 / 1,000,000 = 0.1 กรัม

ชั่งกรดแกลลิก 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเตรียมสารละลาย Folin-Ciocalteu's reagent ความเข้มข้นร้อยละ 50

สารละลาย 100 มิลลิลิตร ต้องตวงสาร Folin-Ciocalteu's reagent 50 มิลลิลิตร

ถ้าสารละลาย 50 มิลลิลิตร ต้องตวงสาร Folin-Ciocalteu's reagent เท่ากับ (50 x 50) / 100 = 25 มิลลิลิตร

ตวงสาร Folin-Ciocalteu's reagent 25 มิลลิลิตรลงในขวดปรับปริมาตรที่มีน้ำกลั่นอยู่ และปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร

2.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 5

สารละลาย 100 มิลลิลิตร ต้องชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 5 กรัม

ถ้าสารละลาย 250 มิลลิลิตร ต้องชั่งโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ (250 x 5) / 100 = 12.5 กรัม

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 12.5 กรัมละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

3.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไนไตรท์ความเข้มข้นร้อยละ 5

สารละลาย 100 มิลลิลิตร ต้องชั่งโซเดียมไนไตรท์ 5 กรัม

ถ้าสารละลาย 500 มิลลิลิตร ต้องชั่งโซเดียมไนไตรท์เท่ากับ (500 x 5) / 100 = 25 กรัม

ชั่งโซเดียมไนไตรท์ 25 กรัมละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร

3.2 การเตรียมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10

สารละลาย 100 มิลลิลิตร ต้องชั่งอะลูมิเนียมคลอไรด์ 10 กรัม

ถ้าสารละลาย 500 มิลลิลิตร ต้องชั่งอะลูมิเนียมคลอไรด์เท่ากับ (500 x 10) / 100 = 50 กรัม

ชั่งอะลูมิเนียมคลอไรด์ 50 กรัมละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร

3.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์

มวลโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 40 กรัมต่อโมล ต้องการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์

ถ้าเตรียมสารละลายความเข้มข้น 1 โมล ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัมต่อลิตร

คือสารละลาย 1,000 มิลลิลิตร ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม

ถ้าสารละลาย 100 มิลลิลิตร ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ (100 x 40) / 1,000 = 4 กรัม

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัมละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชิน (Catechin)

การคำนวณสารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารคาเทชินอยู่ 1,000 ไมโครกรัม

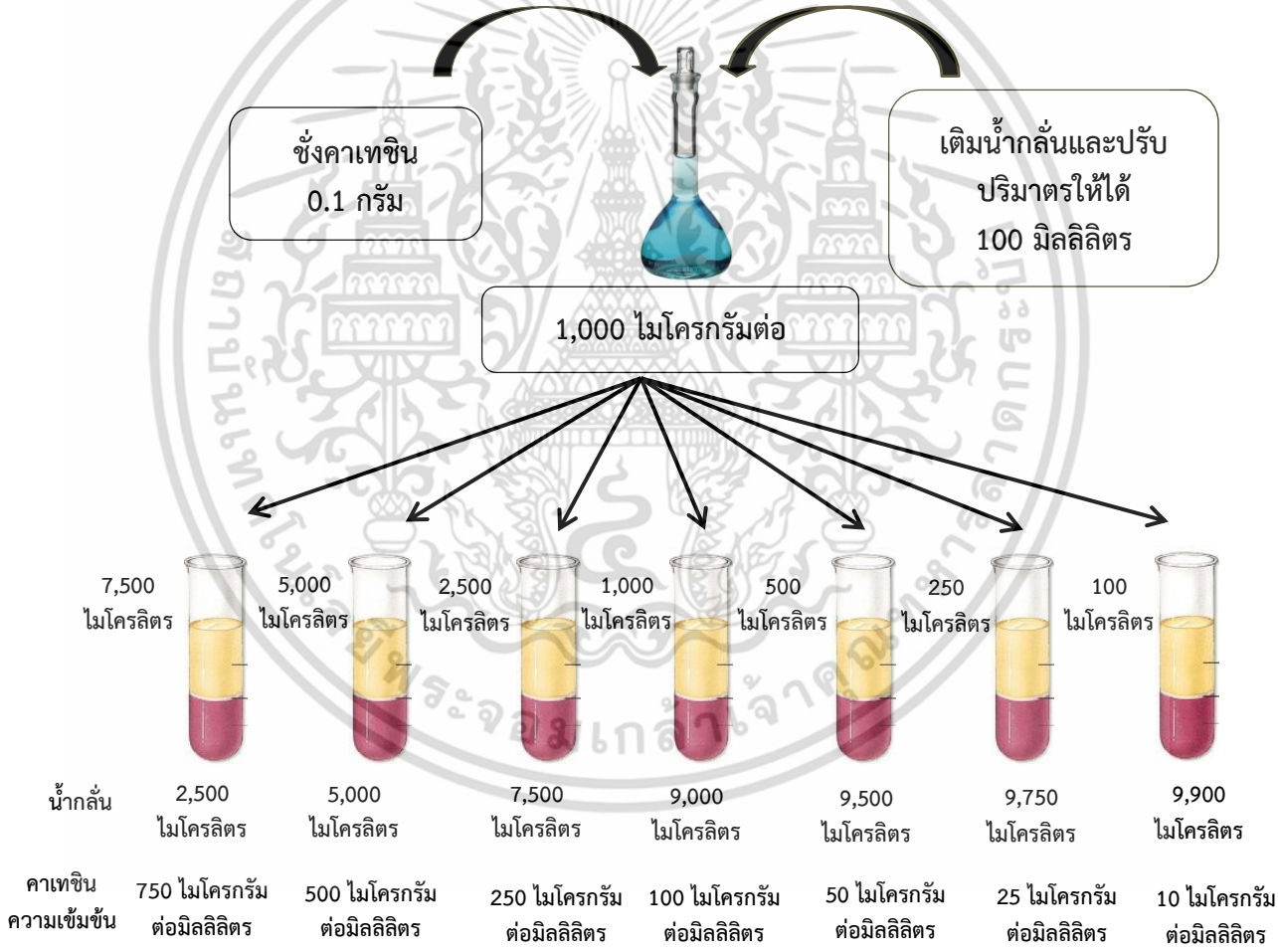
ถ้าสารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะมีเนื้อสารคาเทชินอยู่เท่ากับ (1,000 x 100) / 1 = 100,000 ไมโครกรัม

- เปลี่ยนหน่วยจากไมโครกรัมเป็นกรัม (1 กรัม มีค่าเท่ากับ 1,000,000 ไมโครกรัม)

จะได้ 100,000 / 1,000,000 = 0.1 กรัม

ชั่งคาเทชิน 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay

4.1 การเตรียมสารละลาย FRAP reagent

4.1.1 การเตรียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์

การเตรียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ ทำได้โดยชั่ง Sodium Acetate Trihydrate 3.1 กรัม ใส่ลงใน Acetic acid 16 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

4.1.1.1 การเตรียม Sodium Acetate Trihydrate

สารละลายปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้องชั่ง Sodium Acetate Trihydrate 3.1 กรัม

ถ้าสารละลายปริมาตร 250 มิลลิลิตร ต้องชั่ง Sodium Acetate Trihydrate เท่ากับ (250 x 3.1) / 1,000 = 0.775 กรัม

4.1.1.2 การเตรียม Acetic acid

สารละลายปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้องตวง Acetic acid 16 มิลลิลิตร

ถ้าสารละลายปริมาตร 250 มิลลิลิตร ต้องตวง Acetic acid(250 x 3.1) / 1,000 = 4 มิลลิลิตร

นำ Sodium Acetate Trihydrate 0.775 กรัมผสมกับ Acetic acid 4 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 250 มิลลิลิตร

