คุณภาพของถั่วเน่าที่เตรียมจากถั่วเหลืองและถั่วขาว และการพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพผสมถั่วเน่า

QUALITY OF THUA NAO FROM SOYBEAN AND WHITE KIDNEY BEAN AND PRODUCT DEVELOPMENT OF HEALTHY BISCUITS WITH THUA NAO

ธัญญารักษ์ สุบุญสันธ์
ธัญญารัตน์ พิสิทธิ์กานนท์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

คุณภาพของถั่วเน่าที่เตรียมจากถั่วเหลืองและถั่วขาว และการพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพผสมถั่วเน่า

QUALITY OF THUA NAO FROM SOYBEAN AND WHITE KIDNEY BEAN AND PRODUCT DEVELOPMENT OF HEALTHY BISCUITS WITH THUA NAO

ธัญญารักษ์ สุบุญสันธ์
ธัญญารัตน์ พิสิทธิ์กานนท์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

QUALITY OF THUA NAO FROM SOYBEAN AND WHITE KIDNEY BEAN AND PRODUCT DEVELOPMENT OF HEALTHY BISCUITS WITH THUA NAO

THUNYARUK SUBOONSUN
THANYARAT PISITKANON

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 2017

หัวข้อโครงงานพิเศษ	คุณภาพของถั่วเน่าที่เตรียมจากถั่วเหลืองและถั่วขาวและการพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพผสมถั่วเน่า Quality of thua nao from soybean and white kidney bean and product development of healthy biscuits with thua nao
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ธัญญารักษ์ สุบุญสันธ์ รหัสนักศึกษา 57050833 นางสาว ธัญญารัตน์ พิสิทธิ์กานนท์ รหัสนักศึกษา 57050834
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	ชีววิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ลินจง สุขลำภู

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดวงใจ โอชัยกุล ประธานกรรมการ	
ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์ กรรมการ	
ผศ.ลินจง สุขลำภู กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ คุณภาพของถั่วเน่าที่เตรียมจากถั่วเหลืองและถั่วขาวและการพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพผสมถั่วเน่า
Quality of thua nao from soybean and white kidney bean and product development of healthy biscuits with thua nao

ชื่อนักศึกษา นางสาว ธัญญารักษ์ สุบุญสันธ์ รหัสนักศึกษา 57050833
นางสาว ธัญญารัตน์ พิสิทธิ์กานนท์ รหัสนักศึกษา 57050834

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)

ภาควิชา ชีววิทยา

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ลินจง สุขลำภู

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อพัฒนาบิสกิตผสมผงถั่วเน่าเพื่อสุขภาพ จากการเปรียบเทียบคุณภาพของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาวเพื่อนำมาผสมในสูตรของบิสกิตพบว่าผงถั่วเน่าจากถั่วขาวมีคุณภาพที่เหมาะสม โดยผงถั่วเน่าที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีสีขาวและจากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีพบว่าผงถั่วเน่าจากถั่วขาวมีปริมาณไขมันต่ำ และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชั่นค่อนข้างสูงนอกจากนี้ผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าบิสกิตที่ผสมถั่วเน่าจากถั่วขาวมีคะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัสทุกคุณลักษณะที่ทดสอบสูงสุด และเมื่อนำผงถั่วเน่าจากถั่วขาวมาผสมในบิสกิตโดยทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 0 10 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณผงถั่วเน่าเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีน ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่าการขยายตัว ลักษณะเนื้อสัมผัสและฤทธิ์ต้านออกซิเดชั่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (0 เปอร์เซ็นต์) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า บิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณ 14 เปอร์เซ็นต์มีคะแนนการยอมรับโดยรวมจากผู้บริโภคที่ดี จากนั้นได้นำเอาบิสกิตผสมผงถั่วเน่าปริมาณ 14 เปอร์เซ็นต์มาประเมินคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 วัน พบว่าค่าวอเตอร์แอคติวิตี้มีค่าต่ำกว่า 0.6 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ประเมินให้ความแตกต่างทุกคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่ใช้ทดสอบเมื่อเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 3 เป็นต้นไปเมื่อเปรียบเทียบกับบิสกิตสูตรควบคุม (เก็บรักษา 0 วัน)

คำสำคัญ : ถั่วขาว ถั่วเน่า *Bacillus subtilis* บิสกิตเพื่อสุขภาพ

Title	Quality of thua nao from soybean and white kidney bean and product development of healthy biscuits with thua nao
Students	Thunyaruk Suboonsun Student ID 57050833
	Thanyarat Pisitkanon Student ID 57050834
Degree	Bachelor of Science (Industrial Microbiology)
Department	Biology
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2017
Advisor	Assist.Prof. Linchong Suklampoo

Abstract

The objective of this study was to develop healthy biscuits with thua nao. The qualities of thua nao powder from soybeans and white kidney beans were compared for adding in biscuit formular and the results showed that thua noa powder from white kidney bean had suitable quality. It was a fine powder and had white colour. The results from chemical analysis showed that it had low-fat content and rather high antioxidant activity. From the sensory evaluation, the biscuits supplemented with thua nao powder from white kidney beans had high scores in all the sensory attribute. Then, the thua noa powder from white kidney beans were incorporated in biscuits, replacing 0, 10, 14 and 18 % of wheat flour. The results indicated that protein content, water activity, expansion, hardness and antioxidant capacity of biscuits increased with the increasing level of thua nao powder compared to the control (0 %). However, sensory studied of biscuits showed that 14 % supplementation of thua nao powder gives satisfactory overall consumer acceptability. After that, the biscuits with 14 % thua nao powder were evaluated the quality during storage at room temperature for 15 days. The results showed that water activity of the biscuits was lower than 0.6 throughout the storage time. The texture properties showed that when the storage time increased, the hardness of the biscuits increased. While, sensory quality evaluation showed that most consumers rated the difference for all the sensory attributes since the third day storage when compared to control biscuits (0 day storage).

Keywords : White kidney bean, thua nao, *Bacillus subtilis*, healthy biscuits

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผศ.ลินจง สุขลำภู ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของคณะผู้จัดทำ ที่ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ ปรับปรุงแก้ไขงานด้วยความเอาใจใส่ตลอดจนให้ความรู้และความช่วยเหลือหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบคุณ รศ.ดวงใจ โอชัยกุล และดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์ ที่เสียสละเวลามาเป็นประธานและกรรมการสำหรับการสอบครั้งนี้รวมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และตรวจสอบข้อผิดพลาด ชี้แนะแนวทางในการแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาชีววิทยาทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการทดลองและการเบิกเครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบคุณสำหรับความห่วงใยและกำลังใจจากครอบครัวซึ่งเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยห่วงใยสนับสนุนการศึกษาเป็นแรงใจสำคัญของคณะผู้จัดทำ ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจ ร่วมทุกข์ร่วมสุขและให้ความช่วยเหลือเกื้อกูลตลอดมา จนทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานพิเศษฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจและนำไปศึกษาไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใดคณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ธัญญารักษ์ สุบุญสันธ์
ธัญญารัตน์ พิสิทธิ์กานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ถั่วเน่า	3
2.1.1 ประเภทของถั่วเน่า	4
2.1.2 ขั้นตอนการผลิตถั่วเน่า	4
2.1.3 ประโยชน์ของถั่วเน่า	5
2.2 ถั่วเหลือง	5
2.2.1 ลักษณะทั่วไป	5
2.2.2 ส่วนประกอบทางเคมี	6
2.2.3 กลิ่นถั่ว	9
2.2.4 สารต้านโภชนาการในถั่วเหลือง	9
2.2.5 ประโยชน์ของถั่วเหลือง	10
2.3 ถั่วขาว	10
2.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วขาว	11
2.3.2 สารสกัดที่ได้จากเมล็ดถั่วขาว	11
2.3.3 ประโยชน์และสรรพคุณของถั่วขาว	11
2.3.4 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของถั่วขาว	12
2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ	14
2.4.1 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ	15
2.4.2 ความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 สารประกอบฟีนอลิก 16
2.5.1 ลักษณะทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก 16
2.5.2 สมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก 17
2.5.3 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน 17
2.5.4 แหล่งที่พบ 18
2.5.5 สรรพคุณของสารประกอบฟีนอล 19
2.6 การวิเคราะหฤทธิ์ตานอนุมูลอิสระดวยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช 19
2.7 บิสกิต 20
2.7.1 วิธีทำบิสกิต 21
2.7.2 ส่วนผสมของบิสกิต 22
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงงานพิเศษ 26

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 31
3.1 เชื้อจุลินทรีย์ 31
3.2 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ 31
3.3 วัตถุดิบ 32
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ 32
3.5 วิธีการทดลอง 33
3.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ 33
3.5.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว 33
3.6 การพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่า 37
3.6.1 การเตรียมถั่วเน่าผง 37
3.6.2 การผลิตบิสกิตผสมถั่วเน่า 37
3.6.3 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ 38
3.7 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา 39
3.8 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 39

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 40
4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของถั่วเหลืองและถั่วขาว 40
4.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว 41
4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว 42
4.2.2 คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว 43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3 การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว	44
4.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว	46
4.3.1 คุณภาพทางเคมีเบื้องต้น	46
4.3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	47
4.3.3 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH	48
4.3.4 การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาว	49
4.3.5 การขยายตัวของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ	50
4.3.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ	52
4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของบิสกิตผสมถั่วเน่าในระหว่างการเก็บรักษา	53
4.4.1 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตในระหว่างการเก็บรักษา	53
4.4.2 คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส	54
4.4.3 ผลทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาวในระหว่างการเก็บรักษา	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการวิจัย	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้าง	58
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก	63
ภาคผนวก ข	68
ภาคผนวก ค	69
ภาคผนวก ง	72
ภาคผนวก จ	106
ภาคผนวก ฉ	123

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับถั่วเมล็ดแห้งชนิดอื่นๆ	6
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีในส่วนต่างๆ ของเมล็ดถั่วเหลือง	7
3.1 ตารางแสดงส่วนผสมในการทำบิสกิตของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว	36
3.2 ตารางแสดงส่วนผสมในการทำบิสกิตสูตรต่างๆ	38
4.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของถั่วเหลืองและถั่วขาว	40
4.2 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และค่าสีของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว	42
4.3 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตที่ผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว	45
4.4 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตผสมถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ	46
4.5 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาวในปริมาณต่างๆ	52
4.6 แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาวในระหว่างการเก็บรักษาต่างๆ	55

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ถั่วเน่าเม๊อะ	3
2.2 ถั่วเน่าแผ่น	4
2.3 เมล็ดถั่วเหลือง (Soybean)	6
2.4 เมล็ดถั่วขาว (White kidney's beans)	11
2.5 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก	17
2.6 ลักษณะของบิสกิต	20
4.1 ลักษณะปรากฏของถั่วเน่าจากถั่วเหลือง (ก.) และถั่วขาว (ข.)	41
4.2 ลักษณะของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลือง (ก.) และถั่วขาว (ข.)	41
4.3 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด) ของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว	43
4.4 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว	44
4.5 ปริมาณสารประกอบสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด) ของบิสกิตที่ผสมถั่วเน่าผงในปริมาณต่างๆ	48
4.6 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของบิสกิตผสมถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ	49
4.7 การขยายตัวของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ	50
4.8 ค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ	51
4.9 บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 14 เปอร์เซ็นต์	51
4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตที่ผสมถั่วเน่าในระหว่างการเก็บรักษาต่างๆ	54
4.11 ค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตในระหว่างการก็บรักษาต่างๆ	54

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถั่วเหลืองหมักหรือถั่วเน่าเป็นอาหารพื้นเมืองชนิดหนึ่งที่เป็นเอกลักษณ์บ่งบอกถึงวัฒนธรรมของชาวล้านนา และนิยมบริโภคอย่างแพร่หลายเป็นเวลานาน ถั่วเน่าจัดเป็นอาหารสุขภาพที่เป็นแหล่งของสารอาหารในกลุ่มโปรตีน นอกจากใช้เป็นอาหารเสริมรสชาติแล้วยังให้คุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วย โปรตีน ในประเภทถั่วต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง ถั่วพู ถั่วเขียว ถั่วดำ และถั่วลิสง แต่ที่นิยมนำมาทำถั่วเน่าคือถั่วเหลือง ถั่วเน่ายังมีสารอาหารที่ย่อยสลายง่าย และสารอาหารอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ ทางการแพทย์เชื่อว่ามีผลในการลดอัตราการเป็นโรคมะเร็ง โรคหัวใจ ใช้ลดความอ้วนและบำรุงสมองได้อีกด้วย เนื่องจากกระบวนการผลิตถั่วเน่าแบบพื้นบ้านเป็นการหมักโดยอาศัยเชื้อจากสิ่งแวดล้อม จึงอาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค นอกจากนี้การหมักในรูปแบบดังกล่าวมักไม่มีความสม่ำเสมอในแง่ของคุณภาพผลิตภัณฑ์ในแต่ละครั้งของการผลิต แนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ถั่วเน่ามีคุณภาพสม่ำเสมอและลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคคือการหมักโดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์และปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตถั่วเน่าให้ถูกสุขลักษณะผลิตภัณฑ์มีมาตรฐานและคำนึงถึงหลักการผลิตอาหารอย่างปลอดภัย (นิอรและไพโรจน์, 2556)

ถั่วขาว หรือ White Kidney Beans เป็นอีกหนึ่งชนิดในพืชตระกูลถั่ว แต่ไม่ค่อยพบเห็นในการนำมารับประทานมากเท่ากับถั่วชนิดอื่นๆ อย่างเช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วดำ ถั่วปากอ้า ฯลฯ ถั่วขาวเป็นพืชในตระกูลถั่วที่มีประโยชน์มากมาย เพราะให้สารอาหารที่มีประโยชน์หลายอย่าง ทั้งโปรตีน วิตามิน เกลือแร่ และมีใยอาหารสูง ขณะเดียวกันในถั่วขาวก็มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัว คือ มีสารสำคัญที่ชื่อ ฟาซิโอลามีน (Phaseolamin) (บุศรินทร์, 2559) เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส ที่ใช้ย่อยอาหารประเภทแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ให้กลายเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เพื่อให้ร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ นอกจากนี้ถั่วขาวยังมีสรรพคุณอื่นๆ อีก เช่น ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในภาวะปกติ ช่วยลดความเสี่ยงของการเป็นโรคหัวใจ ช่วยบำรุงสมอง และอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ จึงสามารถลดความเสี่ยงของการเป็นมะเร็งได้ จากประโยชน์ของถั่วขาวนั้นได้นำมาแปรรูปทางด้านอุตสาหกรรมและอาหารพร้อมบริโภคต่างๆ หลากหลาย เช่น ถั่วขาวในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาแฟและโกโก้ชนิดผง ซุปครีมถั่วขาว ถั่วขาวผสมคอลลาเจน ถั่วขาวในซอสมะเขือเทศบรรจุกระป๋อง เป็นต้น ดังนั้นถั่วขาวจึงเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์อาหาร (วิลาสินีและคณะ, 2555) เช่น ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ เป็นขนมที่ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อแทนขนมถุงที่เต็มไปด้วยผงชูรส เกลือ น้ำตาลและแป้งที่เป็นตัวการทำลายสุขภาพ โดยขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพนั้น จะเน้นประโยชน์และคุณค่าทางโภชนาการเป็นหลัก มีการออกแบบผลิตภัณฑ์อย่างหลากหลาย เพื่อลดความน่าเบื่อและทำให้ขนมดูน่าทานยิ่งขึ้น เหมาะสำหรับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย เพราะถือเป็นอาหารเพื่อสุขภาพหรืออาหารลดน้ำหนัก

โครงงานพิเศษนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพของถั่วเน่าที่ได้ และนำถั่วเน่าที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงมาพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพ ซึ่งในปัจจุบันนี้ผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมานิยมบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารประเภทธัญพืชมากขึ้น เพราะเป็นแหล่งอาหารที่มีประโยชน์ และผลิตภัณฑ์ถั่วหมักสดที่ผลิตได้จากถั่วเน่าโดยใช้กล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่ยังไม่เป็นที่นิยมจากผู้บริโภคมากนัก ดังนั้นการนำถั่วเน่ามาพัฒนาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์บิสกิต จะเป็นการเพิ่มความหลากหลายของการใช้ประโยชน์จากถั่วเน่ามากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1) ศึกษาคุณภาพของถั่วเน่าที่เตรียมมาจากถั่วเหลืองและถั่วขาว
2) พัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพผสมถั่วเน่า
3) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของบิสกิตจากถั่วเน่าในระหว่างการเก็บรักษา

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

ทำการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ โดยนำถั่วเหลืองและถั่วขาวมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหารและคาร์โบไฮเดรต จากนั้นศึกษาการผลิตถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาวในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์ *Bacillus subtilis* TISTR 001 จากนั้นคัดเลือกชนิดของถั่วที่เหมาะสมในการทำถั่วเน่า มาพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพผสมถั่วเน่าและนำบิสกิตที่ผสมถั่วเน่าในปริมาณที่เหมาะสมมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์บิสกิตที่ได้ในระหว่างการเก็บรักษา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทำให้ทราบคุณภาพของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว
2) เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพผสมถั่วเน่า
3) เป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ผสมถั่วเน่า ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วหมักพื้นบ้านของไทย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วเน่า (ทิพย์สุดา, 2557)