4.1.2 สารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์

4.1.2.1 เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์

จากสูตร $C = 10dx / Mw$

(โดย HCl มีความหนาแน่น 1.19, %ปริมาณเนื้อกรด 37% และมวลโมเลกุล 36.5)

$C = (10 \times 1.19 \times 37) / 36.5$

$C = 12.06$ โมลาร์

ต้องการเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์

โดยสารละลายความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์ มีค่าเท่ากับ 1 โมลาร์

ถ้าสารละลายความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ มีค่าเท่ากับ (40 x 1) / 1,000 = 0.04 โมลาร์

จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

(12.06 โมลาร์) V_1 = (0.04 โมลาร์) (500 มิลลิลิตร)

$V_1 = 1.7$ มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตวงกรดไฮโดรคลอกริก 1.7 มิลลิลิตรลงในขวดปรับปริมาตรที่มีน้ำกลั่นอยู่และปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร

4.1.2.2 เตรียมสารละลาย TPTZ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์

มวลโมเลกุลของ TPTZ มีค่าเท่ากับ 312.33 กรัมต่อโมล

สารละลายความเข้มข้น 1 โมลาร์ มีค่าเท่ากับ 1,000 มิลลิโมลาร์

สารละลายความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์ จะมี TPTZ เท่ากับ 312.33 กรัม

ถ้าสารละลายความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ จะมี TPTZ เท่ากับ (312.33 x 10)/ 1,000 = 3.1233 กรัม

ชั่ง TPTZ 3.1233 กรัม ละลายในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์และปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

4.1.3 เตรียมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์

มวลโมเลกุลของเฟอร์ริกคลอไรด์ มีค่าเท่ากับ 270.30 กรัมต่อโมล

สารละลายความเข้มข้น 1 โมล มีค่าเท่ากับ 1,000 มิลลิโมลาร์

สารละลายความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์ จะมีเฟอร์ริกคลอไรด์เท่ากับ 270.30 กรัม

ถ้าสารละลายความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ จะมีเฟอร์ริกคลอไรด์เท่ากับ (270.30 x 20) / 1,000 = 5.406 กรัม

ชั่งเฟอร์ริกคลอไรด์ 5.406 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

4.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟตความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

มวลโมเลกุลของเฟอรัสซัลเฟต มีค่าเท่ากับ 278.02 กรัมต่อโมล

สารละลายความเข้มข้น 1 โมล มีค่าเท่ากับ 1,000 มิลลิโมลาร์

สารละลายความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์ จะมีเฟอรัสซัลเฟต 278.02 กรัม

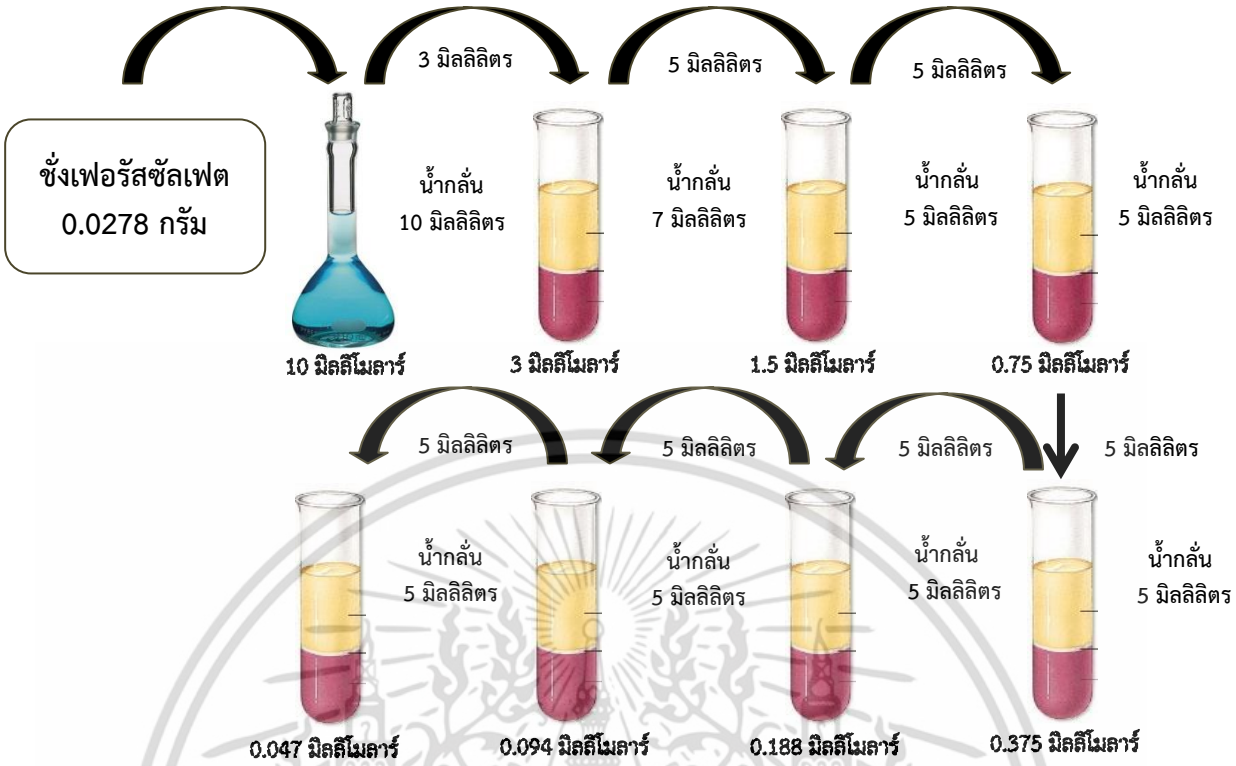
ถ้าสารละลายความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ จะมีเฟอรัสซัลเฟตเท่ากับ (278.02 x 10) / 1,000 = 2.7802 กรัม

ถ้าเตรียมสารละลายปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้องชั่งเฟอรัสซัลเฟต 2.7802 กรัม

ถ้าต้องเตรียมสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร จะต้องชั่งเฟอรัสซัลเฟตเท่ากับ (2.7802 x 10) / 1,000 = 0.0278 กรัม

การเตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟตที่ความเข้มข้น 10, 3, 1.5, 0.75, 0.375, 0.188, 0.094 และ 0.047 มิลลิโมลาร์ (รูปที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟต

5. การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay

5.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารอยู่ 1,000 ไมโครกรัม

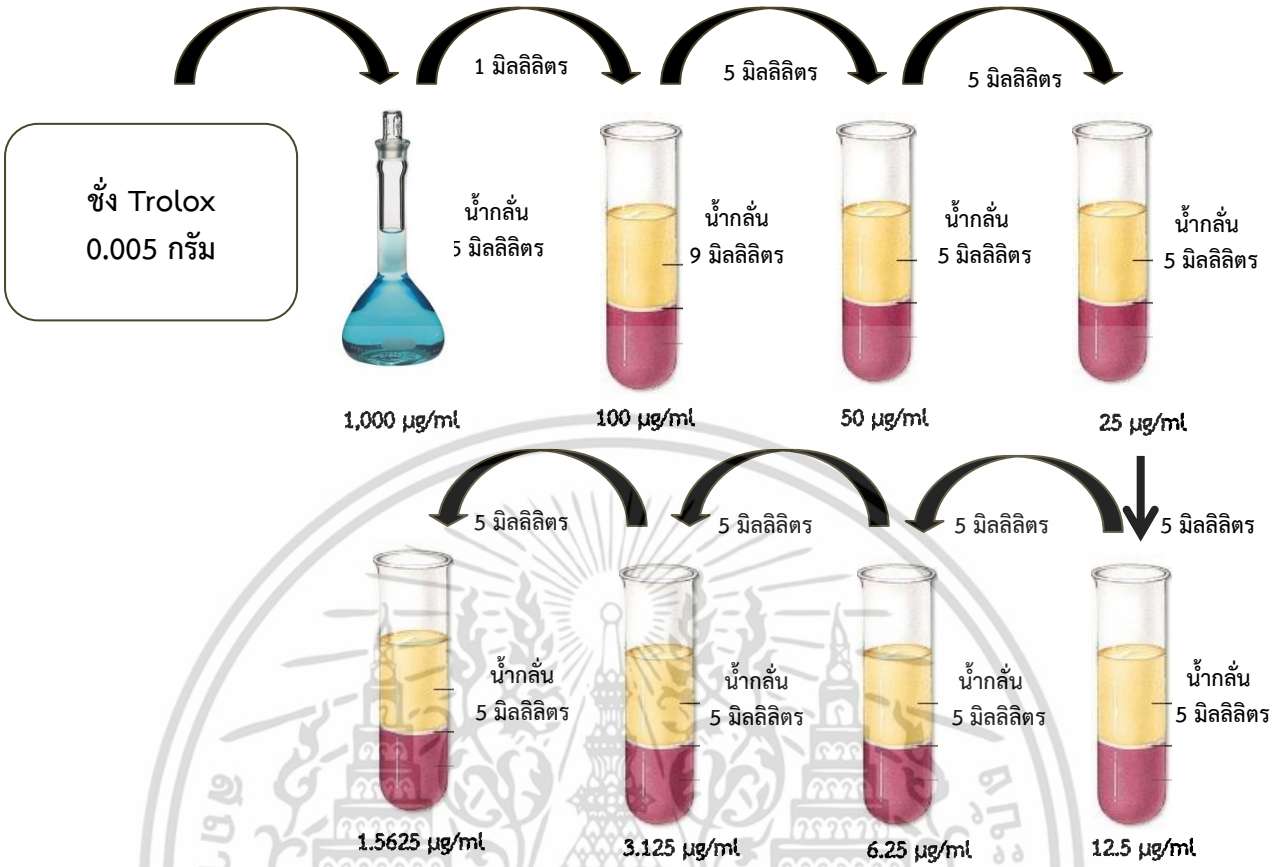
ถ้าสารละลายปริมาตร 5 มิลลิลิตร จะมีเนื้อสารอยู่เท่ากับ (1,000 x 5) / 1 = 5,000 ไมโครกรัม

- เปลี่ยนหน่วยจากไมโครกรัมเป็นกรัม (1 กรัม มีค่าเท่ากับ 1,000,000 ไมโครกรัม)

จะได้ 5,000 / 1,000,000 = 0.005 กรัม

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ที่ความเข้มข้น 1,000, 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125 และ 1.5625 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์

5.2 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์

มวลโมเลกุลของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเท่ากับ 270.322 กรัมต่อโมล โดยจะเตรียมในปริมาตร 50 มิลลิลิตร

สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 1,000 มิลลิโมลาร์ จะมีเนื้อสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเท่ากับ 270.322 กรัม

ถ้าสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 2.45 มิลลิโมลาร์ ต้องชั่งโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเท่ากับ (2.45 x 270.322) / 1,000 = 0.6623 กรัม

ถ้าเตรียมในปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้องชั่งสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.6623 กรัม

เตรียมปริมาตร 50 มิลลิลิตร ต้องชั่งสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเท่ากับ (0.6623 x 50) / 1,000 = 0.0331 กรัม

ชั่งสารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.0331 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การเตรียมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์

มวลโมเลกุลของ ABTS หรือ 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid เท่ากับ 514.62 กรัมต่อโมล โดยจะเตรียมในปริมาตร 50 มิลลิลิตร

สารละลาย ABTS 1,000 มิลลิมาลาร์ จะมีเนื้อสาร ABTS เท่ากับ 514.62 กรัม

ถ้าเตรียมสารละลาย ABTS 7 มิลลิโมลาร์ จะต้องชั่ง ABTS เท่ากับ (7 x 514.62) / 1,000 = 3.6023 กรัม

ถ้าเตรียมในปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้องชั่งสาร ABTS 3.6023 กรัม

เตรียมในปริมาตร 50 มิลลิลิตร ต้องชั่งสาร ABTS เท่ากับ (3.6023 x 50) / 1,000 = 0.1801 กรัม

ชั่งสาร ABTS 0.1801 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การคำนวณ

1. การวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณหาปริมาณเถ้าทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้หลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	น้ำหนักครูซิเบิลเปล่าก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักครูซิเบิลพร้อมตัวอย่างหลังเผา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)
เสาวรส	15.7144	15.7742	0.7122

จากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักครูซิเบิลพร้อมตัวอย่างหลังเผา - น้ำหนักครูซิเบิลเปล่าก่อนเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

$$= \frac{15.7742 - 15.7144}{0.7122} \times 100 = 8.3965$$

ดังนั้น เปลือกเสาวรสมีปริมาณเถ้าทั้งหมดร้อยละ 8.3965

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณหาปริมาณโปรตีนทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้โดยวิธี Kjeldahl

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรสารละลายกรดที่ใช้ในการไทเทรต
เสาวรส	0.7181	6.3

จากสูตร

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{\text{ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต} \times \text{ความเข้มข้นของกรด} \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

$$= \frac{6.3 \times 0.1 \times 1.4}{0.7181} = 1.2282$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} \times \text{conversion factor}$$

$$= 1.2282 \times 6.25 = 7.6765$$

ดังนั้น เปลือกเสาวรสมีปริมาณโปรตีนทั้งหมดร้อยละ 7.6765

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้ (Total dietary fiber) มีสูตรการคำนวณคือ

$$\text{ใยอาหารทั้งหมด (\%)} = \frac{Z - P - A - B}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

เมื่อ Z = น้ำหนักสิ่งที่ตกค้าง (กรัม)

P = น้ำหนักโปรตีนทั้งหมด (กรัม)

A = น้ำหนักเถ้าทั้งหมด (กรัม)

B = แบลงค์ (กรัม)

ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณหาปริมาณใยอาหารทั้งหมดในผงแห้งจากเปลือกผลไม้

ตัวอย่าง	น้ำหนักสิ่งที่ตกค้าง (กรัม)	น้ำหนักโปรตีน (กรัม)	น้ำหนักเถ้า (กรัม)	Blank (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)
เสาวรส	0.7374	0.0566	0.0619	0.0268	1.0108

จากสูตร

$$\text{ใยอาหารทั้งหมด (\%)} = \frac{Z - P - A - B}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

$$= \frac{0.7374 - 0.0566 - 0.0619 - 0.0268}{1.0108} \times 100 = 58.58$$

ดังนั้น ในเปลือกเสาวรส 100 กรัม มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 58.58 กรัม

2. การวิเคราะห์สมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติ

2.1 การคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำการทดลองตามวิธีการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธีเดียวกันกับตัวอย่างแต่ใช้สารละลายกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ แทนสารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นในหลอดทดลองของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ จะมีปริมาณเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกดังนี้

<u>สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร</u>

คือ สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกเท่ากับ 1,000 ไมโครกรัม

<u>สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร</u>

คือ สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกเท่ากับ 750 ไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