ถั่วเน่าเป็นอาหารพื้นบ้านชนิดหนึ่งของชาวล้านนาหรือทางภาคเหนือที่ทำมากันตั้งแต่สมัยโบราณเป็นอาหารที่ได้จากวิธีถนอมอาหาร ถั่วเน่าทำจากถั่วเหลืองที่ผ่านการต้มสุก และปรุงรสชาติด้วยเกลือ พริกย่างป่นทิ้งไว้ 2-3 วันจนมีกลิ่นและมีสีที่เปลี่ยนไปจากเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และมีรสชาติเค็ม ชาวล้านนาส่วนใหญ่จะใช้ถั่วเน่าแทนกะปิ โดยถั่วที่เริ่มเปื่อยยุ่ย เรียกว่า “ถั่วเน่าซา” นำไปคั่วหรือผัดใส่ไข่และหอมแดง แต่ถ้านำ ถั่วเน่าซา มาโขลกหรือบดให้ละเอียดจนกลายเป็นสีไข่ไก่แล้วนิยมนำมาห่อใบตองปิ้งจะเรียก “ถั่วเน่าเมอะ” และถ้านำ “ถั่วเน่าเมอะ” มาทำเป็นแผ่นวงกลมตากแห้งแล้วเป็นสีน้ำตาล ก็จะเรียก “ถั่วเน่าแข็บ ”และในปัจจุบันถั่วเน่าแข็บยังมีการพัฒนาและนำมาแปรรูปเป็นถั่วเน่าผง เพื่อความสะดวกในการปรุงรสของอาหาร

รูปที่ 2.1 ถั่วเน่าเม๊อะ
ที่มา : ทิพย์สุดา (2557)

ถั่วเน่าจัดเป็นอาหารพื้นเมืองที่มีต้นกำเนิดมาจากไทใหญ่ ชาวพม่าก็รับประทานถั่วเน่าเรียกว่า แบโบ๊ะ โดยทำเป็นแผ่นๆ ใส่พริกป่น กัดกินมีรสชาติเผ็ด คนญี่ปุ่นยังมีอาหารพื้นเมืองชนิดหนึ่งที่เรียกว่า นัตโตะ (natto) ซึ่งมีลักษณะคล้ายถั่วเน่าของคนล้านนา นอกจากนี้ ยังมีอาหารที่มีลักษณะคล้ายถั่วเน่าของชาวเนปาลและอินเดีย คือ kenema และ chungkookjang เครื่องปรุงรสของประเทศเกาหลี การทำถั่วเน่าจะใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นนำมาแปรรูปรับประทานกันในครอบครัว ญาติพี่น้อง ถ้าทำมากก็สามารถแบ่งขายได้ ถั่วเน่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูง จากโปรตีนที่ได้จากถั่ว นำมาทำเป็นเครื่องปรุงหรือแปรรูปเป็นอาหารพื้นเมืองได้หลายอย่าง เช่น ใส่ในน้ำพริกสำหรับขนมจีนน้ำเงี้ยว น้ำพริกอ่องและแกงต่างๆ ถั่วเน่าเป็นอาหารที่ชาวบ้านทางภาคเหนือชื่นชอบและมักมีไว้ติดในครัวเช่นเดียวกับกะปิของคนภาคกลาง และปลาร้าของคนอีสาน ถั่วเน่าเป็นเครื่องปรุงรสและสามารถรับประทานเป็นกับข้าวหรือใช้แกล้มกับอาหารชนิดอื่นๆ ได้การรับประทานถั่วเน่าของชาวบ้านล้านนา มักนิยมรับประทานกันโดยทั่วไป โดยเฉพาะในกลุ่มคนไทลื้อ ไทใหญ่ ไทเขิน ไทโยน ไทยอง

2.1.1 ประเภทของถั่วเน่า

ถั่วเน่ามีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ถั่วเน่าแบบเปียกและถั่วเน่าแบบแห้ง ส่วนพันธุ์ถั่วที่นำมาทำถั่วเน่านั้น พันธุ์ที่นิยมนำมาทำ คือ พันธุ์จอ 5 เพราะจะทำให้ถั่วเน่าแค้บ มีน้ำหนักและต้มขึ้นหม้อ เวลานำมาบดเนื้อของถั่วเหลืองจะมีความละเอียดมาก จะได้รูปร่างแผ่นที่มีความสวยงาม และพันธุ์ถั่วเหลืองที่ไม่นิยมนำมาแปรรูปได้แก่ พันธุ์ 75 วัน เพราะมีน้ำหนักเบาและเนื้อของถั่วเหลืองไม่ละเอียด

2.1.2 ขั้นตอนการผลิตถั่วเน่า

ขั้นตอนแรกนำเมล็ดถั่วเหลืองที่มีคุณภาพนำมาคัดแยกเมล็ดที่เสียออก แล้วนำไปล้างน้ำให้สะอาดและแช่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้ถั่วนิ่ม จากนั้นนำถั่วเหลืองมาซาวน้ำทิ้งไว้ให้พอหมาดๆ ต้มในน้ำเดือดนาน 4-6 ชั่วโมง หรือ 1 วัน จนกว่าถั่วจะเปื่อย นำไปใส่ในกระบุง ตะกร้า หรือเข่ง ที่รองและปิดทับด้วยใบตองตึงหรือใบตองหาฝาหม้อ หรือไม้ที่หนักๆ มาทับอีกชั้น หมักให้ถั่วอบและร้อนโดยทิ้งไว้ 2 หรือ 3 คืน หรืออาจนำไปตาก ส่วนใหญ่นิยมหมักถั่วเน่า เป็นเวลา 2-3 วัน จะได้ถั่วที่เริ่มเปื่อยยุ่ยและส่งกลิ่นเล็กน้อย โดยมีกลิ่นและรสชาติกำลังดี เรียกว่า ถั่วเน่าซา (ถั่วเน่าที่ยังเป็นเมล็ด คล้ายเต้าเจี้ยวของคนจีนแต่ไม่มีน้ำ) ถั่วเน่าซานี้สามารถนำไปประกอบอาหาร เช่น เอามาผัดกับไข่ หอมแดง กระเทียม หรือถั่วเน่าซาใช้ผัดกับเนื้อไก่หรือหมู เรียก ถั่วเน่าคั่ว นอกจากนั้นถ้าจะแปรรูปเป็นถั่วเน่าแผ่นต้องใช้เวลาหมัก 2 วัน เพราะทำให้ไม่มีกลิ่นแรงเกินไป

ในสมัยโบราณมีกรรมวิธีผลิตถั่วเน่าแผ่น สำหรับเก็บไว้ปรุงอาหารในครัวเรือน คือ ใช้วิธีโขลกกับครกให้ละเอียดแล้วทำเป็นอีกหนึ่งวิธีก็คือ แผ่ถั่วเน่าที่ปั้นเป็นก้อนกลม ให้บางๆแล้วนำไปตากแดดให้แห้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แต่ในปัจจุบันใช้เครื่องบดในการทำถั่วเน่าแผ่น นอกจากนั้น ถั่วเน่ายังมีการผลิตเป็นแบบผงป่นเพื่อสะดวกในการปรุงอาหารอีกด้วย รสชาติของถั่วเน่าจะไปทางเค็ม กลิ่นและรสชาติกลมกล่อมกว่าของถั่วเหลืองที่ผ่านการหมักในรูปแบบอื่น

รูปที่ 2.2 ถั่วเน่าแผ่น
ที่มา : http://www.foodietaste.com/FoodPedia_detail.asp (สืบค้นวันที่ 21 มกราคม 2561)

2.1.3 ประโยชน์ของถั่วเน่า

ถั่วเน่าเป็นอาหารที่ให้ประโยชน์มากมายแก่ผู้บริโภค นอกจากใช้เป็นอาหารเสริมรสชาติแล้วยังให้คุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วย โปรตีน ในประเภทถั่วต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง ถั่วพู ถั่วเขียว ถั่วดำ และถั่วลิสง ถั่วที่มีโปรตีนมากที่สุดคือ ถั่วเหลืองที่ใช้ทำถั่วเน่านั่นเอง ถั่วเน่ายังมีสารอาหารที่ย่อยสลายง่าย และสารอาหารอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ซึ่งทางการแพทย์เชื่อว่ามีผลในการลดอัตราการเป็นโรคมะเร็ง โรคหัวใจ ใช้ลดความอ้วนและบำรุงสมองได้อีกด้วย

ถั่วเน่าเป็นอาหารพื้นบ้านที่อยู่คู่กับคนล้านนามาเป็นเวลานาน เป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่สืบทอดกันมาหลายรุ่น ถือเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ มีคุณค่าทางวัฒนธรรมและวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนล้านนา ที่สำคัญยังสามารถสร้างเสริมรายได้ให้คนในชุมชนอีกด้วย

2.2 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองจัดเป็นพืชที่สำคัญและเป็นพืชอาหารเก่าแก่พืชหนึ่งของโลก ประโยชน์ของถั่วเหลืองมีมากมายหลายประการ คือ อาจใช้เป็นอาหารของมนุษย์ ทั้งในรูปของการบริโภคโดยตรง หรือใช้ปรุงตกแต่งเป็นรูปแบบต่างๆ เพื่อบริโภคก็ได้ หรือใช้ในอุตสาหกรรม นอกนั้นก็อาจใช้เป็นอาหารและอุตสาหกรรมสัตว์ ทั้งนี้เพราะถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีโปรตีน และน้ำมันสูงมาก คือเมล็ดมีโปรตีนตั้งแต่ 35 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำมัน 15 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากประโยชน์ในด้านเป็นอาหารแล้วก็จัดได้ว่าเป็นพืชบำรุงดินได้ดีอีกด้วย เมื่อปลูกแล้วไถกลบลงไปในดิน ก็จัดได้ว่าเป็นปุ๋ยพืชสดที่ดี เมื่อสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดแล้วกากที่เหลือก็ใช้ทำปุ๋ยได้ดีอีกด้วย

สำหรับประเทศไทยนั้นมีการปลูกถั่วเหลืองกันมาช้านานแล้ว เริ่มปลูกกันในภาคเหนือ ต่อมาได้ขยายไปยังภาคอื่นๆ ของประเทศ แต่ผลผลิตก็ไม่เพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกากถั่วเหลืองซึ่งใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (ธีระ, 2554)

2.2.1 ลักษณะทั่วไป

ถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า "*Glycine* Max (L) Merrill" อยู่ใน family ของ Leguminosac, Subfamily, Papillnodeae และ Glycine, L.10 ถั่วเหลืองมีอยู่หลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์จะมีความแตกต่างกันในด้านสี ขนาดของเมล็ด ลักษณะทางกายภาพอื่นๆ รวมทั้งส่วนประกอบทางเคมี ความแตกต่างนี้ทำให้มีการนำไปใช้ประโยชน์ต่างกันไปด้วย เช่น สีของเปลือก เปลือกสีดำใช้ในการสกัดไขมัน สีเหลืองในอุตสาหกรรมทั่วไป สีน้ำตาลและสีเขียวไม่นิยมในการนำมาใช้ประโยชน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เมล็ดถั่วเหลือง นั้นเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงกว่าธัญญพืชชนิดอื่นๆ และมีสารอาหารที่มีคุณค่า เช่น วิตามินและแร่ธาตุ นอกจากนั้นพบว่าถั่วเหลืองมีผลต่อการต้านโรคมะเร็งและเชื้อโรคอื่นๆ อาหารที่ให้โปรตีนสามารถทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมสำหรับผู้ทานอาหารมังสวิรัติ

รูปที่ 2.3 เมล็ดถั่วเหลือง (Soybean)
ที่มา : เตชิต (2559)

เนื่องจากพบว่าถั่วเหลืองมีคุณสมบัติในการช่วยป้องกันและยับยั้งโรคภัยไข้เจ็บที่สำคัญได้หลายโรคเช่น โรคมะเร็ง โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และยังมีคุณสมบัติทางสมุนไพร แพทย์แผนไทยใช้ถั่วเหลืองในการปรุงเป็นยาบำรุงกำลัง เป็นยาระบาย ในการขับปัสสาวะ เปลือกเมล็ดถั่วเหลืองยังนำมาปรุงเป็นยาบำรุงเลือดและแก้เหงื่อออกมากได้ด้วย นอกจากนั้นกากถั่วเหลืองยังสามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์คุณภาพสูงและสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยหมักคุณภาพสูง คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับถั่วเมล็ดแห้งชนิดอื่นๆ

ชนิด	ความชื้น (กรัม)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	เถ้า (กรัม)	วิตามินบี 1 (กรัม)	วิตามินบี 2 (กรัม)
ถั่วเหลือง	7.8	35.7	16.5	12.0	6.0	0.93	0.33
ถั่วลิสง	4.4	24.8	46.1	2.0	2.6	1.68	0.15
ถั่วเขียว	9.4	22.8	1.5	35.7	4.4	0.80	0.25
ถั่วแดง	9.2	23.5	2.1	33.0	4.3	1.09	0.18

ที่มา : อาณดีและประไพศรี (2543)

2.2.2 ส่วนประกอบทางเคมี

เมล็ดถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนและไขมันจากพืชที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกายมากที่สุดแหล่งหนึ่งและแต่ละส่วนของถั่วเหลืองมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีในส่วนต่างๆ ของเมล็ดถั่วเหลือง

ส่วนของเมล็ด	โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์)
ถั่วทั้งเมล็ด	40	21	34	4.9
ใบเลี้ยง	43	23	29	5.0
เปลือก	8.8	1	86	4.3
ต้นอ่อน	41	11	43	4.4

ที่มา : วันชัย (2525)

จากตารางข้างต้นแสดงรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ของถั่วเหลืองมีดังนี้

1) โปรตีน เป็นสารอาหารหลักในเมล็ดถั่วเหลืองโดยสะสมอยู่ในเซลล์ของถั่วเหลืองที่เรียกว่า Protein bodies หรือ storage protein และอยู่ในส่วนของใบเลี้ยงถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโปรตีนโดยส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิด globulin ซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำ แต่จะไม่ละลายในสภาวะที่มีค่า pH ที่จุด Iso-electric point คือ pH 4.2-4.6 และโดยเฉลี่ยแล้วโปรตีนในถั่วเหลืองมีขนาดน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 200,000-600,000 โปรตีนในถั่วเหลืองมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี เช่น แรงอัด ความร้อน สภาพเป็นกรด-ด่าง หรือ สารเคมีอื่นๆ ทำให้ขนาดของโมเลกุลโปรตีนเปลี่ยนไปหรือมีความหนืดเพิ่มขึ้นเป็นต้น คุณค่าของโปรตีนทางด้านสุขภาพได้มีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคโปรตีนจากถั่วเหลืองกับการลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและโรคหลอดเลือด พบว่าโปรตีนจากถั่วเหลืองอาจมีผลในการลดระดับคอเลสเตอรอล มีการศึกษาว่าการลดระดับของคอเลสเตอรอลลงทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์จะช่วยลดปริมาณความเสี่ยงต่อโรคหัวใจวายได้ถึง 2 เปอร์เซ็นต์

2) ไขมัน มีปริมาณรองจากโปรตีน 16-18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวจะค่อนข้างคงที่ อยู่ที่ 15 ต่อ 58 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีไขมันชนิดที่ดีและมีประโยชน์ต่อการบริโภค (essential fatty acids) 30-40 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะพวก Linoleic และ Linolenic acid เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสารพวก phospholipids หรือ phosphotides เป็นสารที่มีลักษณะคล้ายไขมัน โดยส่วนประกอบมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดย phoric acid หรือ Inositol อยู่ในโมเลกุลของไขมันและไนโตรเจนในรูป lecithin หรือ cephalin ซึ่งมีคุณสมบัติของ phospholipids จะมีผลต่อการ emulsifying ที่ดี

3) คาร์โบไฮเดรต แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

3.1 คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ในเมล็ดถั่วเหลืองส่วนใหญ่ ได้แก่ disaccharide, trisaccharide และ tetrasaccharide จะพบในถั่วเหลืองเมล็ดแก่ มีปริมาณน้อยและไม่พบในรูปของแป้ง (starch) เมล็ดถั่วเหลืองอ่อนจะพบน้ำตาลในรูปของ monosaccharide คือ glucose และน้ำตาล reducing sugar อยู่ในปริมาณที่พอควร เมื่อถั่วเหลืองแก่พอดีจะมีปริมาณที่น้อยลงจนหมดลง

3.2 คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำ อยู่ในใบเลี้ยงเป็นสารที่มีโครงสร้างของโมเลกุลที่ซับซ้อน ได้แก่ arabinogalactan และ arabinan เป็นส่วนใหญ่และสารพวก pectin

4) เถ้าและแร่ธาตุ ปริมาณของเถ้าในถั่วเหลืองทั้งเมล็ดของแต่ละพันธุ์นั้นมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันโดย จะอยู่ในช่วง 4.6-5.3 เปอร์เซ็นต์ และแร่ธาตุส่วนใหญ่ ได้แก่ โปรแตสเซียม 1.83 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.78 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 0.31 เปอร์เซ็นต์ โซเดียม 0.24 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.24 เปอร์เซ็นต์ และซัลเฟอร์ 0.24 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแร่ธาตุอื่นๆ จะพบในปริมาณที่น้อยมาก ได้แก่ คลอไรด์ โบรอน แมงกานีส เหล็ก ทองแดง แบเรียม และสังกะสี ส่วนฟอสฟอรัสที่พบจะอยู่ในรูป inorganic phosphorus เช่น phytin, phospholipids ต่างๆ และ nucleic acid เป็นต้น

5) เส้นใย ถั่วเหลืองเป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่ดี เปลือกถั่วเหลืองจะมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด 87 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยอาหารจะประกอบด้วยเซลลูโลส 40-53 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 14-33 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ สำหรับถั่วเหลืองทั้งเมล็ดจะมีใยอาหาร 20-30 เปอร์เซ็นต์ เป็นปริมาณที่สูง เมื่อเทียบเท่ากับผักผลไม้ เส้นใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านของการป้องกันและบรรเทาโรคต่างๆ เช่น ท้องผูก ผนังลำไส้โป่งพอง ช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดของโรคเบาหวาน และโรคมะเร็ง โดยไม่มีผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุ

ประโยชน์ของเส้นใยอาหารที่มีต่อสุขภาพของร่างกาย

1. การเสริมสร้างและปรับปรุงระบบการทำงานของลำไส้ในส่วนของการย่อย การดูดซึมและการขับถ่าย
2. การป้องกันและบำบัดรักษาอาการโรคท้องผูก
3. การปรับสภาพในระบบการทำงานของลำไส้เพื่อให้เหมาะแก่การเจริญ
4. การยับยั้งการดูดซึมความเป็นพิษของสารต่างๆ ในการย่อยและการดูดซึม
5. การต่อต้านพิษของสารพิษชนิดที่ไม่มีการดูดซึม เช่น สีผสมอาหารจำพวก Organic Synthetic Color
6. การป้องกันการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่
7. การส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย
8. การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด
9. การยับยั้งการขับฮอร์โมนอินซูลิน
10. การป้องกันการเกิดก้อนนิ่ว
11. การป้องกันการเกิดโรคอ้วน
12. การควบคุมความดันโลหิต

6) วิตามิน ถั่วเหลืองเป็นแหล่งวิตามินแหล่งหนึ่งของอาหาร วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน มีปริมาณวิตามินบีรวมค่อนข้างสูง ถั่วเหลืองมีปริมาณของ β-carotene อยู่ที่ 2-7 ไมโครกรัมต่อกรัม วิตามินจะมีปริมาณลดลงเมื่อถั่วเหลืองแก่ 0.2-2.4 มิลลิกรัมต่อกรัม เนื่องจากแคโรทีนจะถูกเอนไซม์ลิพอกซิเดสออกซิไดซ์จนเปลี่ยนสภาพ ส่วนวิตามินซีและวิตามินดีจะพบปริมาณที่น้อยมากในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองและวิตามินอีจะพบในน้ำมันถั่วเหลือง ปริมาณ 1.4 ไมโครกรัมต่อกรัม ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักต่างๆ เช่น เต้าเจี้ยว, เทมเป้ จะมีสาร Antioxidant เกิดขึ้น เช่น Daidzein,7,1 dihydroxyflavone,

Genistein, 5,7,4Trihydihydroxyflavone,Factor2,6,7,4Trihydihydroxy flavone ซึ่งจะเป็นตัวป้องกันการเปลี่ยนแปลงของวิตามินอีในผลิตภัณฑ์และในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองจะต้องผ่านการให้ความร้อนสูงจะทำให้วิตามินโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายได้ในน้ำลดลงน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง จะเห็นว่าถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงมีบทบาททางโภชนาการมาก แต่ถั่วเหลืองมีโปรตีนที่มีคุณภาพไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมี methionine และ cysteine น้อย แต่มี lysine สูง ดังนั้นถ้าบริโภคถั่วเหลืองรวมกับอาหารอื่นที่มี lysine ต่ำ แต่มี methionine และ cysteine สูง ซึ่งจะทำให้ร่างกายได้รับโปรตีนครบถ้วน

2.2.3 กลิ่นถั่ว

กลิ่นถั่วเป็นสารพวก organoleptic โดยกลิ่นถั่วมักพบละลายอยู่ในไขมัน เนื่องจากเอนไซม์ lipoxidase (linoleate : oxygen oxidoreductase EC 1.13.11.12) ที่สร้างขึ้นในตระกูลของถั่ว (legumes) โดย lipoxygenase เริ่มทำให้เกิดกระบวนการรวมตัวของออกซิเจนและไขมันได้ hydroperoxide เกิดภายในเซลล์พืชและแพร่กระจายออกมาด้านนอก Lipoxygenase ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลง essential fatty acid โดยการย่อยสลายไขมันจาก hydroperoxide กลายเป็นสารรสขมหรือมีกลิ่นถั่ว นอกจากนี้สาร hydroperoxide ยังสามารถทำลายวิตามินและคลอโรฟิลล์ได้

2.2.4 สารต้านโภชนาการในถั่วเหลือง

2.2.4.1 Isoflavonoids และ Isoflavonoes

สารกลุ่มนี้มีคุณสมบัติเหมือนฮอร์โมนเพศหญิง เรียกว่า ไฟโตเอสโตเจน ซึ่งจะมีอยู่ 2 ตัวหลักๆ คือ เจนีสทีนและไดเซน จะช่วยในการต้านมะเร็ง โรคหัวใจ โรคกระดูกพรุน และยังสามารถป้องกันอาการที่เกิดในหญิงหมดประจำเดือน

2.2.4.2 Trypsin Inhibitor

เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งในถั่วเหลือง ทำหน้าที่ป้องกันเมล็ดจากแมลง จัดเป็นสารต้านการดูดซึมโปรตีนของร่างกายโดยจับกับน้ำย่อย Trypsin ทำให้โปรตีนไม่ถูกย่อย แต่เพื่อให้ถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาการสูงสุด โดยปกติจะกำจัดสารนี้ด้วยความร้อน และได้พบว่า Trypsin Inhibitor มีคุณสมบัติในการต้านมะเร็ง

2.2.4.3 Phytic acid

เป็นองค์ประกอบปกติของถั่วเมล็ดแห้ง ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ Phytate หรือจับกับโปรตีน Phytate ถูกสร้างและสะสมในถั่วเหลือง ขณะที่มีการเจริญเป็นถั่วแก่ เพื่อใช้เป็นแหล่งฟอสเฟสในการสร้างพลังงานระหว่างเมล็ดงอก Phytic acid สามารถจับกับแร่ธาตุได้หลายชนิด เช่น แคลเซียม เหล็ก สังกะสี แมกนีเซียม ดังนั้นเป็นสารขัดขวางการดูดซึมแร่ธาตุและถ้า Phytic acid จับอยู่กับโปรตีนจะทำให้กระบวนการของการย่อยและการดูดซึมของโปรตีนน้อยลดลง แต่พบว่า Phytic acid มีคุณสมบัติเป็นสารต้านมะเร็ง (http:// www.research-system.siam.edu/images/researchin/Developmen.../08_%202.pdf)

2.2.5 ประโยชน์ของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นพืชสารพัดประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่การใช้ประโยชน์เป็นอาหาร ทั้งนี้เพราะจัดเป็นพืชที่มีเมล็ดที่อุดมไปด้วยโปรตีนและน้ำมัน ซึ่งประโยชน์ของถั่วเหลืองมีดังนี้

2.2.5.1 ใช้เป็นอาหาร

เมื่อเมล็ดเจริญแล้วแต่ยังไม่แก่หรือสุกเต็มที่ก็อาจต้มรับประทานเรียกว่าถั่วแระ ถั่วบางพันธุ์มีเมล็ดโตใช้ปรุงบริโภคเป็นถั่วเหลืองฝักสด หรือบรรจุกระป๋อง เมื่อเมล็ดสุกแล้วก็ใช้ทำถั่วงอกซึ่งลักษณะของต้นถั่วงอกจะคล้ายถั่วเขียว หรืออาจใช้ทำเต้าเจี้ยว เต้าหู้ ซีอิ๊ว นมถั่วเหลือง หรืออาจผลิตปรับปรุงให้เป็นเนื้อคล้ายเนื้อสัตว์ซึ่งเรียกว่า เนื้อเทียม โดยอาจทำให้มีลักษณะเป็นเนื้อไก่ วัว ไก่งวง แฮม เบคอน ฯลฯ ซึ่งอาจใช้เป็นอาหารมังสวิรัติ หรือกลุ่มคนที่ไม่บริโภคเนื้อหรือหมู ในปัจจุบันได้มีการบริโภคเนื้อดังกล่าวนี้กันบ้างแล้วในสหรัฐ-อเมริกา นอกนั้นแป้งถั่วเหลืองใช้ผสมหรือปรุงอาหารได้หลายชนิด เช่น ทำขนมต่างๆ อาหารทารก ฯลฯ น้ำมันซึ่งสกัดจากถั่วเหลืองใช้ในการปรุงอาหาร ทำมาการีน น้ำสลัด ฯลฯ

2.2.5.2 ใช้ในทางอุตสาหกรรม

ใช้ผลิตกาว ส่วนผสมยาฆ่าแมลง สี ปุ๋ย วิตามิน ยาต่างๆ กระดาษ ผ้า ฉนวนไฟฟ้า หมึกพิมพ์ สบู่ เครื่องสำอาง เบียร์ เส้นใย ฯลฯ ซึ่งอาจเป็นส่วนสำคัญของผลิตภัณฑ์หรือเป็นส่วนช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติดีขึ้น

2.2.5.3 ใช้ทำปุ๋ยหรือบำรุงดิน

ถั่วเหลืองและถั่วอื่น ๆ จัดเป็นพืชบำรุงดิน เมื่อไถกลบถั่วเหลืองลงไปในดินก่อนที่ถั่วเหลืองจะแก่ ก็จะเป็นปุ๋ยพืชสดบำรุงดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และมีคุณสมบัติดีขึ้น รากของถั่วเหลืองมักมีปมซึ่งเป็นที่อาศัยของเชื้อแบคทีเรียไรโซเบียม (*Rizobium japonicum*) แบคทีเรียนี้จะดูดตรึงไนโตรเจนให้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้เป็นปุ๋ยได้เรียกว่า ปม เมื่อเก็บถั่วแล้วรากและปมนี้จะขาดตกค้างอยู่ในดิน ไนโตรเจนที่ดูดตรึงไว้จะกลายเป็นปุ๋ยของพืชอื่นต่อไป (ธีระ, 2554)

2.3 ถั่วขาว (บุศรินทร์, 2559)

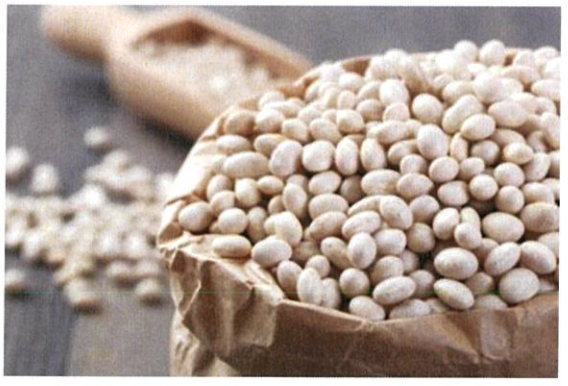
ถั่วขาว (*Phaseolus vulgaris*) เป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่เจริญเติบโตได้ดีในที่สูง 800-1,500 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลและมีอากาศเย็น 18-24 องศาเซลเซียส ในประเทศไทยเริ่มมีการปลูกถั่วขาวในโครงการวิจัยและพัฒนาถั่วที่สูง โครงการหลวงตั้งแต่ปี พ.ศ.2541 ถั่วขาวมีศักยภาพในการนำมาเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ขนมอบเพราะอุดมไปด้วยสารอาหารที่ให้พลังงาน เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และมีสารอาหารที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่มากมาย เช่น วิตามิน แร่ธาตุ สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ซึ่งช่วยลดพลังงานที่มาจากคาร์โบไฮเดรต กากใยอาหารช่วยระบบขับถ่าย และยังมีสารต่างๆ ที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อภาวะคอเลสเตอรอลสูงและโรคเบาหวาน เป็นต้น ทั้งนี้การใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งสาลีบางส่วนทำให้ขนมอบยังคงลักษณะที่ต้องการ แต่ให้พลังงานลดลงได้ อย่างไรก็ตามการนำถั่วขาวมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในเชิงสุขภาพยังไม่ได้รับความนิยมมากนักในประเทศไทย ทั้งนี้เพราะประชากรไทยรับประทานข้าวเป็นแหล่งพลังงานหลักและผลิตภัณฑ์ขนมอบเป็นเพียงอาหารว่าง

2.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วขาว

ร่ายกายของมนุษย์ต้องการพลังงานในการทำกิจกรรมต่างๆ โดยเฉลี่ย 2,000 กิโลแคลอรี่ต่อวัน โดยพลังงานมาจากสารอาหาร 3 ชนิดคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน หากเปรียบเทียบการบริโภคถั่วขาวต้มสุกกับการบริโภคขนมปังขาวซึ่งเป็นแหล่งอาหารสำคัญแหล่งหนึ่งในปริมาณ 100 กรัม เท่ากัน พบว่าถั่วขาวให้พลังงาน 142 กิโลแคลอรี่ ซึ่งมาจากคาร์โบไฮเดรต 74 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 22 เปอร์เซ็นต์และไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนขนมปังขาวซึ่งทำจากแป้งสาลีเป็นหลัก พบว่าขนมปังขาวให้พลังงาน 266 กิโลแคลอรี่ มีคาร์โบไฮเดรต 78 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 11 เปอร์เซ็นต์และไขมัน 11 เปอร์เซ็นต์ การบริโภคถั่วขาวต้มสุกจึงให้สัดส่วนโปรตีนต่อคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าขนมปังขาว เป็นที่ทราบกันดีว่าพืชตระกูลถั่วมีคาร์โบไฮเดรตให้พลังงาน ทั้งยังเป็นแหล่งโปรตีนที่มีราคาถูก หาได้ง่าย โปรตีนจากพืชตระกูลถั่วยังมีศักยภาพที่ทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ในประเทศที่ขาดแคลนเนื้อสัตว์ได้อีกด้วย

2.3.2 สารสกัดที่ได้จากเมล็ดถั่วขาว

การนำเมล็ดถั่วขาวมาสกัดด้วยน้ำพบ สารฟาซิโอลามิน (Phaseolamin) ในส่วนของโปรตีน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (alpha-amylase) ซึ่งมีหน้าที่ย่อยแป้งดิบและแป้งสุกในลำไส้เล็ก ทำให้อาหารประเภทแป้งที่บริโภคเข้าไปไม่เปลี่ยนสภาพเป็นน้ำตาลทั้งหมด โดยสารฟาซิโอลามินในถั่วขาว มีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการย่อยแป้งเป็นน้ำตาลถึง 66 เปอร์เซ็นต์ แป้งที่บริโภคเข้าไปจึงไม่ถูกดูดซึมสู่ร่างกายทั้งหมด การสะสมของไขมันที่เกิดจาก การเปลี่ยนรูปของน้ำตาลจึงลดลงด้วย



รูปที่ 2.4 เมล็ดถั่วขาว (White kidney's beans)
ที่มา : http://www.disthai.com (สืบค้นวันที่ 21 มกราคม 2561)

2.3.3 ประโยชน์และสรรพคุณของถั่วขาว

ถั่วขาวมีคุณค่าทางโภชนาการอาหารที่จำเป็น เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน มีกากและเส้นใยอาหารและมีสารช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ทำให้ลดการสะสมแป้งในร่างกาย การใช้ประโยชน์ของถั่วขาว ได้นำมาแปรรูปทางด้านอุตสาหกรรมและอาหารพร้อมบริโภคต่างๆ หลากหลาย เช่น ถั่วขาวในกาแฟและโกโก้ ซุปครีมถั่วขาว ถั่วขาวผสมคอลลาเจน ถั่วขาวในซอสมะเขือเทศ หรือจะเป็นเมล็ดแห้งก็พบเช่นกัน ในประเทศกัวเตมาลา มีการวิเคราะห์ cooked bean พบว่ามีโปรตีน 24.9 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.7 เปอร์เซ็นต์ และเส้นใยอาหาร 2.8 เปอร์เซ็นต์ คุณสมบัติที่