คือ สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกเท่ากับ 500 ไมโครกรัม

สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

คือ สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกเท่ากับ 250 ไมโครกรัม

สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

คือ สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกเท่ากับ 100 ไมโครกรัม

สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

คือ สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกเท่ากับ 50 ไมโครกรัม

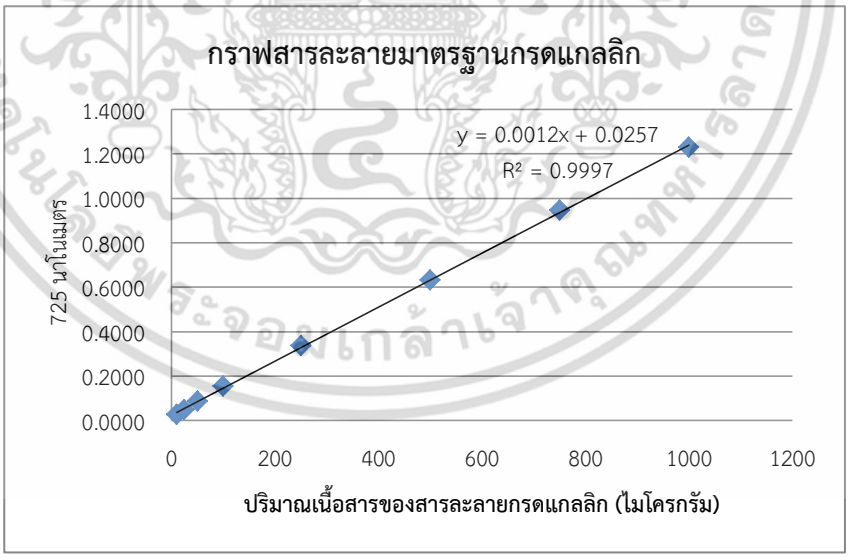
สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

คือ สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกเท่ากับ 25 ไมโครกรัม

สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

คือ สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกเท่ากับ 10 ไมโครกรัม

ดังนั้นสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรที่ใช้ในการทดลองปริมาตร 1 มิลลิลิตร จะมีปริมาณเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกอยู่ในหลอดเท่ากับ 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัม ตามลำดับ ทำการสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตรกับปริมาณเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัมดังนี้



รูปที่ 1 กราฟสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตรกับปริมาณเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 4 การคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดโยเกิร์ต โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตรของสารสกัดโยเกิร์ตแทนค่าในสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

สารสกัดโยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์มีค่า A_{725} เท่ากับ 0.145

จากสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

$Y = 0.0012x + 0.0257$

เมื่อ x คือ ปริมาณเนื้อสารของสารละลายกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)

Y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร

แทนค่า $0.145 = 0.0012x + 0.0257$

$$X = \frac{0.145 - 0.0257}{0.0012} = 99.42 \text{ ไมโครกรัม}$$

สารสกัดโยเกิร์ต 30 มิลลิลิตร มาจากตัวอย่างโยเกิร์ต 50 กรัม

ดังนั้น สารสกัดโยเกิร์ต 1 มิลลิลิตร มาจากตัวอย่างโยเกิร์ตเท่ากับ $\frac{1 \times 50}{30} = 1.67$ กรัม

โดยในการทดลองจะใช้สารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นจะมาจากตัวอย่างโยเกิร์ตปริมาตร 1.67 กรัม ซึ่งจะรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัม

ดังนั้น โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ 1.67 กรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเทียบเท่ากับเนื้อสารของกรดแกลลิกเท่ากับ 99.42 ไมโครกรัม

โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ 100 กรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเทียบเท่ากับเนื้อสารของกรดแกลลิกเท่ากับ $\frac{100 \times 99.42}{1.67} = 5,953.29$ ไมโครกรัมหรือมีค่าเท่ากับ $\frac{5,953.29}{1,000} = 5.95$ มิลลิกรัม

เพราะฉะนั้นโยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 5.95 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัม

2.2 การคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยล์ทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจะเทียบกับสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำการทดลองตามวิธีการหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดด้วยวิธีเดียวกันกับตัวอย่างแต่ใช้สารละลายคาเทชินที่ความเข้มข้นต่างๆ แทนสารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร เพราะ ฉะนั้นในหลอดทดลองของสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้นต่างๆ จะมีปริมาณเนื้อสารของสารละลายคาเทชินดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร</u>

สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ 1,000 ไมโครกรัม

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ $\frac{0.25 \times 1,000}{1}$ เท่ากับ 250.00 ไมโครกรัม

<u>สารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร</u>

สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ 750 ไมโครกรัม

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ $\frac{0.25 \times 750}{1}$ เท่ากับ 187.50 ไมโครกรัม

<u>สารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร</u>

สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ 500 ไมโครกรัม

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ $\frac{0.25 \times 500}{1}$ เท่ากับ 125.00 ไมโครกรัม

<u>สารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร</u>

สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ 250 ไมโครกรัม

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ $\frac{0.25 \times 250}{1}$ เท่ากับ 62.50 ไมโครกรัม

<u>สารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร</u>

สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ 100 ไมโครกรัม

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ $\frac{0.25 \times 100}{1}$ เท่ากับ 25.00 ไมโครกรัม

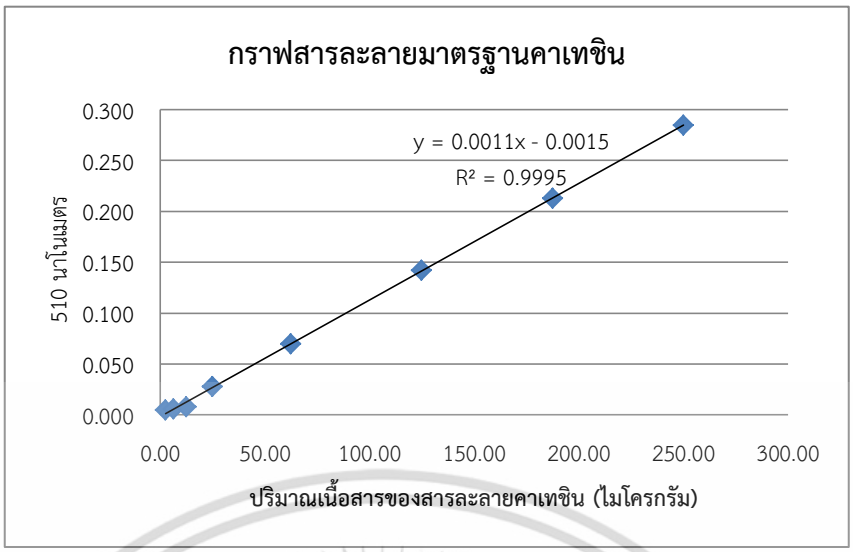
<u>สารละลายมาตรฐานคาเทชินความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร</u>

สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ 50 ไมโครกรัม

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ $\frac{0.25 \times 50}{1}$ เท่ากับ 12.50 ไมโครกรัม

ดังนั้นสารละลายมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรที่ใช้ในการทดลองปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร จะมีปริมาณเนื้อสารของสารละลายคาเทชินอยู่ในหลอดเท่ากับ 250.00, 187.50, 125.00, 62.50, 25.00, 12.50, 6.25 และ 2.50 ไมโครกรัม ตามลำดับ ทำการสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรกับปริมาณเนื้อสารของสารละลายคาเทชินในหน่วยไมโครกรัมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2 กราฟสารละลายมาตรฐานคาเทชินสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรกับปริมาณเนื้อสารของสารละลายคาเทชิน (ไมโครกรัม)

ตัวอย่าง 5 การคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดโยเกิร์ต โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรของสารสกัดโยเกิร์ตแทนค่าในสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานคาเทชิน

สารสกัดโยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์มีค่า A_{510} เท่ากับ 0.017

จากสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานคาเทชิน

$Y = 0.0011x - 0.0015$

เมื่อ x คือ ปริมาณเนื้อสารของสารละลายคาเทชิน (ไมโครกรัม)