นิยมและโดดเด่นที่สุดสำหรับถั่วขาวสกัด คือการเป็นอาหารเสริมลดน้ำหนักที่มีประสิทธิภาพ ถั่วขาวขึ้นชื่อว่าเป็น ตัวบลอคแป้ง (Starch Blocker) มีจุดเด่นในการช่วยให้ร่างกายลดการดูดซึมสารอาหารประเภทแป้งได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงส่งผลให้แป้งถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลและถูกเก็บเป็นไขมันน้อยลง เมื่อร่างกายไม่ได้รับพลังงานจากแป้ง ทำให้ขาดพลังงานได้ ร่างกายจึงเข้าไปดึงไขมันที่สะสมอยู่มาเผาผลาญเปลี่ยนเป็นพลังงานแทน จึงทำให้ไขมันสะสมในร่างกายของเราลดน้อยลง ธรรมชาติของร่ายกาย เมื่อรับประทานอาหารจำพวก แป้ง ข้าว เข้าไป ร่างกายจะหลั่ง สาร L-amylase มาย่อยคาร์โบไฮเดรต ให้เป็นหน่วยโมเลกุลเล็กๆ คือ น้ำตาลกลูโคส จากนั้นร่างกายจะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นพลังงาน (Energy) เพื่อนำมาใช้ในกิจกรรมของร่างกายหากรับประทานแป้งมากเกินไปเสมือนหนึ่งมีน้ำตาลกลูโคส มากเกินความต้องการของร่างกาย น้ำตาลกลูโคสส่วนเกินจะไปเป็นไขมันสะสมใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองของร่างกายต่อไป ไขมันสะสมทำให้อ้วนและน้ำหนักมาก

2.3.4 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของถั่วขาว

2.3.4.1 คุณสมบัติเชิงหน้าที่จากสารฟาซิโอลามีนในการควบคุมน้ำหนัก

คุณสมบัติที่โดดเด่นที่สุดของถั่วขาว คือ ช่วยควบคุมน้ำหนักโดยการยับยั้งการย่อยคาร์โบไฮเดรต เกิดขึ้นจากกลไกการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส โดยสารประกอบโปรตีนชื่อ ฟาซิโอลามีน ทำให้เกิดสภาพความเป็นกรด-ด่างไม่เหมาะกับการทำงานของเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส จากค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 6.6-7.6 เป็น 5.5 เอนไซม์นี้ทำหน้าที่ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลซึ่งถูกดูดซึมที่ผนังลำไส้เล็ก น้ำตาลจะถูกส่งไปที่ตับเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานต่อไป น้ำตาลส่วนที่ไม่ถูกใช้จะเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนสะสมอยู่ในตับหรือไขมันสะสมตามส่วนต่างๆของร่างกาย หากเอนไซม์อัลฟาอะไมเลสถูกยับยั้ง แป้งจะไม่ถูกย่อยและดูดซึมที่ผนังลำไส้เล็ก แต่จะคงสภาพเดิมเคลื่อนที่เข้าสู่ลำไส้ใหญ่ เป็นกากใยและถูกขับถ่ายจากร่างกายไปในที่สุด การวิเคราะห์ปริมาณของสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อัลฟาอะไมเลสในพืชตระกูลถั่ว (Phaseolus vulgaris) พบว่าถั่วขาวมีปริมาณของสารยับยั้งนี้สูงที่สุด รองลงมาคือถั่วแดงและถั่วดำ ตามลำดับ

2.3.4.2 คุณสมบัติเชิงหน้าที่จากกากใยอาหาร

กากใยอาหารคือส่วนของเส้นใยจากพืชที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ จึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ มีส่วนช่วยในระบบขับถ่าย ช่วยป้องกันการเกิดโรคทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังมีความเชื่อมโยงระหว่างการรับประทานอาหารที่มีกากใยสูง ช่วยในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลและป้องกันภาวะไขมันในเลือดสูง การลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด การลดความเสี่ยงการเกิดโรคความดันโลหิตสูง อาหารที่มีกากใยสูงมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำ เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานอีกด้วย

1) คุณสมบัติเชิงหน้าที่จากกากใยอาหารในการป้องกันโรคทางเดินอาหาร

กากใยอาหารสามารถป้องกันโรคระบบทางเดินอาหารต่างๆ เช่น โรคกรดไหลย้อน โรคแผลในลำไส้เล็ก โรคถุงผนังลำไส้ใหญ่ อาการท้องผูก และโรคริดสีดวงทวาร เป็นต้น มีหลักฐานทางการแพทย์อย่างมากมายที่แสดงให้เห็นว่า ผู้ป่วยโรคทางเดินอาหารส่วนใหญ่มักรับประทานกากใยอาหารไม่เพียงพอ พืชตระกูลถั่วจัดว่าเป็นพืชที่มีกากใยสูง ผลการวิเคราะห์ปริมาณกากใยพบว่า ตัวอย่างพืชตระกูลถั่วมีกากใยอาหารทั้งหมดตั้งแต่ 10-24 เปอร์เซ็นต์ โดยถั่วขาวมีกากใย 18-21 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นกับกรรมวิธีในการแปรรูป ถั่วขาวจึงมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ช่วยป้องกันโรคทางเดินอาหารได้

2) คุณสมบัติเชิงหน้าที่จากกากใยอาหารในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลและป้องกันภาวะไขมันในเลือดสูง คอเลสเตอรอล คือ ลิพิดหรือไขมันชนิดหนึ่ง เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ และสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ฮอร์โมน คอเลสเตอรอลเคลื่อนที่ในกระแสเลือดโดยมีโปรตีนเป็นตัวพาในรูปลิโพโปรตีน ซึ่งมี 2 ชนิด คือ

2.1 ลิโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง เป็นไขมันดี ป้องกันการสะสมของไขมันไม่ดีในเส้นเลือด การรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ เช่น อาหารที่มีใยอาหารสูง และการออกกำลังกายจะช่วยเพิ่มปริมาณของ HDL ได้

2.2 ลิโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ เป็นไขมันไม่ดี ทำให้ไขมันสะสมและอุดตันในเส้นเลือด ก่อให้เกิดโรคหลอดเลือดหัวใจและเสียชีวิตได้ การบริโภคอาหารประเภทไขมันจากสัตว์ เนย ชีส ไอศกรีม ทำให้ปริมาณ LDL เพิ่มขึ้น ส่วนการบริโภคกากใยอาหารช่วยลด LDL ได้

3) คุณสมบัติเชิงหน้าที่จากกากใยอาหารในการลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด การรับประทานกากใยอาหารปริมาณมากอย่างต่อเนื่องสามารถลดความเสี่ยงในการเป็นโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด โรคอัมพาต โรคหลอดเลือดส่วนปลาย อันเป็นผลมาจากกากใยอาหารทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลและไขมันในเลือดอยู่ในภาวะปกติ การรับประทานถั่วขาวซึ่งมีกากใยอาหารสามารถช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้

4) คุณสมบัติเชิงหน้าที่จากกากใยอาหารในการลดความเสี่ยงการเกิดโรคความดันโลหิตสูง โรคความดันโลหิตสูงส่งผลให้เกิดโรคต่อเนื่องต่างๆ เช่น โรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด อัมพาต ภาวะหัวใจล้มเหลว ไตวาย โรคหลอดเลือดส่วนปลาย อย่างไรก็ตามยังไม่มีหลักฐานที่ชัดเจนว่าการบริโภคกากใยอาหารสามารถป้องกันโรคความดันโลหิตสูงได้ เป็นเพียงข้อสังเกตว่าประชากรที่รับประทานกากใยอาหารมาก มีดัชนีมวลกายต่ำ ไขมันในเลือดปกติ รวมถึงความดันโลหิตปกติด้วย

5) คุณสมบัติเชิงหน้าที่จากกากใยอาหารในการลดดัชนีไกลซีมิก (Glycemic index) ดัชนีไกลซีมิกเป็นค่าที่บ่งบอกการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อบริโภคอาหารชนิดหนึ่ง มีค่า 0-100 เป็นค่าเปรียบเทียบกับอาหารอ้างอิง โดยทั่วไปคือ น้ำตาลกลูโคส หรือขนมปังขาว ซึ่งมีค่าดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 100 ผู้ป่วยโรคเบาหวานไม่ควรรับประทานอาหารที่มีดัชนีไกลซีมิกปานกลาง (56-69) และสูง (70-100) เช่น พาสต้า ข้าวเมล็ดสั้น มันฝรั่ง ไอศกรีม และผลไม้ที่มีรสหวาน เป็นต้น เพราะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นและต่ำลงอย่างรวดเร็ว ความผันผวนของระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และความอ่อนล้า ผู้ป่วยโรคเบาหวานจึงควรเลือกรับประทานอาหารที่มีดัชนีไกลซีมิกต่ำ (0-55) เช่น ถั่วชนิดต่างๆ เมล็ดธัญพืช ผัก โยเกิร์ตไขมันต่ำและไม่มีรสหวาน เกรฟฟรุต แอปเปิ้ล และมะเขือเทศ เป็นต้น ถั่วขาวมีดัชนีไกลซีมิกเท่ากับ 31 การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากถั่วขาวในการลดดัชนีไกลซีมิกของขนมปังขาวเมื่อบริโภคร่วมกันพบว่า ผงสารสกัดจากถั่วขาว 3,000 มิลลิกรัม ผสมกับเนย และทาลงบนขนมปังเป็นปริมาณที่มากพอที่จะทำให้ค่าดัชนีไกลซีมิกลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.3.4.3 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลของสารที่ไม่เสถียรและว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำลายเซลล์ของร่างกาย ทำให้เซลล์แก่ ถูกทำลายและมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งซึ่งเป็นโรคเรื้อรังชนิดไม่ติดต่อ อนุมูลอิสระเกิดขึ้นตลอดเวลาในร่างกายจากกระบวนการหายใจและระบบภูมิคุ้มกัน สิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในปัจจุบันยังกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระ เช่น รังสียูวีจากแสงแดด มลพิษในอากาศ และการรับประทานอาหารที่ไม่เหมาะสม เช่น อาหารที่ทอด ปิ้ง ย่างจนไหม้เกรียมเป็นสีดำ อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาลูกโซ่จากอนุมูลอิสระสามารถยุติได้โดยสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระพบได้ในพืชตระกูลถั่ว เช่น กรดอะมิโนและสารประกอบฟีนอล ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระที่ทำลายเซลล์ของร่างกาย การบริโภคถั่วขาวซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระจึงช่วยยับยั้งปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งได้

2.3.4.4 คุณสมบัติเชิงหน้าที่จากวิตามินและแร่ธาตุ

การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของถั่วขาวบรรจุกระป๋องในหนึ่งหน่วยบริโภค 262 กรัม และเทียบกับปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai Recommended Daily Intakes -THAI RDI) พบว่าถั่วขาวมีวิตามินที่มีเปอร์เซ็นต์ของสารอาหารที่มากที่สุดคือ โฟเลต (Folate) ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ โฟเลตหรือวิตามิน บี 9 เป็นส่วนสำคัญในการสร้างสารพันธุกรรม ซึ่งสำคัญมากสำหรับทารกและเด็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับหญิงตั้งครรภ์ หากได้รับโฟเลตไม่เพียงพอจะส่งผลต่อระบบประสาทของทารกในครรภ์ ทำให้มีไขสันหลังและสมองที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนวิตามินที่พบรองลงมาคือ วิตามินอี 21 เปอร์เซ็นต์ และไทอามีน 20 เปอร์เซ็นต์ วิตามินอีทำหน้าที่ในการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดง อาการของการขาดวิตามินอีคือกล้ามเนื้ออ่อนแรง สูญเสียมวลกล้ามเนื้อ การเคลื่อนไหวของลูกตาผิดปกติ มีปัญหาในการมองเห็นและเดินไม่ตรง ส่วนไทอามีนหรือวิตามินบี 1 ช่วยป้องกันอาการเหน็บชา อาจเรียกได้ว่าเป็นวิตามินต่อต้านความเครียด เนื่องจากไทอามีนช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ทำให้ร่างกายต้านทานความเครียดได้ดีขึ้น แร่ธาตุที่พบมากในถั่วขาว 3 อันดับแรกคือ เหล็ก แมกนีเซียม และแมงกานีส ธาตุเหล็ก 52 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของเม็ดเลือดแดง ซึ่งช่วยลำเลียงออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย หากได้รับธาตุเหล็กไม่เพียงพอจะทำให้เกิดโรคโลหิตจาง มีลักษณะที่ชัดเจนคือ ตัวซีดและเหนื่อยง่าย เนื่องจากออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายไม่เพียงพอ ส่วนแมกนีเซียม 38.3 เปอร์เซ็นต์ เป็นแร่ธาตุที่สำคัญในการทำงานของร่างกาย มีส่วนช่วยในการสร้างกระดูกและฟัน แมงกานีส 37.1 เปอร์เซ็นต์ ช่วยให้ร่างกายสร้างเนื้อเยื่อและกระดูกต่างๆ รวมถึงฮอร์โมนเพศ ทั้งยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กำจัดสารอนุมูลอิสระ จึงช่วยป้องกันการเสื่อมของเซลล์ในร่างกาย โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง

2.4 สารต้านอนุมูลอิสระ (เจนจิราและประสงค์, 2554)

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) มีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซ์อนุมูลอิสระหรือสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยในสิ่งมีชีวิตจะมีระบบการป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระ ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระมากมายหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่เป็นเอนไซม์ สารประกอบที่ละลายในน้ำและสารประกอบที่ละลายในไขมัน โดยสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีกลไกการต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับอนุมูล

อิสระ การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ เสริมฤทธิ์และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibition) ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ เป็นต้น ตัวอย่างการดักจับอนุมูลอิสระแสดงดังสมการ 1 และ 2

$$R^{\bullet} + AH \longrightarrow RH + A^{\bullet} \qquad \text{(สมการ 1)}$$

$$RO^{\bullet} + AH \longrightarrow ROH + A^{\bullet} \qquad \text{(สมการ 2)}$$

โดย $R^{\bullet}$ และ $RO^{\bullet}$ คือ อนุมูลอิสระ และ AH คือ สารต้านอนุมูลอิสระ

2.4.1 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ

แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระมี 2 แหล่ง ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (natural antioxidants) และสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidants) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์เกิดโดยกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ propylgallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylate hydroxyanisole, BHT (butylated hydroxytoluene) และ tertiary butylhydroquinone สารสังเคราะห์ ดังกล่าวนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่ทำให้อาหารมีกลิ่น สีและรสชาติเปลี่ยนแปลงไป สารสังเคราะห์มีสภาพคงตัวมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดในด้านความปลอดภัยในการบริโภค ในขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาตินั้นสามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นได้ทั้งเอนไซม์ วิตามินและสารอื่นๆ ตัวอย่างของสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นวิตามิน เช่น vitamin C (เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ไซโตพลาสซึม) vitamin E (เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เมมเบรน) และ glutathione (เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระที่ไซโตพลาสซึมและเมมเบรน) ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ glutathione peroxidase (GPX), glutathione reductase และ glutathione transferase ซึ่งทำหน้าที่ทำให้โมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นออกซิเจนและน้ำ ส่วนเอนไซม์ superoxid dismutase (SOD) สามารถเปลี่ยน $O_2^{\bullet}$ เป็น H_2O_2 สารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ ได้แก่ ubiquinones และ carotenoids เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันอนุมูลอิสระออกซิเจนทั้งภายในและภายนอกเซลล์

ในสภาวะร่างกายที่ปกติของคนจะมีการปองกันการสะสมสารอนุมูลอิสระ โดยการสรางเอนไซมตานอนุมูลอิสระขึ้นมา เพื่อควบคุมปริมาณสารอนุมูลอิสระใหอยูในภาวะสมดุลและอีกสวนไดจากสารตานอนุมูลอิสระที่รางกายรับประทานเขาไป จำพวกวิตามิน เบตาแคโรทีน และแคโรทีนอยด รวมทั้งสารประกอบโพลีฟนอลซึ่งสารดังกลาวไดจากพืชผักและผลไม ตัวอยางอาหารที่มีเบตาแคโรทีนสูง ไดแก ผักใบเขียวเชน ตำลึงและผักบุง อาหารที่มีสีเหลือง เชน แครอท มะละกอสุก มะมวงสุก มะเขือเทศ ฟกทอง อาหารที่มีวิตามินซี (vitamin C หรือ ascorbic acid) สูง ไดแก พืช ผักสีเขียวและผลไมรสเปรี้ยว เชน ตำลึง ผักบุง พริกหยวก ฝรั่ง มะขามปอม ส้ม มะนาว สับปะรด (วิตามินซีจากพืชผักดังกลาวมีฤทธิ์ตอตานอนุมูลอิสระที่แรงมากและละลายน้ำไดดี) วิตามินอี (vitamin E หรือ tocopherol) ละลายไดดีในน้ำมัน โดยวิตามินอีมีใน น้ำมันจากเมล็ดพืชชนิดตางๆ เชน รำละเอียดในพวกธัญพืชที่ไมขัดขาวขาวโพด ขาวกลอง ถั่วแดง ถั่วเหลือง ผักกาดหอม เมล็ดทานตะวัน งา น้ำมันรำ

2.4.2 ความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ (ปริยานุช, 2551)

อนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเกิดโรค ทั้งเปนตนเหตุของการเกิดโรคและเปนปจจัยทำใหโรคมีการพัฒนาอยางรวดเร็วและมีความรุนแรงยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวกับความเสื่อม ความบกพรองของเซลลประสาท ระบบสื่อประสาทในสมอง และภาวะขาดเลือดของอวัยวะที่สำคัญตอการดำรงชีวิตคือ หัวใจและสมอง นอกจากนี้ยังเกี่ยวของกับกระบวนการอักเสบ อนุมูลอิสระมีความไวสูงไมคงตัว เนื่องจากมีอิเล็กตรอนเดี่ยวไรคู ดังนั้นจึงพยายามหาอิเล็กตรอนมาจับคู ทำใหมีความคงตัวขึ้นเปาหมายแรกที่อนุมูลอิสระทำใหเกิดความเสียหายและเปนสาเหตุของการเกิดโรค คือ ชีวโมเลกุลที่สำคัญในรางกายที่ไวตอการถูกออกซิไดส ไดแก โปรตีนที่เปนองคประกอบของเอนไซมรีเซพเตอร ลิพิดฟิเปนองคประกอบของเมมเบรน ลิพิดโปรตีน สารสื่อประสาท ดีเอ็นเอ และดีเอ็นเอเปนชีวโมเลกุลที่ถูกอนุมูลอิสระ ทำใหเกิดความเสียหายเนื่องจากชีวโมเลกุลเหลานี้มีอิเล็กตรอนหรืออะตอมไฮโดรเจนที่หลุดออกไดงาย ทำใหเกิดอนุมูลอิสระเขาไปทำปฏิกิริยาโดยการเขาไปจับคูกับอิเล็กตรอนของชีวโมเลกุลหรือดึงอิเล็กตรอนหรืออะตอมไฮโดรเจนออก จากชีวโมเลกุลนั้นๆ กลาวคือ ชีวโมเลกุลคือ ลิพิดโปรตีนและดีเอ็นเอ ถูกออกซิไดส์โดยอนุมูลอิสระ เหตุการณ์เหลานี้ทำใหคุณสมบัติและการทำงานของชีวโมเลกุลเปลี่ยนไป เกิดความบกพรองหรือถูกทำลาย

2.5 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) (ปริยานุช, 2551)

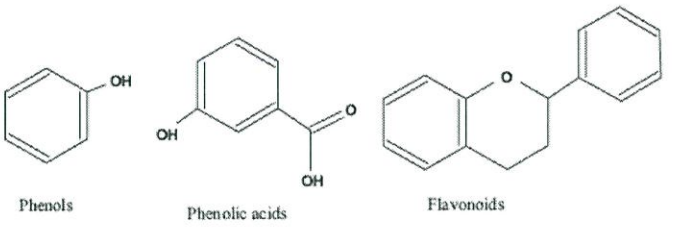
สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารพฤกษเคมีที่พบได้ทั่วไปในพืชหลายชนิด ปัจจุบันได้รับความสนใจมากขึ้นเนื่องจากสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเจ็บป่วยและการเกิดโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ ซึ่งมีสาเหตุมาจากภาวะ oxidative stress ภายในร่างกาย นอกจากนั้นยังนำมาใช้กับอาหาร เพื่อเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในการป้องกันการ เสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบไขมันในอาหาร

2.5.1 ลักษณะทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบในกลุ่ม secondary metabolite เป็นอนุพันธ์ของวิถีเพนโตสฟอสเฟตชิกิเมต (pentose phosphate shikimate) และฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoid) ที่พบในพืช ซึ่งบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของพืช รวมทั้งช่วยปกป้องพืชเมื่อเกิดการติดเชื้อหรือถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ และยังมีหน้าที่เกี่ยวกับการเกิดสีและกลิ่นรสในผักผลไม้อีกด้วย โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิกจะพบมากบริเวณผิวชั้นนอกของพืช เช่น เปลือก เพื่อทำหน้าที่ปกป้องสารต่างๆ ที่อยู่ภายใน

โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติกที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ตั้งแต่ 1 หมู่ขึ้นไปมาเกาะอยู่ มีโครงสร้างตั้งแต่โมเลกุล อย่างง่ายไปจนถึงโครงสร้างที่เป็นโพลีเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ในธรรมชาติสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปอิสระ (free form) จะพบได้เพียงเล็กน้อย โดยส่วนใหญ่จะพบในรูปที่รวมอยู่กับสารประกอบอื่นๆ (bound form) ซึ่งมีทั้งชนิดที่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์และที่อยู่ในรูปที่จับกับสารโพลีเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช โดยมักพบสารประกอบฟีนอลิกรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาล เช่น น้ำตาลกลูโคส (glucose) กาแลกโตส (galactose) แรมโนส (rhamnose) ไซโลส (xylose)

อะราบิโนส (arabinose) และอนุพันธ์ของน้ำตาล เช่น กรดกลูโคโรนิก (glucoronic acid) กรดกาแลกตูโลนิก (galacturonic acid) ในรูปไกลโคไซด์ (glycosides) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกยังอาจรวมกับ สารประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น โพลีแซคคาไรด์ กรดอินทรีย์ ไขมัน ฟีนอลิก และอะมีน



Structures of common phenolic compounds.

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก
ที่มา: พิมพ์เพ็ญและนิธิยา (2561)

2.5.2 สมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกทำหน้าที่เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติ ทั้งในอาหารและระบบของสิ่งมีชีวิต โดยการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบไขมันในอาหารหรือกำจัดอนุมูลอิสระที่มากเกินพออันเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะการเจ็บป่วยต่างๆ ซึ่งการที่สารประกอบฟีนอลิกมีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น เกี่ยวเนื่องกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระมีความคงตัวและมีพลังงานน้อยลงไม่สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น เพื่อเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระต่อไปได้อีก นอกจากนั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังคงสามารถเข้าจับกับอนุมูลอิสระต่อไปได้อีก นอกจากนั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังคงสามารถเข้าจับกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีก ทำให้สามารถลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้

2.5.3 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

(บุหรัน, 2556)

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิกในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ แสงและเอนไซม์ รวมถึงการรวมตัวกับโมเลกุลอื่น

1) ค่าความเป็นกรดด่าง จากหมู่ไฮดรอกซิลในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทต่อสมบัติของการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง จะมีผลทำให้หมู่ไฮดรอกซิลเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงน่าจะมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของ สารประกอบฟีนอลิกด้วยเช่นกัน

2) อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูป มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ และระเหยกลายเป็นไอ เช่น ฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างเป็นแบบ C_6C_3-C_6 ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกัน จะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัวต่อไป โดยวง แหวน B จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอกซิลิกและวงแหวน A จะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอกซีอัลดีไฮด์และจะระเหยไปพร้อมกับน้ำ

3) แสง แสงแดดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เร่งการสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก เช่น หมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 5 ในโมเลกุลของแอนโทไซยานินจะสามารถเรืองแสงและไวต่อการสลายตัวเมื่อโดนแสงแดด นอกจากนี้แสงแดดยังเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อนอีกด้วย

4) เอนไซม์ ในสภาวะที่มีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) อยู่ด้วยจะเร่งการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดให้เกิดเร็วขึ้นได้ แต่อัตราการเร่งปฏิกิริยาจะแตกต่างกันออกไป เช่น เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอิพิคาเทชิน ((-) epicatechin) ได้ดีกว่าคาเทชิน ((+) catechin)

5) การรวมตัวกับโมเลกุลอื่น สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ อัลคาลอยด์และแอนโทไซยานินได้ง่าย ปฏิกิริยาที่เกิดอาจเป็นแบบผันกลับได้หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา เช่น ออกซิเจน ไอออนโลหะ เอนไซม์ และกรด เป็นต้น ซึ่งจะเป็น ตัวการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา เช่น ทำให้สารประกอบในภาวะสมดุลรวมตัวกัน และเกิดตะกอนแยกออกมาหรือเกิดพันธะโควาเลนท์รวมกันเป็นสารใหม่ทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ ปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ทำให้สารประกอบฟีนอลิกสูญเสียสมบัติในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

2.5.4 แหล่งที่พบ

สารประกอบฟีนอล พบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) ในส่วนต่างๆ ของพืช เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ได้แก่

1. ถั่วเมล็ดแห้ง เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง
2. เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว และ งา
3. ผลไม้ เช่น องุ่น ส้ม กระท้อน
4. เครื่องเทศ เช่น พริกไทย พริก ขิง กระเทียม หอมแดง หอมหัวใหญ่
5. พืชเครื่องดื่ม เช่น ชา โกโก้
6. พืชหัว เช่น มันเทศ

ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอลที่พบตามธรรมชาติในพืช

1. จินเจอรอล (gingerol) พบในขิง
2. ยูจินอล (eugenol) พบในกานพลู ตะไคร้ ใบกระเพรา
3. แคปไซซิน (capsaicin) พบในพริก
4. เคอร์คูมิน (curcumin) พบในขมิ้น
5. แคทีชิน (catechin) พบในชา

สารประกอบฟีนอล ประเภทสารสังเคราะห์ ได้แก่

1. BHT (Butylated hydroxytoluene)
2. BHA (Butylated hydroxyanisole)
3. TBHQ (Tertiary butyl hydro quinone)

2.5.5 สรรพคุณของสารประกอบฟีนอล

1) ประโยชน์ต่อสุขภาพ สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagrns) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอล จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical)

2) ใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation)

2.6 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (diphenylpicryhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay) (บุหรัน,2556)

เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระในที่นี้ก็คืออนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH• , diphenyl-picryhydrazyl radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วงสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดโดยใช้เครื่องสเปกโตโฟโตรมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เมื่อ DPPH• ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายด้วยเอทานอล (สารให้อิเล็กตรอน) จะทำให้สีม่วงจางลง จนเป็นสีเหลือง ดังสมการที่ 3 ซึ่งก่อนนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงต้องตั้งทิ้งไว้ที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถหาการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้ การคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูตรคำนวณได้จาก นำค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงเมื่อใส่ตัวอย่างเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น (ก่อนใส่สารตัวอย่าง) ดังนี้

$$DPPH\bullet + AH \longrightarrow DPPH\text{-}H + A\bullet \quad \text{(สมการ 3)}$$

$$\text{DPPH radical scavenging (\%)} = [(A_0\text{-}A_s)/A0] \times 100$$

โดย A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น และ A_s = ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากเติมสารตัวอย่าง

สารมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คือ โทรล็อกซ์ (trolox, 6-hydroxy2,5,7,8 tetramethylchlorman-2-carboxylic acid) แสดงค่าเป็น TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) มีหน่วยเป็น mM/mg หรือ μM/mg ข้อดีของวิธีนี้คือง่าย สะดวกและรวดเร็ว ส่วนข้อเสียคือ DPPH• ค่อนข้างเสถียรไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจริง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้า ทำให้ค่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง และต้องวัดในปฏิกิริยาที่เป็นแอลกอฮอล์ซึ่งจะทำให้โปรตีนตกตะกอนจึงไม่สามารถวิเคราะห์ในตัวอย่างที่เป็นเลือดได้ อีกทั้งสารปนเปื้อนและโลหะจะรบกวนซึ่งสามารถเป็นตัวรีดิวซ์แล้วทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH จางลงได้เช่นกัน

2.7 บิสกิต (Biscuit)

บิสกิตเป็นขนมอบที่จัดอยู่ในประเภทควิกเบรด (Quick Bread) ซึ่งได้แก่ ขนมอบที่ไม่มีส่วนประกอบของยีสต์ ไม่มีขั้นตอนของการพักแป้งเหมือนขนมปังที่มียีสต์ บิสกิตมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มและร่วนอันเป็นลักษณะเฉพาะตัว บิสกิตมีหน้าตาและเนื้อสัมผัสคล้ายกับสโคน แต่มีความต่างเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.6 บิสกิตกำเนิดหลังสโคนในอเมริกา มีรสหวานน้อยกว่าสโคนหรือบางสูตรจะไม่มีน้ำตาลเลย นิยมทานคู่กับไก่ทอดและเกรวี (Gravy) มีส่วนผสมของบัตเตอร์มิลค์ (Buttermilk) และมีสัดส่วนไขมันที่มากกว่า โดยมีช็อตเทนนิงเพิ่ม ข้อแตกต่างของเนยและช็อตเทนนิง คือ เนยจะมีไขมัน 80 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือคือน้ำและของแข็ง (Milk Solid) ส่วนช็อตเทนนิง คือ ไขมัน 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นในการทำบิสกิตเราจะใช้ผงฟูคู่กับเบกกิ้งโซดาในการขึ้นฟู ในบางครั้งจะเรียกว่าบัตเตอร์มิลค์บิสกิต (Buttermilk Biscuit) (www.pholfoodmafia.com/mycookingschool/downloads/10SconeBiscuit.pdf)

รูปที่ 2.6 ลักษณะของบิสกิต
ที่มา: https:// http://www.zmonline.com/random-stuff/new-zealands-biscuit-of-the-year-has-been-revealed-and-its-very-controversial/ (สืบค้นวันที่ 21 มกราคม 2561)

2.7.1 **วิธีทำบิสกิต (Biscuit Method)** มีหลักและขั้นตอนดังนี้

1) เนยต้องเย็น ในการทำบิสกิตส่วนผสมของไขมันซึ่งอาจจะเป็นเนยหรือช็อตเทนนิง ในส่วนของเนยก้อนการนำไปใช้ควรตัดเนยเป็นก้อน 1 เซนติเมตร และนำไปแช่ในตู้เย็นให้เย็น จัดการตัดเนย เป็นก้อนเล็กๆ จะช่วยให้เนยแทรกตัวอยู่ในส่วนผสมของแห้งได้ทั่วกว่า เมื่อนำไปอบเนยก้อนเล็กๆเหล่านี้ก็จะละลายและมีไอน้ำออกมา ทำให้บิสกิตพองและยกตัว

2) ร่อนของแห้งและใส่เนย ร่อนส่วนประกอบของแห้งทั้งหมดเข้าด้วยกัน ใส่น้ำตาลทรายตามลงไป การผสมเนยกับของแห้งต้องทำด้วยความระมัดระวังไม่ให้เนยละลาย โดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธี

1. ใช้ที่ตัดแป้ง (Pastry Blender) เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นลวดโลหะ 5-6 เส้น เรียงตัวเป็นลักษณะ ครึ่งวงกลม ติดอยู่กับด้ามจับใช้ตัดให้เนยแทรกตัวเข้าไปอยู่ในส่วนประกอบของแป้ง

2. ใช้เครื่องบดสับ (Food Processor) เครื่องบดสับที่มาพร้อมกับ อุปกรณ์ 2 ใบมีด ใบมีดจะช่วยทำหน้าที่ตัดเนยให้แทรกเข้าไปในตัวแป้งได้อย่างรวดเร็ว การเดินเครื่องจะเป็นไปในลักษณะกดหยุด (Pulse) ไม่เดินเครื่องค้าง ซึ่งอาจจะทำให้เนยละลายเพราะร้อนเกิน

3) ใส่ครีมหรือบัตเตอร์มิลค์ ในกรณีที่ใช้เครื่องบดสับ สามารถใส่ของเหลวลงในเครื่องบดสับและทำการเดินเครื่อง เพื่อผสมหรือถ่ายส่วนผสมออกมาใส่ชามผสมก่อนใส่ครีมหรือบัตเตอร์มิลค์ลงไปก็ได้ จากนั้นใช้พายยางคนแค่พอให้ส่วนผสมกระจายทั่วดี

4) คลึงส่วนผสม นำส่วนผสมเทลงบนโต๊ะที่โรยแป้งนวล (แป้งสาลี) เล็กน้อย ใช้มือคลึงแป้งสัก 8-10 ครั้ง การคลึงแป้งเป็นการทำให้เนื้อสัมผัสผสานกันได้มากขึ้นและเป็นการพัฒนากลูเตนในแป้งเล็กน้อย ซึ่งจะช่วยให้บิสกิตขึ้นตัวเมื่อนำไปอบ แต่ต้องระวังที่จะไม่นวดมากเกินไป

5) รีดแป้ง รีดส่วนผสมให้มีความหนา ¾ นิ้ว ถ้าใช้ไม่คลึงแป้งไม่ถนัด สามารถใช้มือกดแป้งเบาๆได้

6) ตัดแป้ง การขึ้นรูปสามารถทำได้สองรูปแบบ รูปแบบแรกคือ การขึ้นรูปเป็นทรงกลมแบนลักษณะเหมือนเค้ก แล้วใช้มีดหรือที่ตัดแป้งตัดทแยงให้เป็นขึ้นสามเหลี่ยม 8 ขึ้นหรือที่เรียกว่าแบบลิ่ม รูปแบบที่สองซึ่งเป็นแบบที่นิยมมากกว่า คือ การใช้คุกกี้คัทเตอร์วงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จุ่มลงในแป้งสาลี กดและยกขึ้นในลักษณะตรงๆ การจับคัทเตอร์กดลงบนแป้งและบิดหมุนอาจจะทำให้บิสกิตขึ้นตัวไม่ตรง ส่วนประกอบของแป้งที่เหลือ สามารถนำมาใช้ได้โดยการนำแป้งที่เหลือมาคลึงใหม่ อย่างไรก็ตาม แป้งที่นำมาคลึงใหม่นี้จะมีเนื้อสัมผัสที่แน่นขึ้นเล็กน้อย

7) ก่อนอบบิสกิต เราสามารถทำหน้าด้วยครีมหรือเนยเพื่อทำให้ผิวหน้ามีสีที่สวย อบสโคนหรือบิสกิตที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส โปรแกรมไฟล่างไฟบน อบเป็นเวลา 10 นาทีหรือจนสุกดี

2.7.2 ส่วนผสมของบิสกิต

2.7.2.1 แป้งข้าวสาลี (wheat flour)

แป้งสาลีประกอบด้วย แป้งสตาร์ช 70 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 11.4 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 1 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ แร่ธาตุ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1 เปอร์เซ็นต์ และอื่นๆ 2 เปอร์เซ็นต์ แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด ไม่มีแป้งชนิดอื่นใช้แทนแป้งสาลีได้ ทั้งนี้เพราะแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด ที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมคือ กลูเตนินและไกลอะดิน (Glutenin & Gliadin) ซึ่งเมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้องจะทำให้เกิดสารชนิดหนึ่งเรียกว่า "กลูเตน" (gluten) มีลักษณะเป็นยาง เหนียว ยืดหยุ่นได้ กลูเตนนี้จะเป็นตัวเก็บก๊าซไว้ทำให้เกิดโครงร่างที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์ และจะเป็นโครงร่างแบบฟองน้ำ เมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ

1) ชนิดของแป้งสาลี

แป้งสาลีที่ผลิตออกมาขายเพื่อทำการผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้นมี 3 ชนิดคือ แป้งขนมปัง แป้งเค้ก และแป้งอเนกประสงค์ ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและคุณลักษณะ รวมถึงการใช้ประโยชน์ต่างกันดังนี้

1.1 แป้งขนมปัง มีโปรตีนสูง 12-14 เปอร์เซ็นต์ โม่จากข้าวสาลีแบบแข็งพวก Hard Red Winter หรือ Hard Red Spring เป็นข้าวสาลีที่มีเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนสูง ใช้ทำผลิตภัณฑ์พวกขนมปังหวาน ขนมปังจืดและผลิตภัณฑ์ที่ใช้หมักด้วยยีสต์ทุกชนิด ลักษณะของแป้งชนิดนี้คือ คล้ายกรวดหรือหยาบเหมือนทราย มีสีครีม เมื่อกดนิ้วลงไปแป้งจะไม่เกาะตัวกัน แป้งชนิดนี้ใช้ยีสต์เป็นตัวทำให้ขึ้นฟู

1.2 แป้งอเนกประสงค์ มีโปรตีนสูงปานกลาง 10-11 เปอร์เซ็นต์เป็นแป้งที่ได้จากผสมข้าวสาลีชนิดแข็งกับชนิดอ่อนเข้ากับเข้าด้วยกันในสัดส่วนที่เหมาะสมการทำผลิตภัณฑ์หลายๆ ชนิดใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้หลายๆ อย่าง เช่น ขนมปังจืดและหวาน ขนมเค้กบางชนิด ปาท่องโก๋ บะหมี่ เพสตรี ซึ่งใช้ในการนวดแป้งน้อยกว่าขนมปัง ลักษณะของแป้งชนิดนี้จะมีลักษณะของแป้งขนมปังและแป้งเค้กรวมกัน สารที่ทำให้ขึ้นฟูสำหรับแป้งชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งยีสต์และผงฟู

1.3 แป้งเค้ก มีโปรตีน 7-9 เปอร์เซ็นต์ โม่จากข้าวสาลีชนิดอ่อนพวก Soft Wheat และ Soft Red Winter ใช้ทำเค้ก คุกกี้ ลักษณะของแป้งเมื่อถูด้วยนิ้วมือจะรู้สึกอ่อนนุ่มเนียนละเอียด มีสีขาวกว่าแป้ง 2 ชนิดแรก เมื่อกดนิ้วลงไปบนแป้ง แป้งจะเกาะรวมกันเป็นก้อนและคงรอยนิ้วมือไว้ แป้งชนิดนี้ใช้สารเคมีช่วยทำให้ขึ้นฟูเท่านั้น ไม่ใช่ยีสต์ ซึ่งสารเคมี ได้แก่ ผงฟู โซดา

2) หน้าที่ของแป้งสาลีที่มีต่อผลิตภัณฑ์

ส่วนใหญ่แล้วแป้งสาลีเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการช่วยให้เกิดโครงสร้างผลิตภัณฑ์และทำให้ผลิตภัณฑ์คงรูปอยู่ได้เมื่ออบเสร็จ เป็นส่วนผสมหลักที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรีทุกชนิด ถ้าปราศจากแป้งจะไม่สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้เลย เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดก็เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เฉพาะอย่าง

3) สารเสริมคุณภาพแป้งสาลี

ในปัจจุบันหลายประเทศในยุโรปรวมทั้งประเทศไทยได้ออกกฎหมายอาหาร เพื่อยกเลิกการใช้โพแทสเซียมเป็นสารเสริมคุณภาพแป้งสาลี ทำให้บริษัทผู้ผลิตแป้งสาลีต้องเลือกใช้สารออกซิไดส์อื่นแทน เช่น ใช้กรดแอสคอร์บิกในปริมาณ 15-25 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ของแป้งสาลี เพื่อช่วยให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรและเนื้อขนมปังดีขึ้นโดยผสมลงในแป้งก่อนขายให้ช่างทำ

ขนมปัง นอกจากนี้ยังอาจใช้คลอรีนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารออกซิไดส์อย่างอ่อนและเป็นสารฟอกสีแป้งด้วย เพื่อช่วยให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรและเนื้อสัมผัสที่ดี หรือใช้ เบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารฟอกสี จะช่วยให้ได้ขนมปังที่มีเนื้อขนมปังขาวขึ้น โดยผสมลงในแป้งในปริมาณที่เหมาะสมสารเสริมคุณภาพแป้งสาลีอีกชนิดหนึ่งที่โม่แป้งสาลีต้องคำนึงถึงคือ แป้งมอลล์หรือเอนไซม์อะไมเลสจากเชื้อรา โดยใช้อย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพแป้งในการทำขนมปังให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้นและมีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น ถ้าใช้แป้งมอลล์จะใช้ปริมาณ 1800 ส่วนในล้านของแป้ง แต่ใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเช่นกันแต่มีประสิทธิภาพ ในการทนความร้อนได้น้อยกว่าเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจากเชื้อราจึงต้องใช้ในปริมาณมากกว่าซึ่งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจากเชื้อราจึงต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่าซึ่งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสนี้จะช่วยย่อยสลายสตาร์จในขณะหมักเพื่อให้ได้น้ำตาลมอลโทสสำหรับการทำงานของยีสต์ให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอลกอฮอล์อย่างเหมาะสมขณะหมักเพื่อให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรดี

2.7.2.2 เกลือ (Salt)

เกลือเป็นส่วนผสมที่ช่วยเพิ่มรสชาติสำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ส่วนใหญ่ใช้เกลือธรรมดา ซึ่งประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ 99 เปอร์เซ็นต์ เกลือที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ คือ เกลือธรรมดา หมายถึง โซเดียมคลอไรด์ มีผงละเอียด สีขาว เกลือมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ได้แก่ ช่วยเพิ่มรสชาติ ช่วยควบคุมการทำงานของยีสต์ในการหมักช่วยทำให้กลูเตนของโดมีกำลังในการยืดตัว ช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของบักเตรีที่ไม่ต้องการ

2.7.2.3 **สิ่งที่ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู**

การขึ้นฟูเบา มีปริมาตรมากขึ้น ไม่แน่น และมีเนื้อสัมผัสที่น่ารับประทาน ของเบเกอรี่เป็นส่วนสำคัญของการทำเบเกอรี่ทุกชนิด สิ่งที่ช่วยทำให้เบเกอรี่ขึ้นฟูมีหลายวิธี คือ

1) การขึ้นฟูด้วยอากาศ เราสามารถให้อากาศเข้าไปในส่วนผสมได้หลายวิธีด้วยกัน คือ การร่อนแป้งก่อนผสมการตีแป้งกับส่วนผสมอื่นๆ เช่น ผงฟู น้ำ ไขมัน นม น้ำตาลเข้าด้วยกัน การตีเนยน้ำตาล เช่น ในการทำบัตเตอร์เค้ก การห่อพับรีดแป้งสำหรับพัฟเพสตรี้ และเดนิชเพสตรี้

2) การขึ้นฟูด้วยไอน้ำ เกิดจากน้ำในส่วนผสมขยายตัวขึ้น เมื่อได้รับความร้อน ขนมที่ขึ้นฟูด้วยไอน้ำ เช่น การพองตัวของครีมพัฟหรือเอแคลร์ ซึ่งมีน้ำปริมาณมาก ลักษณะพองตัว ตรงกลางกลวง เป็นผลจากน้ำกลายเป็นไอน้ำเมื่อได้รับความร้อน สำหรับพัฟเพสตรี้ที่พองตัวขึ้นเป็นชั้นก็เนื่องจากน้ำในส่วนผสมและน้ำในเนยที่มาห่อรีดพับอยู่ในระหว่างชั้นของแป้งนั้นเดือดกลายเป็นไอเมื่อได้รับความร้อนจากเตาอบ ทำให้ขนมพัฟเพสตรี้ พองขึ้นฟูเป็นชั้นตามลักษณะการรีดพับ

3) การขึ้นฟูด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มี 2 ขบวนการ คือขบวนการทางเคมี คือ ผงฟู เบกกิ้งโซดา แอมโมเนียและขบวนการทางชีวเคมี คือ ยีสต์

สารที่ทำให้เกิดการขึ้นฟูด้วยขบวนการทางเคมี

ได้แก่ ผงฟู (Baking Powder) เป็นสารเสริมที่ช่วยทำให้ขนมต่างๆ มีความโปร่งเบา ฟู และเพิ่มปริมาตร โดยผงฟูจะช่วยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างผลิต ผงฟูเป็นส่วนผสมของโซเดียมไบคาร์บอเนตหรือเบกกิ้งโซดา ผสมกับสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นกรด และแป้งข้าวโพดที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้สารทั้งสองสัมผัสกันโดยตรงเพราะจะทำปฏิกริยากัน

2.7.2.4 ไขมัน

1) ไขมันและน้ำมัน ประกอบด้วยกรดไขมัน (Fatty Acids) กับกลีเซอรอล (Glycerol) ทำหน้าที่จับอากาศในระหว่างการผสม ช่วยเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น ช่วยหล่อลื่นป้องกันการจับตัวของกูลเตน ทำให้ผลิตภัณฑ์อ่อนนุ่ม มีกลิ่นและรสที่ดี ไขมันที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้มาจากไขมันพืชและไขมันสัตว์ ไขมันจากสัตว์ ได้แก่ ไขมันเนย (จากน้ำนมวัว) ไขมันหมู ส่วนไขมันจากพืช ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว จากเมล็ดพืชต่างๆ เช่น ฝ้าย งาและถั่วต่าง ๆ

2) เนยเทียมหรือมาการีน (Margarine) มีสีเหลืองเข้มอยู่ในอุณหภูมิปกติ ได้โดยไม่ละลายจึงไม่ต้องแช่ตู้เย็น ทำจากไขมันพืชหรือสัตว์ที่นำมาผสมกับนมหรือครีมโดยมีการปรุงแต่งให้มีรูปลักษณะและกลิ่นรสใกล้เคียงกับเนยสดมากที่สุด จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “เนยเทียม” มักใช้ผสมกับเนยสดในการทำขนมเค้กหรือพาย เพราะเนยเทียมจะตีให้ขึ้นฟูได้ง่ายกว่าเนยสดและไม่ทำให้ส่วนผสมเหลวเวลาตี

3) เนยขาว (Hydrogenated Vegetable Shortening) ทำจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ที่ปราศจากกลิ่น เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง โดยนำไปผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจน ทำให้ไขมันแข็งตัวขึ้น ไขมันจะมีสีขาวจึงเรียกว่า “เนยขาว” ไม่มีกลิ่นรส เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและมีปริมาณไขมันถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการทำขนมปังโรล และผลิตภัณฑ์ยีสต์ ใช้ทาถาดพิมพ์สำหรับอบ และทำให้เนื้อขนมไม่ติดพิมพ์ หรือใช้ผสมกับเนยสดเพื่อตีเป็นครีมแต่งหน้าเค้ก

4) เพสตรี้มาการีน (Pastry Margarine) เป็นมาการีนชนิดหนึ่ง โดยมีการเอาไปปรับปรุงให้เหมาะกับการทำพัฟเพสตรี้ที่ใช้ในการพับ เพื่อให้เกิดชั้นของพัฟ มีความเหนียว ช่วยทำให้รีดคลึงได้ง่ายและทำให้ชั้นของแป้งสูงขึ้น

5) น้ำมันพืช (Vegetable Oils) น้ำมันที่ได้จากเมล็ดแห้งของพืชที่ให้น้ำมัน นำมาผ่านขบวนการทำให้บริสุทธิ์ ขจัดสีและกลิ่นแปลกปลอม สีของน้ำมันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมา เช่น น้ำมันที่ได้จากถั่วลิสง และเมล็ดฝ้าย ไม่มีสีแต่น้ำมันจากข้าวโพดและถั่วเหลืองมีสีอ่อนๆ มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องและมีปริมาณไขมันอยู่ 100 เปอร์เซ็นต์ เค้กบางชนิด เช่น ชิฟฟอนเค้ก ก็ใช้น้ำมันพืชเป็นตัวทำให้เค้กนุ่ม

6) ไขมัน มีหน้าที่ต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ใช้ยีสต์ เช่น ขนมปัง

1.1 ให้ความอ่อนนุ่ม กลิ่น และรสชาติที่ดี

1.2 ช่วยในการกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น โดยทำให้กลูเตนมีความแน่นจนอากาศ เข้าไม่ได้ซึ่งทำให้เปลือกของขนมปังดีขึ้น

1.3 ช่วยหล่อลื่นกลูเตนให้ยืดหยุ่นได้ดี ช่วยการขยายตัวของผนังเซลล์และจัดโครงสร้างของกลูเตน ทำให้เพิ่มปริมาตรของผลิตภัณฑ์

2. ผลิตภัณฑ์คุกกี้และพาย ช่วยให้มีลักษณะโครงสร้างเฉพาะ

2.1 มีลักษณะโครงสร้างเฉพาะของผลิตภัณฑ์

2.2 ทำให้เกิดความคงตัวในผลิตภัณฑ์

3. ผลิตภัณฑ์เค้ก

3.1 ช่วยในการเป็นครีม เพราะไขมันแข็งสามารถจับอากาศที่ได้จากการตีเนยกับน้ำตาลได้มากกว่า

3.2 ไขมันพวกอิมัลซิไฟเออร์ จะทำให้ส่วนผสมของเค้กที่มีสัดส่วนของน้ำและน้ำตาล เข้ากันได้โดยน้ำกับไขมันจะไม่แยกตัว

3.3 ช่วยให้เกิดกลิ่น รส และความนุ่ม

3.4 ยืดอายุในการเก็บได้นานขึ้น

2.7.2.5 นม

นมช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่ดี นมประกอบด้วยสารละลายที่มีส่วนเล็กๆ ของไขมัน โปรตีน น้ำตาลและแร่ธาตุปนอยู่โดยไม่แยกออกจากกันเมื่อตั้งทิ้งไว้ ให้คุณค่าทางอาหารและกลิ่นรสเฉพาะตัว นมที่นำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1) นมสด (Whole Milk) เป็นนมที่ได้จากน้ำนมวัวโดยผ่านขบวนการฆ่าเชื้อด้วยวิธีพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurize) หรือวิธียูเอชที (Ultra High Temperature) นมที่ผ่านขบวนการฆ่าเชื้อด้วยวิธีพาสเจอร์ไรซ์ จะมีอายุการเก็บที่ค่อนข้างสั้นเพราะฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิต่ำและใช้เวลานาน แต่มีรสชาติดีกว่าการฆ่าเชื้อโดยวิธียูเอชที ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยอุณหภูมิสูงมากและใช้เวลาสั้น นมยูเอชทีมีอายุการเก็บได้นานกว่าขนมที่ทำจากนมสดจะมีสีขาวกว่าขนมที่ทำจากนมชนิดอื่นๆ

2) นมข้นจืดระเหย (Evaporated Milk) เป็นการระเหยน้ำออกจากนมสดครึ่งหนึ่ง แต่ไม่เติมน้ำตาล ทำให้นมมีความเข้มข้นมากกว่านมสด เวลาใช้จึงต้องเติมน้ำเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งเท่าตัว นมข้นจืดมีสีเหลืองเข้มกว่านมสด ทำให้ขนมที่ทำจากนมข้นจืดจะมีสีเหลืองเล็กน้อย บรรจุใส่ในกระป๋องอลูมิเนียม

3) นมผง (Powder Milk) เป็นนมที่ได้โดยนำนมสดมาระเหยน้ำ โดยการผ่านกรรมวิธีการผลิตนำมาต้มให้ร้อนแล้วกระจายไปบนลูกกลิ้งที่มีความร้อนหรือฉีดผ่านเครื่องพ่นฝอยแห้ง (Spray Dry) จนเป็นผงแห้งสนิท ไม่ควรมีความชื้นเกิน ควรเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท เพราะนมผงคุณสมบัติดูดน้ำและความชื้นได้ดี

1. นมผง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.1 นมผงที่มีไขมัน ส่วนมากมีราคาแพง จึงไม่สามารถเก็บไว้นานๆ เพราะจะมีกลิ่นหืนและจับตัวเป็นก้อนได้ง่าย