Y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

แทนค่า $0.017 = 0.0011x - 0.0015$

$$X = \frac{0.017 + 0.0015}{0.0011} = 16.82 \text{ ไมโครกรัม}$$

สารสกัดโยเกิร์ต 30 มิลลิลิตร มาจากตัวอย่างโยเกิร์ต 50 กรัม

ดังนั้น สารสกัดโยเกิร์ต 1 มิลลิลิตร มาจากตัวอย่างโยเกิร์ตเท่ากับ $\frac{1 \times 50}{30} = 1.67$ กรัม

โดยในการทดลองจะใช้สารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นจะมาจากตัวอย่างโยเกิร์ตปริมาตรเท่ากับ 0.25 x 1.67 = 0.4175 กรัม ซึ่งจะรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัม

ดังนั้น โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ 0.4175 กรัม มีปริมาณสารประกอยฟลาโวนอยด์เทียบเท่ากับเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ 16.82 ไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ 100 กรัม มีปริมาณสารประกอยฟลาโวนอยด์เทียบเท่ากับเนื้อสารของสารละลายคาเทชินเท่ากับ $\frac{100 \times 16.82}{0.4175}$ = 4,028.74 ไมโครกรัมหรือมีค่าเท่ากับ $\frac{4,028.74}{1,000}$ = 4.03 มิลลิกรัม

เพราะฉะนั้นโยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์จะมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ 4.03 มิลลิกรัม ของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัม

2.3 การคำนวณหาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing anti-oxidant power (FRAP) assay

การวิเคราะห์หาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay จะเทียบกับสารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟตที่ความเข้มข้น 10, 3, 1.5, 0.75, 0.375, 0.1875, 0.0938 และ 0.0469 มิลลิโมลาร์ โดยทำการทดลองตามวิธีการหาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay ซึ่งทำตามวิธีเดียวกันกับตัวอย่างแต่ใช้สารละลายเฟอรัสซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ แทนสารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นในหลอดทดลองของสารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ จะมีปริมาณเนื้อสารของสารละลายเฟอรัสซัลเฟตดังนี้

<u>สารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟตความเข้มข้น 10 มิลลิโมลต่อลิตร</u>

สารละลายปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของเฟอรัสซัลเฟตเท่ากับ 10 มิลลิโมล

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของเฟอรัสซัลเฟตเท่ากับ $\frac{0.1 \times 10}{1,000}$ = 0.001 มิลลิโมล

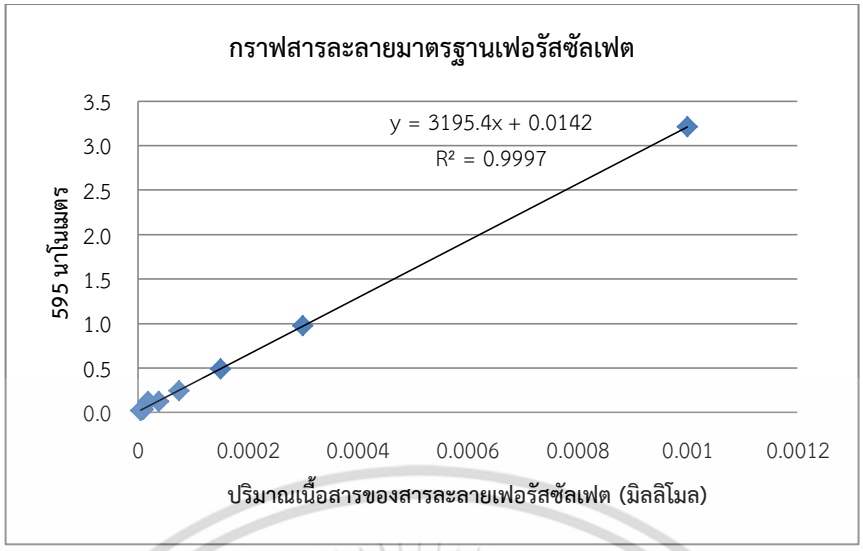
<u>สารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟตความเข้มข้น 3 มิลลิโมลต่อลิตร</u>

สารละลายปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของเฟอรัสซัลเฟตเท่ากับ 3 มิลลิโมล

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของเฟอรัสซัลเฟตเท่ากับ $\frac{0.1 \times 3}{1,000}$ = 0.0003 มิลลิโมล

ดังนั้นสารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟตที่ความเข้มข้น 10, 3, 1.5, 0.75, 0.375, 0.1875, 0.0938 และ 0.0469 มิลลิโมลาร์ที่ใช้ในการทดลองปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร จะมีปริมาณเนื้อสารของสารละลายเฟอรัสซัลเฟตอยู่ในหลอดเท่ากับ 0.001, 0.0003, 0.00015, 0.000075, 0.0000375, 0.0000188, 0.0000094 และ 0.0000047 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ทำการสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตรกับปริมาณเนื้อสารของสารละลายเฟอรัสซัลเฟตในหน่วยมิลลิโมลได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3 กราฟสารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟตสำหรับการวิเคราะห์หาความสามารถในการรีดิวซ์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตรกับปริมาณเนื้อสารของสารละลายเฟอรัสซัลเฟต (มิลลิโมล)

ตัวอย่าง 6 การคำนวณหาความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดโยเกิร์ต โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตรของสารสกัดโยเกิร์ตแทนค่าในสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟต

สารสกัดโยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ มีค่า A_{595} เท่ากับ 0.093

จากสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟต

$Y = 3,195.4x + 0.0142$

เมื่อ x คือ ปริมาณเนื้อสารของสารละลายเฟอรัสซัลเฟต (มิลลิโมล)

Y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

แทนค่า $0.093 = 3,195.4x + 0.0142$

$$X = \frac{0.093 - 0.0142}{3,195.4} = 0.000025 \text{ มิลลิโมล}$$

สารสกัดโยเกิร์ต 30 มิลลิลิตร มาจากตัวอย่างโยเกิร์ต 50 กรัม

ดังนั้น สารสกัดโยเกิร์ต 1 มิลลิลิตร มาจากตัวอย่างโยเกิร์ตเท่ากับ $\frac{1 \times 50}{30} = 1.67$ กรัม

โดยในการทดลองจะใช้สารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นจะมาจากตัวอย่างโยเกิร์ตปริมาตรเท่ากับ 0.1 x 1.67 = 0.167 กรัม ซึ่งจะรายงานผลในหน่วยมิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อโยเกิร์ต 100 กรัม

ดังนั้น โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ 0.167 กรัม มีความสามารถในการรีดิวซ์ของสารละลายเฟอรัสซัลเฟตเท่ากับ 0.000025 มิลลิโมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ 100 กรัม มีความสามารถในการรีดิวซ์ของสารละลายเฟอรัสซัลเฟต

เท่ากับ $\frac{100 \times 0.000025}{0.167}$ = 1.92 มิลลิโมล

โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์มีความสามารถในการรีดิวซ์ของสารละลายเฟอรัสซัลเฟตเท่ากับ 1.92 มิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อโยเกิร์ต 100 กรัม

2.4 การคำนวณหาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay

การวิเคราะห์หาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) cation radical-scavenging assay จะเทียบกับสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ที่ความเข้มข้น 1,000, 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125 และ 1.5625 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำการทดลองตามวิธีการหาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay ซึ่งทำตามวิธีเดียวกันกับตัวอย่างแต่ใช้สารละลายโทรล็อกซ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ แทนสารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 0.03 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นในหลอดทดลองของสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะมีปริมาณเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์ดังนี้

<u>สารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลต่อลิตร</u>

สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์เท่ากับ 1,000 ไมโครกรัม

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.03 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์เท่ากับ $\frac{0.03 \times 1,000}{1}$

= 30 ไมโครกรัม

<u>สารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลต่อลิตร</u>

สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์เท่ากับ 100 ไมโครกรัม

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.03 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์เท่ากับ $\frac{0.03 \times 100}{1}$

= 3 ไมโครกรัม

<u>สารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลต่อลิตร</u>

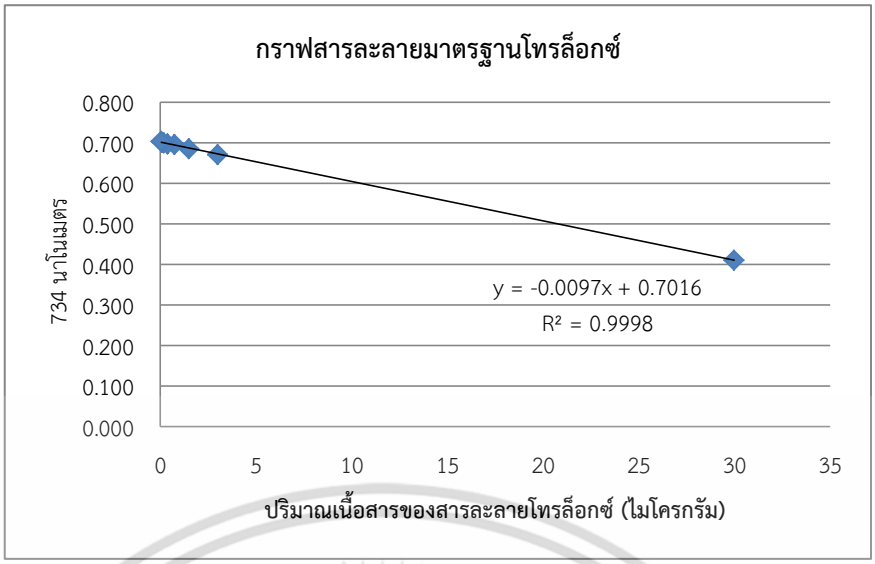
สารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์เท่ากับ 50 ไมโครกรัม

ดังนั้น สารละลายปริมาตร 0.03 มิลลิลิตร มีเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์เท่ากับ $\frac{0.03 \times 50}{1}$

= 1.5 ไมโครกรัม

ดังนั้นสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์ที่ความเข้มข้น 1,000, 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125 และ 1.5625 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรที่ใช้ในการทดลองปริมาตร 0.03 มิลลิลิตร จะมีปริมาณเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์อยู่ในหลอดเท่ากับ 30, 3, 1.5, 0.75, 0.375, 0.1875, 0.09375 และ 0.046875 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ทำการสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตรกับปริมาณเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์ในหน่วยไมโครกรัมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4 กราฟสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์สำหรับการวิเคราะห์หาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตรกับปริมาณเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์ (ไมโครกรัม)

ตัวอย่าง 7 การคำนวณหาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดโยเกิร์ต โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตรของสารสกัดโยเกิร์ตแทนค่าในสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์

สารสกัดโยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ มีค่า A_{734} เท่ากับ 0.701

จากสมการเส้นตรงของกราฟสารละลายมาตรฐานโทรล็อกซ์

$Y = -0.0097x + 0.7016$

เมื่อ x คือ ปริมาณเนื้อสารของสารละลายโทรล็อกซ์ (ไมโครกรัม)

Y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

แทนค่า $0.701 = -0.0097x + 0.7016$

$$X = \frac{0.701 - 0.7016}{-0.0097} = 0.0619 \text{ ไมโครกรัม}$$

สารสกัดโยเกิร์ต 30 มิลลิลิตร มาจากตัวอย่างโยเกิร์ต 50 กรัม

ดังนั้น สารสกัดโยเกิร์ต 1 มิลลิลิตร มาจากตัวอย่างโยเกิร์ตเท่ากับ $\frac{1 \times 50}{30} = 1.67$ กรัม

โดยในการทดลองจะใช้สารสกัดโยเกิร์ตปริมาตร 0.03 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นจะมาจากตัวอย่างโยเกิร์ตเท่ากับ 0.03 x 1.67 = 0.0501 กรัม ซึ่งจะรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของโทรล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัม

ดังนั้น โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ 0.0501 กรัม มีความสามารถในการรีดิวซ์ของสารละลายโทรล็อกซ์เท่ากับ 0.0619 ไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์ 100 กรัม มีความสามารถในการรีดิวซ์ของสารละลายโทรล็อกซ์เท่ากับ $\frac{100 \times 0.0619}{0.0501}$ = 123.55 ไมโครกรัมหรือเท่ากับ $\frac{123.55}{1,000}$ = 0.12 มิลลิกรัม

เพราะฉะนั้นโยเกิร์ตข้าวบาร์เลย์มีความสามารถในการรีดิวซ์ของสารละลายโทรล็อกซ์เท่ากับ 0.12 มิลลิกรัมของโทรล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคัดเลือกสูตรโยเกิร์ตธัญชาติผสม

1. การคัดเลือกสูตรโยเกิร์ตธัญชาติผสมทั้งหมด 8 สูตร

ในการทดลองนี้ได้ทำการหมักโยเกิร์ตผสมทั้งหมด 8 สูตรได้แก่ โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1) โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(2) โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(3) โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(4) โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(1) โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(2) โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3) และโยเกิร์ตธัญชาติผสม B(4) ซึ่งในการหมักโยเกิร์ตแต่ละสูตรทำตามวิธีการของ Coda (2012) ทำได้โดยชั่งธัญชาติแต่ละสูตรตามตารางที่ 1 จากนั้นเติมน้ำสะอาดแต่ละสูตรปริมาตร 455 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที โดยคนให้เข้ากันตลอดเวลาขณะต้มเมื่อครบเวลาทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในน้ำเย็น จากนั้นเทโยเกิร์ตใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดและปิเปตกล้าเชื้อความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างที่ชั่วโมงที่ 0 และชั่วโมงที่ 24 ของการบ่มแล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมด และหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากโยเกิร์ต เพื่อทำการคัดเลือกโยเกิร์ตธัญชาติผสมไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โพรไบโอติก

ตารางที่ 1 ส่วนผสมที่ใช้ในการหมักโยเกิร์ตธัญชาติผสม

สูตรที่	โยเกิร์ต	ส่วนผสม	อัตราส่วน (ร้อยละ)
1	**ธัญชาติผสม A(1)**	ข้าวหอมมะลิ	1.80
		ข้าวสินเหล็ก	1.80
		ลูกเดือย	1.80
		ข้าวบาร์เลย์	1.80
		ข้าวโพด	1.80
2	**ธัญชาติผสม A(2)**	ข้าวหอมมะลิ	1.35
		ข้าวสินเหล็ก	1.80
		ลูกเดือย	2.25
		ข้าวบาร์เลย์	2.25
		ข้าวโพด	1.35
3	**ธัญชาติผสม A(3)**	ข้าวหอมมะลิ	1.35
		ข้าวสินเหล็ก	1.35
		ลูกเดือย	2.70
		ข้าวบาร์เลย์	2.70
		ข้าวโพด	0.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ส่วนผสมที่ใช้ในการหมักโยเกิร์ตธัญชาติผสม (ต่อ)

สูตรที่	โยเกิร์ต	ส่วนผสม	อัตราส่วน (ร้อยละ)
4	**ธัญชาติผสม A(4)**	ข้าวหอมมะลิ	0.90
		ข้าวสินเหล็ก	0.90
		ลูกเดือย	3.15
		ข้าวบาร์เลย์	3.15
		ข้าวโพด	0.90
5	**ธัญชาติผสม B(1)**	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	1.80
		ข้าวทับทิมชุมแพ	1.80
		ลูกเดือย	1.80
		ข้าวบาร์เลย์	1.80
		ข้าวสังข์หยด	0.90
		ข้าวโพด	0.90
6	**ธัญชาติผสม B(2)**	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	2.25
		ข้าวทับทิมชุมแพ	1.35
		ลูกเดือย	1.35
		ข้าวบาร์เลย์	2.35
		ข้าวสังข์หยด	0.90
		ข้าวโพด	0.90
7	**ธัญชาติผสม B(3)**	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	1.35
		ข้าวทับทิมชุมแพ	1.35
		ลูกเดือย	0.90
		ข้าวบาร์เลย์	0.90
		ข้าวสังข์หยด	1.80
		ข้าวโพด	2.70
8	**ธัญชาติผสม B(4)**	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	1.80
		ข้าวทับทิมชุมแพ	2.25
		ลูกเดือย	1.80
		ข้าวบาร์เลย์	0.90
		ข้าวสังข์หยด	0.90
		ข้าวโพด	1.35

2. ผลการศึกษาผงของธัญชาติที่มีผลต่อการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกและสมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติผสม

จากการศึกษาผลของธัญชาติต่อการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกและสมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติผสมทั้งหมด 8 สูตร ค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดคำนวณในรูปกรดแลคติกและการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์หาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแสดงดังตารางที่ 2

2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดและจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสม

2.1.1 ค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมด

โยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรต่างๆมีค่าพีเอชใกล้เคียงกันคือ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.18 ถึง 6.26 เมื่อหมักโยเกิร์ตครบ 24 ชั่วโมงพบว่า โยเกิร์ตธัญชาติผสม A(2) (สูตรที่ 2) และธัญชาติผสม A(1) (สูตรที่ 1) มีค่าพีเอชลดลงมากที่สุด (ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงเท่ากับ 2.52 และ 2.51 ตามลำดับ) และโยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรที่ 3 ถึง 8 มีค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 2.40 ถึง 2.47 เมื่อพิจารณาปริมาณกรดทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรที่มีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นคือสูตรที่ 2, 6, 7 และ 8 (มีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.30) และโยเกิร์ตธัญชาติสูตรอื่นๆ มีปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.09 ถึงร้อยละ 0.27 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

2.1.2 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมด

โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(2) สูตรที่ 6 ก่อนการหมักมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดสูงสุด (7.45 log CFU ต่อกรัม) ส่วนโยเกิร์ตสูตรอื่นๆ มีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดเริ่มต้นใกล้เคียงกันซึ่งมีปริมาณเชื้ออยู่ระหว่าง 6.91 ถึง 7.31 log CFU ต่อกรัม จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะเห็นว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดระหว่างโยเกิร์ตธัญชาติแต่ละสูตรทั้งที่เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของการหมัก ($P<0.05$) เมื่อหมักโยเกิร์ตครบ 24 ชั่วโมงพบว่าโยเกิร์ตที่มีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือโยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรที่ 8 ซึ่งมีปริมาณเชื้อที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.37 log CFU ต่อกรัม ซึ่งสัมพันธ์กันกับการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชและปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นในโยเกิร์ตสูตรนี้ ส่วนโยเกิร์ตสูตรที่มีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกรองลงมาคือสูตรที่ 2 และสูตรที่ 1 (1.30 และ 1.29 log CFU ต่อกรัม ตามลำดับ) ส่วนโยเกิร์ตสูตรอื่นจะมีปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 1.04 ถึง 1.21 log CFU ต่อกรัม ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณเชื้อที่เพิ่มขึ้นในโยเกิร์ตธัญชาติสูตรต่างๆ พบว่าปริมาณเชื้อมีความสัมพันธ์กันกับสัดส่วนของปริมาณข้าวโพดคือ ยิ่งมีสัดส่วนของข้าวโพดมากก็ยิ่งมีปริมาณเชื้อเพิ่มมากขึ้น แต่จากผลการวิเคราะห์ทางสถิตินั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณเชื้อในชั่วโมงที่ 24 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 2

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางพฤกษเคมีในโยเกิร์ตธัญชาติ

2.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรที่ 7 มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด (40.66 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัม) รองลงมาคือโยเกิร์ตสูตรที่ 8 และ 1 (22.23, และ 22.17 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัมตามลำดับ) ส่วนโยเกิร์ตสูตรอื่นๆ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 5.91 ถึง 18.36 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อโยเกิร์ต 100 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติสูตรต่างๆ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีความสอดคล้องกับอัตราส่วนของข้าวโพดที่เป็นส่วนผสม ทำให้โยเกิร์ตธัญชาติ A(1) และ A(2) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าโยเกิร์ตธัญชาติ A(3) และ A(4) เช่นเดียวกันกับโยเกิร์ตธัญชาติ B(3) และ B(4) เมื่อเทียบกับโยเกิร์ตธัญชาติ B(1) และ B(2) แล้วมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่า สำหรับสารมาตรฐานที่ใช้เป็นชุดควบคุมเชิงบวกมี 2 ตัว คือ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol) และสารมาตรฐาน BHT มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 156.48 และ 119.16 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อสารสกัด 100 กรัมตามลำดับดังตารางที่ 3

2.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติที่มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์มากที่สุดคือ สูตรที่ 5, 1 และ 6 (16.29, 13.68 และ 14.12 มิลลิกรัมของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัมตามลำดับ) และสารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติผสมสูตรอื่นๆ มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่ใกล้เคียงกันคือ 5.41 ถึง 10.71 มิลลิกรัมของคาเทชินต่อโยเกิร์ต 100 กรัม สำหรับสารมาตรฐานที่ใช้เป็นชุดควบคุมเชิงบวกคือ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol) และสามมาตรฐาน BHT มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ 116.46 และ 152.12 มิลลิกรัมของคาเทชินต่อสารสกัด 100 กรัมตามลำดับดังตารางที่ 3

2.2.3 การวิเคราะห์หากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing anti oxidant power (FRAP) assay

สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติที่มีความสามารถในการรีดิวซ์ได้สูงที่สุดคือ สารสกัดจากโยเกิร์ตข้าวโพด ซึ่งมีความสามารถในการรีดิวซ์เท่ากับ 0.2644 มิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อโยเกิร์ต 100 กรัม แต่จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะเห็นว่าไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความสามารถในการรีดิวซ์ระหว่างโยเกิร์ตแต่ละสูตรที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับสารสกัดจากโยเกิร์ตสูตรอื่นๆ และสารสกัดจากโยเกิร์ตที่มีความสามารถในการรีดิวซ์รองลงมาคือ โยเกิร์ตธัญชาติสูตรที่ 15 และสูตรที่ 1 (มีค่า 0.1586 และ 0.1330 มิลลิโมลของเฟอรัสซัลเฟตต่อโยเกิร์ต 100 กรัม) และจากการเปรียบเทียบโยเกิร์ตธัญชาติสูตรต่างๆ พบว่าโยเกิร์ตธัญชาติสูตรที่มีอัตราส่วนของข้าวโพดและข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นหลักสูตรนี้จะมีความสามารถในการรีดิวซ์สูง โดยชุดควบคุมเชิงบวกคือ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol) และสารมาตรฐาน BHT มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 535.17 และ 14.53 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อสารสกัด 100 กรัมตามลำดับดังตารางที่ 3

4.2.2.4 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay

สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติสูตรที่ 1 ถึง 8 ที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดคือ สารสกัดจากโยเกิร์ตข้าวโพด (47.52 มิลลิกรัมโทล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัม) รองลงมาคือ โยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวสังข์หยด และข้าวสินเหล็ก (มีค่าเท่ากับ 12.06, 11.06 และ 6.57 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัมตามลำดับ) ในโยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1) ถึง A(4) สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างสูงคือโยเกิร์ตธัญชาติผสม A(1), A(2) และ A(4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(มีค่า 10.14 , 9.25 และ 9.11 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัมตามลำดับ) แต่โยเกิร์ตธัญชาติทั้ง 3 สูตรถือว่าไม่มีความแตกต่างกันของกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนโยเกิร์ตธัญชาติผสม B(1) ถึง B(4) สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติผสมที่มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างสูงคือ โยเกิร์ตธัญชาติผสม B(3) (17.55 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัม) รองลงมาคือ สารสกัดจากโยเกิร์ตธัญชาติ B(4) และ B(2) (14.29 และ 13.67 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อโยเกิร์ต 100 กรัมตามลำดับ) โดยชุดควบคุมเชิงบวกคือ แอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol) และสารมาตรฐาน BHT มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 53548.85 และ 2545.40 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์ต่อสารสกัด 100 กรัมตามลำดับดังตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมดในโยเกิร์ตธัญชาติผสมระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

สูตรที่	โยเกิร์ต	ค่าพีเอช ± SD		ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ) ± SD		จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกทั้งหมด (log CFU ต่อกรัม) ± SD	
		ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 24	ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 24	ชั่วโมงที่ 0	ชั่วโมงที่ 24
9	ธัญชาติผสม A(1)	6.21 ± 0.15[a]	3.70 ± 0.21[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.33 ± 0.05[a]	7.03 ± 0.94[a]	8.32 ± 0.24[a]
10	ธัญชาติผสม A(2)	6.24 ± 0.09[a]	3.72 ± 0.32[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.39 ± 0.05[a]	7.17 ± 0.32[a]	8.47 ± 0.41[a]
11	ธัญชาติผสม A(3)	6.22 ± 0.11[a]	3.76 ± 0.19[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.33 ± 0.05[a]	7.14 ± 0.76[a]	8.31 ± 0.37[a]
12	ธัญชาติผสม A(4)	6.21 ± 0.09[a]	3.77 ± 0.20[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.33 ± 0.05[a]	7.09 ± 0.97[a]	8.21 ± 0.34[a]
13	ธัญชาติผสม B(1)	6.26 ± 0.10[a]	3.79 ± 0.16[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.36 ± 0.09[a]	7.10 ± 0.92[a]	8.29 ± 0.31[a]
14	ธัญชาติผสม B(2)	6.19 ± 0.10[a]	3.74 ± 0.30[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.39 ± 0.05[a]	7.45 ± 0.22[a]	8.66 ± 0.36[a]
15	ธัญชาติผสม B(3)	6.18 ± 0.03[a]	3.78 ± 0.31[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.39 ± 0.10[a]	7.25 ± 0.96[a]	8.46 ± 0.26[a]
16	ธัญชาติผสม B(4)	6.26 ± 0.06[a]	3.79 ± 0.32[a]	0.09 ± 0.00[a]	0.39 ± 0.10[a]	7.11 ± 1.01[a]	8.48 ± 0.45[a]

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวของคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

: อักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม ส่วนชุดที่ไม่มีอักษร F แสดงถึงโยเกิร์ตธัญชาติที่ไม่เติมผงแห้งจากเปลือกผลไม้ผสม

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในโยเกิร์ตธัญชาติ

สูตรที่	โยเกิร์ต	Total Phenolic content (mgGAE/100 g yogurt) ± SD	Total Flavonoid content (mgCE/100 g yogurt) ± SD	Anti-oxidant activity	
				FRAP assay (mmol Fe (II) / 100 g yogurt) ± SD	ABTS assay (mgTE/100 g yogurt) ± SD
9	ธัญชาติผสม A(1)	22.17 ± 0.38^{d}	13.68 ± 0.56^{d}	0.07 ± 0.00^{c}	10.14 ± 2.32^{e}
10	ธัญชาติผสม A(2)	18.36 ± 2.33^{e}	5.41 ± 0.25^{g}	0.06 ± 0.00^{c}	9.25 ± 0.30^{e}
11	ธัญชาติผสม A(3)	15.63 ± 0.56^{f}	10.71 ± 0.44^{e}	0.05 ± 0.00^{c}	6.50 ± 0.21^{f}
12	ธัญชาติผสม A(4)	11.40 ± 0.31^{gi}	9.25 ± 0.61^{f}	0.06 ± 0.00^{c}	9.11 ± 0.60^{e}
13	ธัญชาติผสม B(1)	15.20 ± 0.99^{f}	16.29 ± 0.56^{c}	0.05 ± 0.00^{c}	5.85 ± 0.46^{f}
14	ธัญชาติผสม B(2)	17.36 ± 0.11^{e}	14.12 ± 0.06^{d}	0.08 ± 0.00^{c}	13.67 ± 2.08^{d}
15	ธัญชาติผสม B(3)	40.66 ± 0.68^{c}	10.13 ± 0.11^{e}	0.16 ± 0.01^{c}	17.55 ± 0.76^{c}
16	ธัญชาติผสม B(4)	22.23 ± 0.96^{d}	10.20 ± 0.27^{e}	0.09 ± 0.00^{c}	14.29 ± 1.91^{d}
Butylated hydroxyl toluene (BHT)		119.16 ± 0.21^{b}	152.12 ± 0.65^{a}	14.53 ± 0.17^{b}	2,545.40 ± 1.61^{b}
α-tocopherol		156.48 ± 0.27^{a}	116.46 ± 0.07^{b}	535.17 ± 0.73^{a}	53,548.85 ± 0.56^{a}

หมายเหตุ : อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวของคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

ภาคผนวก จ

อื่นๆ

Table 1 Compositional profile of selected indigestible carbohydrates among different analytical methods [46-53].

Indigestible carbohydrates	Polysaccharides (DP > 9)				Noncarbohydrate residues [a]		Oligosaccharides (DP 3-9)
	Starch	Cellulose	Hemicellulose	Pectin	Lignin	Others	
Crude fiber			●		●	●	
Nonstarch polysaccharide [b]		●	●	●			
Soluble dietary fiber [c]			●	● [f]		●	● [d]
Insoluble dietary fiber [e]	●	●	●	●	●	●	
Indigestible fraction [g]	●	●	●	●	●	●	
Resistant starch [h]	●						

AOAC = Association Official Analytical Chemists; DF = dietary fiber; DP = degree of polymerization; NSP = nonstarch polysaccharide.

[a] Noncarbohydrate residues such as polyphenols (e.g., condensed tannin), wax, saponin, cutin, phytate, crude protein, or ash.

[b] Referring to the Englyst NSP methods, in which the be determined by gas chromatography, or by high performance liquid chromatography to obtain values for the constituent monosaccharides to determine the residual NSP after the removal of starch.

[c] Referring to the analytical method of AOAC 991.43, with which small amounts of oligosaccharides (DP 3-9) are included.

[d] Small quantities of oligosaccharides such as inulin, polydextrose, resistant maltodextrin, and short chain polysaccharides may be included in the soluble fraction. Determination of total amount of individual oligosaccharides should refer to the methods of AOAC 997.08 and AOAC 2001.03 for inulin and resistant maltodextrin, respectively.

[e] Referring to the analytical method of AOAC 991.43.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[f] A portion of pectic substances is water insoluble and is therefore included in the total amount of insoluble dietary fiber.

[g] As described by Saura-Calixto et. al. (2000), samples were successively incubated with pepsin and a-amylase at 37°C, centrifuged, anddialyzed. The indigestible fractions consists of DF, resistant starch, resistant protein, and other associated compounds.

[h] Referring to the analytical method AOAC 2002.02.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้