1.2 นมผงปราศจากไขมัน หรือนมผงขาดมันเนย นิยมใช้ในการทำเบเกอรี่ เพราะมีราคาถูกแล้วสามารถเก็บได้เป็นเวลานานกว่านมผงที่มีไขมัน

นมมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ดังนี้

1. เพิ่มคุณค่าทางอาหาร มีความอ่อนนุ่มและให้กลิ่นรสที่ดี
2. ช่วยให้สีของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เข้มขึ้น
3. เป็นตัวทำละลายให้ส่วนผสมเข้ากันและเกิดโครงสร้างของ

ผลิตภัณฑ์ (www.research-system.siam.edu/images/coop/Pizza_Low-Cost/06_ch2.pdf)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงงานพิเศษ

ธวัชชัย และคณะ (2551) ศึกษาผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมัก (ถั่วเน่า) ในด้านของกระบวนการผลิตและปัญหารวมทั้งการทดสอบคุณภาพของถั่วเหลืองหมักในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ทำการวิจัยในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม พ.ศ.2547 โดยสุ่มตัวอย่างจากจังหวัดเชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน และเชียงราย ผลการวิจัยพบว่า กระบวนการผลิตถั่วเน่ามีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างในกระบวนการผลิตคือถั่วเหลือง ระยะเวลาในการต้ม ระยะเวลาในการหมัก วิธีการบด ปริมาณผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์ สถานที่จำหน่ายและการตลาด วิธีการผลิตถั่วเน่าเริ่มจาก ต้มถั่วเหลือง เป็นเวลา 5-8 ชั่วโมง ก่อนนำมาสะเด็ดน้ำ หลังจากนั้นนำมาหมักในถุงพลาสติก 2-4 วัน แล้วบดด้วยครกหรือเครื่องบดจนละเอียด นำไปปั้นเป็นก้อนกลมแล้วกดให้เป็นแผ่นวงกลม ตากแดดให้แห้ง เป็นเวลา 2-3 วัน แล้วเก็บในถุงพลาสติกหรือภาชนะอื่นๆ การตรวจวัดคุณภาพของถั่วเน่าในด้านคุณค่าทางโภชนาการ ประเภทและปริมาณของจุลินทรีย์ พบว่า ถั่วเน่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองชนิดอื่น โดยมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ในช่วง 38.94- 42.81 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 3.15-9.33 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 33.62-40.43 เปอร์เซ็นต์ ใยอาหาร 5.31-7.86 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 0.01-0.09 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 7.30- 12.02 เปอร์เซ็นต์ ถั่วเน่าจึงมีคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฤดูกาล ภายหลังการตรวจวัดเชื้อจุลินทรีย์พบเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการหมัก คือ แบคทีเรีย *Bacillus* spp. และรา *Rhizopus* spp. และพบเชื้อราที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของถั่วเน่า คือ *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus niger* แต่ในปริมาณเพียงเล็กน้อย โดยตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในถั่วเน่าอยู่ในช่วง 1.56×10^7 ถึง 4.93×10^7 CFU/กรัม

ปิยะวรรณและรัชฎาพร (2558) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว (Snack bar) จากถั่วเหลืองหมักเพื่อเสริมสุขภาพจากจุลินทรีย์ที่เป็นกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมัก (ถั่วเน่า) ด้วยกล้าเชื้อ *B. subtilis* SB-MYP1 ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่เป็นที่ยอมรับจาก ผู้บริโภคในพื้นที่จำกัด นำมาแปรรูปเป็นอาหารขบเคี้ยวที่ง่ายต่อการบริโภค โดยนำถั่วเหลืองหมักด้วยกล้า เชื้อ *B. subtilis* SB-MYP13 รูปแบบ ได้แก่ กล้าเชื้อสด *B. subtilis* SB-MYP1 กล้าเชื้อ *B. subtilis* SBMYP1 ผงด้วย maltodextrin และกล้าเชื้อ *B. subtilis* SB-MYP1 ผงด้วย soybean flour หมักเป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำไปพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว จากถั่วเหลืองหมักผสมกับส่วนผสมทั้งหมด 11 สูตร คัดเลือกสูตรที่มีความเป็นไปได้เพื่อเป็นสูตรต้นแบบสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมสุขภาพจากถั่ว เหลืองหมัก มีส่วนผสมดังนี้ ถั่วเหลืองหมักบดละเอียด น้ำสะอาด แป้งถั่วเหลือง น้ำตาลทราย เกลือป่น งาขาว และงาดำ ทำการแปรรูปอาหารขบเคี้ยวโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer) และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวหมักด้วยกล้าเชื้อ 3 รูปแบบ มีปริมาณแคลเซียม (Ca) เท่ากับ 1,577.00, 1,738.50 และ 1,997.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณเหล็ก (Fe) เท่ากับ 40.21, 45.41 และ 41.26

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัส (P) เท่ากับ 2,619.00, 3,052.50 และ 3,091.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีปริมาณวิตามินบีสิบสอง (B12) เท่ากับ 0.38, <0.1 และ <0.1 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ทำการตรวจวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ถุงสุญญากาศและถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เมื่อพิจารณาดัชนีความเสี่ยง สูงสุดด้านคุณภาพความปลอดภัยจากสารอะฟลาทอกซินพบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมสุขภาพจาก ถั่วเหลืองหมักด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ มีอายุการเก็บ รักษายาวนานกว่าบรรจุภัณฑ์แบบถุงสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบถุง อะลูมิเนียมฟอยล์ที่ผ่านการหมักด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบ มีอายุการเก็บรักษา 119, 118 และ 103 วัน ตามลำดับ เมื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริม สุขภาพที่ผ่านการหมักด้วยกล้าเชื้อ *B. subtilis* SB-MYP1 ผงด้วย soybean flour มากที่สุด

รัชฎาพร (2556) ทำการศึกษาปริมาณของฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ เดอิสซีนและเจนิสทีน ในการหมักถั่วเหลืองและถั่วขาว โดยใช้ *Bacillus subtilis* SB-MYP-1 และเมื่อศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของถั่วเหลือง/ถั่วขาว และถั่วเหลือง/ถั่วขาวที่ทำการหมัก ซึ่งทำการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล พบว่าสารสกัดจากถั่วเหลืองหมักมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ เดอิสซีนและเจนิสทีนที่สูงกว่าสารสกัดจากถั่วขาวหมัก ทั้งการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ เดอิสซีนและเจนิสทีนของสารสกัดถั่วเหลืองหมักที่สกัดด้วยเอทานอล พบว่ามีปริมาณที่สูงกว่าการสกัดด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สารสกัดถั่วเหลืองหมักที่สกัดเอทานอลจะแสดงให้เห็นว่ามีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ เดอิสซีนและเจนิสทีน 35.02 มิลลิกรัมของกรดแกลลิคต่อกรัมของสารสกัด และ 14.02 มิลลิกรัมของ catechin ต่อกรัมของสารสกัด 8,968.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารสกัด และ 16,416.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารสกัด ตามลำดับ นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ เดอิสซีนและเจนิสทีนของสารสกัดถั่วเหลืองหมักสูงกว่าสารสกัดจากถั่วเหลือง ในขณะที่สารสกัดถั่วขาวที่สกัดด้วยน้ำมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ เดอิสซีนและเจนิสทีนที่ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของตัวทำละลายที่นำมาใช้สกัดพบว่าเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ส่งเสริมให้ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ เดอิสซีนและเจนิสทีนสูงขึ้นสำหรับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ได้ศึกษา DPPH ABTS และ FRAP โดยใช้ Trolox และวิตามินซีเป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบ สารสกัดถั่วเหลืองหมักที่สกัดด้วยเอทานอลแสดงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด เมื่อทดสอบโดย DPPH, ABTS และ FRAP ซึ่งมีค่า IC_{50} 18.453 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4.519 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและ 0.078 มิลลิโมลของ Fe^{2+} ต่อมิลลิกรัมของสารสกัด สารสกัดจากถั่วเหลืองหมักมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าสารสกัดจากถั่วขาวหมักทั้งสารสกัดน้ำและเอทานอล สารสกัดถั่วเหลืองหมักมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าสารสกัดถั่วเหลือง ในขณะที่สารสกัดน้ำจากถั่วขาว แสดงให้เห็นว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายใน DPPH ABTS และ FRAP พบว่าตัวทำละลายเอทานอลแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าตัวทำละลายน้ำ

วิลาสินีและคณะ (2555) นำเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มาศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการใช้แป้งถั่วขาวทดแทนปริมาณแป้งสาลีในการผลิตขนมปัง ขั้นตอนการศึกษาได้ทำการศึกษาสูตรพื้นฐานของขนมปังพบว่าปริมาณการเสริมแป้งถั่วขาว 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ คือช่วงที่ผู้บริโภคเกิดการยอมรับสูงสุด ทำการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังเสริมแป้ง

ถั่วขาว โดยปรับปริมาณน้ำที่ใช้ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำเป็น 81.82 กรัม จากสูตรพื้นฐาน สามารถทำให้ค่า Water Activity (A_w) ของขนมปังหลังปรับน้ำ มีค่าใกล้เคียงกับขนมปังสูตรพื้นฐานได้ และมีผลทำให้ค่าความแข็งลดลงจาก 42.27 นิวตัน ลดลงเหลือ 30.27 นิวตัน ส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังนุ่มมากขึ้น จากนั้นทำการแบ่งปริมาณแป้งถั่วขาวเสริมในขนมปังออกเป็น 4 ช่วง คือ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าผู้บริโภคเกิดการยอมรับขนมปังเสริมแป้งถั่วขาวที่ปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์มากที่สุด นำไปทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์กับผู้บริโภค 100 คน โดยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (Hedonic Scale 9-point) ในคุณลักษณะด้านกลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบรวม พบว่ามีผู้ที่สนใจจะซื้อคิดเป็น 82 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อได้รับข้อมูลเกี่ยวกับถั่วขาวและทราบถึงประโยชน์ ผู้บริโภคเกิดการยอมรับเพิ่มขึ้นเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะข้อมูลด้านโภชนาการที่มีผลต่อผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก คิดเป็น 81 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผู้ที่ต้องการความแปลกใหม่สำหรับอาหารเพื่อสุขภาพมี 19 เปอร์เซ็นต์

Dajanta และคณะ (2013) ถ่ายเชื้อ *B. subtilis* TN51 ลงในถั่วเหลืองพันธุ์สีดำและสีเหลือง หลังบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสและ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำให้เกิดการหมักกลายเป็นถั่วเน่า จากนั้นได้ตรวจสอบความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ของถั่วเหลืองพันธุ์สีดำ (TN-BS) และสีเหลือง (TN-YS) ที่หมัก เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก (CNF) พบว่ากระบวนการหมักช่วยเพิ่มปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ (ยกเว้นการหมักถั่วเหลืองพันธุ์สีเหลือง) รวมทั้งกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของ anti-DPPH radicals และ ferric reducing antioxidant power (FRAP) ของสารสกัดถั่วเหลือง สารสกัดของถั่วเหลืองพันธุ์สีดำที่ไม่ผ่านการหมัก (CNF) และ TN-BS มีปริมาณ ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ anti-DPPH radical และการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation สูงกว่าสารสกัดจากถั่วเหลืองพันธุ์สีเหลือง ในขณะที่สารสกัดจาก TN-YS มีค่า FRAP สูงกว่าสารสกัดจาก TN-BS การศึกษาความสัมพันธ์พบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) ระหว่างปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดกับค่า FRAP ในสารสกัดจากถั่วเหลือง ($r = 0.889$) ในขณะที่ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ($r = -0.731$) และฟลาโวนอยด์ ($r = -0.709$) มีความสัมพันธ์ทางลบ ($P < 0.01$) กับ IC_{50} ของ DPPH radical-scavenging activity นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$, $r = -7.39$) ระหว่าง ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดกับ IC_{50} ของการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าถั่วเน่าจากถั่วเหลืองสีดำที่ผลิตได้จาก การถ่ายเชื้อ *B. subtilis* TN51 สามารถนำไปผลิตเป็นอาหารเชิงพาณิชย์เพื่อลดภาวะเครียดออกซิเดชัน

Wani และคณะ (2013) ศึกษาแป้งที่ทำจากถั่ว kidney bean จำนวน 4 สายพันธุ์ (Freanch yellow, Contendor, Master Bean และ Local red) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมันและใยอาหารของถั่วทั้ง 4 สายพันธุ์พบว่า มีค่าดังนี้ 99-104 กรัม/กิโลกรัม, 30-35 กรัม/กิโลกรัม, 223-267 กรัม/กิโลกรัม, 16-20 กรัม/กิโลกรัมและ 14-21 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ การศึกษา การเกิด Syneresis ของเจลแป้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสพบว่ามีค่า เพิ่มขึ้นจาก 141 กรัม/กิโลกรัม เมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมง เป็น 194 กรัม/กิโลกรัม เมื่อผ่านไป 120 ชั่วโมง การศึกษาโดยใช้ SEM พบอนุภาคเล็กๆของแป้งมีขนาดรูปร่างต่างๆ เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบของโปรตีน และ ไม่มีโปรตีน โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 591.0-1030.3 cP ค่าความเสียหาย 21.3-93.3 cP และมีความหนืด 383.7-750.0 cP ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แป้งเจลมีค่าความแข็ง

14.9-19.5 กรัม และความเหนียว 31.5-81.3 กรัม ความสามารถในการละลายของโปรตีนเท่ากับ 8.1-97.8 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง pH เท่ากับ 2-10

Mieszkowska และ Marzec (2016) ได้ศึกษาการใช้แป้งจากถั่วชิกพี (ChF) ทดแทนแป้งสาลี (WF) ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของบิสกิต นอกจากนั้นได้ศึกษาการใช้ polydextrose (p) และ inulin (i) ในปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และ 60 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดแทนซูโครส (s) ทำการประเมินคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของบิสกิต ประเมินทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกอบรม 50 คน และตรวจวัดปริมาณน้ำและสีของบิสกิต ผลการทดลองพบว่าบิสกิตที่มีการเติม polydextrose 40 เปอร์เซ็นต์ และ inulin 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแรงสูงเมื่อเทียบกับบิสกิตที่ไม่มีน้ำตาลทดแทน บิสกิตที่มีการผสมแป้งถั่วชิกพี 20 เปอร์เซ็นต์และ Polydextrose 40 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้ง polydextrose 60 เปอร์เซ็นต์ บิสกิตที่ผสมpolydextrose ได้รับคะแนนสูงสุดสำหรับการทดสอบลักษณะปรากฏจากผู้บริโภค ในทางตรงกันข้ามบิสกิตที่ผสมแป้งถั่วชิกพี (ChF) 20 เปอร์เซ็นต์และ inulin 60 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนทุกคุณลักษณะที่ทดสอบต่ำสุด

Polanco และคณะ (2017) ทำการศึกษาสมบัติทางโภชนาการ สารต้านอนุมูลอิสระและสมบัติทางกายภาพของแครกเกอร์ที่ทำจากแป้งข้าวโอ๊ตบด (Avena sativa L) และโปรตีนสกัด (COP) จากถั่ว (Pisum sativum) จากนั้นนำแครกเกอร์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับแครกเกอร์เชิงพาณิชย์ 2 ชนิด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแครกเกอร์มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงขึ้นโดยเฉพาะปริมาณโปรตีนที่มีปริมาณสูง 24.66 กรัมต่อ 100 กรัมแครกเกอร์ เส้นใยทั้งหมด 18.45 กรัมต่อ 100 กรัมแครกเกอร์ เส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ 13.05 กรัมต่อ 100 กรัมแครกเกอร์ vanillin 0.932 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมแครกเกอร์ p-cumaric 0.861 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมแครกเกอร์ และ avenantramide 1.160 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมแครกเกอร์ รวมทั้งปริมาณไขมันต่ำ 9.07 กรัมต่อ 100 กรัมแครกเกอร์ คาร์โบไฮเดรต 62.13 กรัมต่อ 100 กรัมแครกเกอร์ สารประกอบฟีนอลทั้งหมด 0.42 มิลลิกรัมของ GAE ต่อ 100 กรัมแครกเกอร์ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH 26.93 มิลลิโมล eq. Trolox ต่อ 100 กรัมแครกเกอร์และ ABTS 171.61 มิลลิโมล eq. Trolox ต่อ 100 กรัมแครกเกอร์นอกจากนี้พบความแตกต่างในด้านคุณสมบัติของเนื้อสัมผัส โดยแครกเกอร์ที่ผสมโปรตีนสกัดมีค่า lower hardness 19.04 N ค่า gumminess 4.07 N ค่าcohesiveness 0.35 ค่า springiness 0.45 มิลลิเมตรและ ค่า chewiness 0.35 แครกเกอร์ที่แยกได้จากข้าวโอ๊ตและถั่วจึงมีศักยภาพที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพ

Dauda และคณะ (2018) ทำการศึกษาเติมถั่วลิสงบดที่ผ่านการสกัดไขมันทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วนต่างๆ ในบิสกีต ได้แก่ A 100:0 ,B 95:5 ,C 90:10 ,D 85:15 ,E 80:20 ,F 75:25 , G 70:30 และนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นๆ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 155-180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นและนำไปวิเคราะห์ คุณลักษณะของแป้ง คุณสมบัติสีและการประเมินทางประสาทสัมผัสของบิสกิตโดยใช้วิธีมาตรฐาน เมื่อทำการทดลองพบว่าบิสกิตที่ได้มีโปรตีน 17.14-24.90 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้น 8.28-13.05 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 1.07-2.76 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 25.38-28.12 เปอร์เซ็นต์ ใยอาหาร 0.84-2.34 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรต 46.35-33.68 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการพองตัวของแป้งมีค่าเท่ากับ 1.10-1.27 มิลลิลิตร/กรัม คุณสมบัติการดูดซึมน้ำและน้ำมันมีค่า 1.40-1.754 มิลลิลิตร/กรัม และ 0.82-1.99 มิลลิลิตร/กรัม ตามลำดับ การประเมินทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง B ได้รับการยอมรับมากที่สุด

Tiwari และคณะ (2011) ศึกษาการใช้แป้งถั่วมะแฮะที่กระเทาะเปลือกหรือกากที่ได้จากแป้งถั่วมะแฮะ (Pigeon Pea) ทดแทนแป้งสาลีใน โดยแป้งจาก PPBF พบว่ามีโปรตีนสูง 29.42 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อเทียบกับ PPDF 24.67 กรัมต่อ 100 กรัม ทำการเติมแป้ง PPDF หรือ PPBF ทดแทนแป้งสาลีที่อัตราส่วน 95: 5, 90:10, 85:15, 80:20 และ 75:25 ในผลิตภัณฑ์บิสกิต จากนั้นนำบิสกิตมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าปริมาณโปรตีนของบิสกิตที่ผสม PPDF และ PPBF เพิ่มขึ้น 1.3 และ 1.4 เท่าตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวควบคุม รวมทั้งปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิจัยพบว่า บิสกิตที่มีคุณภาพดีมีปริมาณโปรตีนและเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ได้จาก การทดแทนแป้งสาลีด้วย PPDF และ PPBF ในอัตราส่วน 85:15 ของ PPDF หรือ 90:10 ตามลำดับ โดยไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของบิสกิตอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เชื้อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ *Bacillus subtilis* TISTR 001 ได้รับความอนุเคราะห์จาก ศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.2 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. เมทานอล ยี่ห้อ UNIVAR
2. โซเดียมคลอไรด์ ยี่ห้อ SRL
3. แบเรียมคลอไรด์ ยี่ห้อ UNIVAR
4. กรดไฮโดรคลอริก ยี่ห้อ Carlo Erba Reagent
5. ปิโตรเลียมอีเทอร์ ยี่ห้อ QReC
6. 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ยี่ห้อ SIGMA Life Science
7. สารมาตรฐาน BHT ยี่ห้อ SIGMA-ALORICH
8. Folin-Ciocalteu's phenol reagent ยี่ห้อ MERCK
9. โซเดียมคาร์บอเนต ยี่ห้อ MERCK
10. สารมาตรฐานกรดแกลิก ยี่ห้อ SIGMA-ALORICH
11. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H2SO4 93-98%) ยี่ห้อ UNIVAR
12. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ยี่ห้อ VWR Chemical Prolabo
13. กรดบอริก ยี่ห้อ MERCK
14. Catalyst (ตัวเร่งปฏิกิริยา) ประกอบด้วย K_2SO_4 98 % และ $CuSO_4$ 2 % ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น KJELTABS CX
15. สารละลายอินดิเคเตอร์ (Mix indicator) เตรียมโดยผสม 0.1 % Bromocresol green ยี่ห้อ MERCK และ 0.1 % Methyl red ยี่ห้อ LABCHEM
16. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N ยี่ห้อ Lobachemie
17. Tartaric acid ยี่ห้อ UNIVAR
18. Peptone water ยี่ห้อ SRL
19. Nutrient broth (NB) ยี่ห้อ SRL
20. Plate count agar (PCA) ยี่ห้อ SRL
21. Potato dextrose broth (PDB) ยี่ห้อ SRL
22. Agar ยี่ห้อ SRL

3.3 วัตถุดิบ

1. ถั่วเหลือง ตรา ไร่ทิพย์
2. ถั่วขาว จากกลุ่มนิมิตดี คลองสามวา กรุงเทพฯ
3. แป้งสาลีอเนกประสงค์ ตราบัวแดง บริษัท UFM
4. เนยสดชนิดเค็ม ตรา orchid
5. เนยขาว ตรา เซสท์
6. เกลือ ตรา ปรุงทิพย์
7. ผงฟู ตรา เบสท์ฟู้ด
8. นมสด ชนิดพาสเจอร์ไรส์ ตราโฟร์โมสต์

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. จานเพาะเลี้ยงเชื้อ (Petri dish)
2. หลอดทดลอง (Test tube)
3. กระบอกตวง (Cylinder)
4. ห่วงเขี่ยเชื้อ (Loop)
5. ขวดดูแรน ขนาด 100, 250, 500 มิลลิลิตร (Duran bottle)
6. บีกเกอร์ ขนาด 500, 1000 มิลลิลิตร (Beaker)
7. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร (Erlenmeyer flask)
8. ปิเปต ขนาด 1, 5, 10 มิลลิลิตร (Pipette)
9. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Balance) ยี่ห้อ AND รุ่น GF-800
10. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น UN 110
11. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) ยี่ห้อ BINDER รุ่น CONTROL E2
12. ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar floe clean bench) ยี่ห้อ Super Clean 120 BS
13. หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ยี่ห้อ HIRAYAMA รุ่น HV-25/50/85/110
14. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Hermle รุ่น Z 326 K
15. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-1201V
16. เครื่องสกัดไขมันแบบ Soxhlet ยี่ห้อ MTOPS รุ่น MS-E
17. เตาเผาอุณหภูมิสูง ยี่ห้อ GALLENKAMP รุ่น HOTSPOT
18. โถดูดความชื้น (Desiccator) ยี่ห้อ DURANT รุ่น DN300
19. เครื่องสกัดโปรตีน (Digestion unit) ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น Kjeldatherm
20. เครื่องย่อยโปรตีน (Distillation unit) ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น Vapodest 305
21. เครื่องไมโครเพลท (Microplate reader) ยี่ห้อ FLUOstar Omega
22. ครูซิเบิล (Crucible)
23. อุปกรณ์สำหรับทำผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่
24. เตาอบขนม (Cooking oven)
25. เครื่องบดอาหาร (Blenders) ยี่ห้อ PHILIPS
26. เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer)

27. เครื่องเขย่าสาร (Vortex) ยี่ห้อ scientific industrie
28. ภาชนะอะลูมิเนียม (Moisture can) พร้อมฝาปิด
29. อุปกรณ์การไทเทรต (Titration unit)
30. ทิมเบิล (Thimble)
31. ขวดก้นกลม สำหรับสกัดไขมัน (Round bottom flask)
32. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
33. เครื่องกรองแบบสุญญากาศ
34. เครื่อง evaporator
35. เครื่อง Texture Analyzer ยี่ห้อ LLOYD

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ

นำถั่วเหลืองและถั่วขาวมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของถั่วเหลืองและถั่วขาว ตามวิธีการของ AOAC (2000) ได้แก่ ความชื้น (Moisture content) ด้วยวิธี Hot air oven ปริมาณโปรตีน (Crude protein) ด้วยวิธี Kjedahl method ปริมาณไขมัน (Crude fat) โดยสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction method) ปริมาณเถ้าทั้งหมด (Total ash) และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) โดยหาจากผลต่างของความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า

3.5.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

3.5.2.1 การเตรียมกล้าเชื้อ *Bacillus subtilis* TISTR 001 สำหรับการผลิตถั่วเน่า

(ดัดแปลงจาก ปิยะวรรณและรัชฎาพร, 2558)

นำ *Bacillus subtilis* TISTR 001 ไป Streak บนอาหาร Nutrient agar (NA) และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยตู้บ่มเชื้อ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเชื้อบริสุทธิ์ที่ได้มาเพาะเลี้ยงในอาหาร Nutrient broth (NB) ที่บรรจุอยู่ในหลอดทดลอง และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำไปปั่นเหวี่ยงโดยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 10000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำเอาตะกอนของเซลล์มาเจือจางด้วยโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปเทียบกับความขุ่นของ McFarland เบอร์ 1 (ความเข้มข้นของเซลล์อยู่ที่ $3.0x10^8$ CFU/มิลลิลิตร)

3.5.2.2 การผลิตถั่วเน่าจากถั่วเหลือง

1) การเตรียมกล้าเชื้อผงสำหรับการผลิตถั่วเน่าจากถั่วเหลือง

(นิอรและไพโรจน์, 2556)

นำถั่วเหลืองผ่าซีก ปริมาณ 250 กรัม มาล้างให้สะอาด จากนั้นแช่น้ำ นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำถั่วมาล้างน้ำให้สะอาด ทำให้สะเด็ดน้ำ เกลี่ยถั่วเหลืองในถาดสแตนเลส นำเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-20 นาที เพื่อลดความชื้น แล้วนำถั่วเหลืองใส่ในฟลาสก์ปิดด้วยจุกสำลี หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อ ด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 15 นาที ทิ้งให้อุณหภูมิลดลง เติมสารละลายของเชื้อ *Bacillus subtilis* TISTR 001 ที่เตรียมไว้ข้างต้นลงในหัวข้อ 3.5.2.1 ลงในถั่วเหลือง 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของถั่วเหลืองที่นึ่งสุกแล้ว คลุกให้ส่วนผสมเข้ากัน นำไปบ่มที่ตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส นาน 15 ชั่วโมง และบดให้ละเอียดโดยเครื่องบดอาหาร จะได้หัวเชื้อผงเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2) การผลิตถั่วเน่าจากถั่วเหลือง

นำถั่วเหลืองมาล้างให้สะอาด จากนั้นแช่น้ำนาน 6 ชั่วโมง แล้วนำถั่วมาล้างน้ำให้สะอาดอีกครั้ง ทำให้สะเด็ดน้ำ นำถั่วเหลืองมาห่อด้วยผ้าขาวบาง หลังจากนั้นนึ่งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที จากนั้นเกลี่ยถั่วเหลืองในถาดที่สะอาด เพื่อลดอุณหภูมิให้เย็นลง จึงเติมหัวเชื้อผงในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วเหลืองที่นึ่งสุกแล้ว คลุกให้เข้ากัน แล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้แน่น เจาะรูถุงพลาสติก จากนั้นนำไปบ่มตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ถั่วเน่าจากถั่วเหลือง

3.5.2.3 การผลิตถั่วเน่าจากถั่วขาว

1) การเตรียมกล้าเชื้อผงสำหรับการผลิตถั่วเน่าจากถั่วขาว (นิอรและไพโรจน์, 2556)

นำถั่วขาวทั้งเมล็ด ปริมาณ 250 กรัม มาล้างให้สะอาด จากนั้นแช่น้ำนาน 6 ชั่วโมง เอาเปลือกออก แล้วนำถั่วมาล้างน้ำให้สะอาด ทำให้สะเด็ดน้ำ เกลี่ยถั่วขาวในถาดแสตนเลส นำเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15-20 นาที เพื่อลดความชื้น แล้วนำถั่วขาวใส่ในฟลาส ปิดด้วยจุกสำลี หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อ ด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้อุณหภูมิลดลง เติมสารละลายของเชื้อ *Bacillus subtilis* TISTR 001 ที่เตรียมไว้ข้างต้นลงในหัวข้อ 3.5.2.1 ลงในถั่วขาว 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักถั่วขาวที่นึ่งสุกแล้ว คลุกให้ส่วนผสมเข้ากัน นำไปบ่มที่ตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส นาน 15 ชั่วโมง และบดให้ละเอียดโดยเครื่องบดอาหาร จะได้หัวเชื้อผง เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2) การผลิตถั่วเน่าจากถั่วขาว (นิอรและไพโรจน์, 2556)

นำถั่วขาวมาล้างให้สะอาด จากนั้นแช่น้ำนาน 6 ชั่วโมง แล้วนำถั่วมาล้างน้ำให้สะอาดอีกครั้ง ทำให้สะเด็ดน้ำ นำถั่วขาวมาห่อด้วยผ้าขาวบาง หลังจากนั้นนึ่งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที จากนั้นเกลี่ยถั่วขาวในถาดที่สะอาด เพื่อลดอุณหภูมิให้เย็นลง จึงเติมหัวเชื้อผงในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถั่วขาวที่นึ่งสุกแล้ว คลุกให้เข้ากัน แล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้แน่น เจาะรูถุงพลาสติก จากนั้นนำไปบ่มตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ถั่วเน่าจากถั่วขาว

นำผลิตภัณฑ์ถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาวที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพดังนี้

1. การตรวจสอบลักษณะปรากฏของถั่วเน่าที่ได้ (เกรียงศักดิ์, 2531)

โดยตรวจดูลักษณะปรากฏดังนี้ การเกิดเมือกสีขาวหนืดๆ เล็กน้อย ลักษณะของถั่วเป็นเมล็ด ไม่เละ การยึดเกาะกันของถั่วเป็นก้อน มีกลิ่นฉุน

2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (AOAC, 2000)

ตรวจวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) ปริมาณโปรตีน (Crude protein) ปริมาณไขมัน (Crude fat) ปริมาณเถ้าทั้งหมด (Total ash) และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

3. การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

นำถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาวมาผสมน้ำกลั่น จากนั้นคนให้เข้ากัน นำไปวัดด้วยเครื่อง pH meter

4. การวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water activity: A_w)

กดปุ่มเปิดสวิตช์และทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที เพื่อเป็นการวอร์มเครื่องก่อนใช้งาน จากนั้นนำถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาวใส่ในภาชนะบรรจุ ปริมาณของตัวอย่างไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของภาชนะที่บรรจุและตัวอย่างต้องมีอุณหภูมิไม่สูงเกินกว่า 4 องศาเซลเซียสกับอุณหภูมิห้อง ใส่ภาชนะบรรจุลงไปในลิ้นชักใส่ตัวอย่าง หมุนปุ่มของลิ้นชักจากตำแหน่ง OPEN/LOAD ไปยังตำแหน่ง READ เครื่องจะเริ่มทำการวัดค่า A_w จะมีสัญญาณเตือน 1 ครั้ง เมื่อเครื่องทำการวัดเสร็จเรียบร้อยจะมีสัญญาณเตือนดังขึ้น

5. การประเมินคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของถั่วเน่า

5.1 การเตรียมสารสกัดจากถั่วเน่า (Dajanta และคณะ, 2013)

นำถั่วเน่าจากถั่วเหลืองหรือถั่วขาวไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและบดเป็นผงให้ละเอียด โดยใช้เครื่องบดอาหาร ในการเตรียมสารสกัด ทำโดยชั่งผงถั่วเน่า 1 กรัม มาสกัดด้วยเมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:20 (w/v) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไป sonicated ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำเอาส่วนใสที่ได้ไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 จากนั้นนำเอากากของผงถั่วเน่าไปสกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง โดยใช้เมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ นำสารสกัดที่กรองได้ทั้ง 2 ครั้ง มารวมกันและนำไประเหยเอาเมทานอลออกทำให้แห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศไปด้วยเครื่อง evaporator ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาเข้าเครื่อง Freeze dry เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำสารสกัดมาวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพื่อคัดเลือกถั่วเน่าที่มีคุณภาพที่เหมาะสมนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพ

5.2 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu (Dajanta และคณะ, 2013)

ปิเปตสารสกัด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในเมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ผสมสารละลาย Folin-Ciocalteu ความเข้มข้น 0.25 N ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นเติมโซเดียมคาร์บอเนต 7.5 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร นำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 0.04-0.14 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร รายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมของสารสกัด

5.3 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Dajanta และคณะ, 2013)

ปิเปตสารสกัดตัวอย่างที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในเมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 75 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.15 มิลลิโมลาร์ ในเมทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ที่มืด เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำส่วนผสมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Microplate reader ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ DPPH สามารถคำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$\% \text{ การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH} = \{(1-A)/A_0\} \times 100$$

โดยที่ A และ A_0 เป็นค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างและค่าดูดกลืนแสงของ DPPH ตามลำดับ

5.4 การทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของบิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

นำถั่วเน่าผงที่ได้มาพัฒนาบิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว โดยทดแทนแป้งสาลีในสูตรดังนี้ คือ บิสกิตสูตรควบคุม (แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์) บิสกิตสูตรผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว ใช้ถั่วเน่าผงทดแทนแป้งสาลี ในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยมีส่วนผสมในการทำบิสกิตแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงส่วนผสมในการทำบิสกิตของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

ส่วนผสม (กรัม)	ตัวอย่างของบิสกิต	
	สูตรควบคุม	ผสมถั่วเน่าผง 10 เปอร์เซ็นต์
แป้งสาลี	240	216
ถั่วเน่าผง (ถั่วเหลือง/ถั่วขาว)	0	24
เกลือ	2.2	2.2
ผงฟู	4.4	4.4
นมสด	140	140
เนยสดชนิดเค็ม	50	50

วิธีการ

1. ร่อนแป้งสาลี (ถั่วเน่าผง) เกลือและผงฟูรวมกัน
2. เติมเนยสดลงไปในส่วนผสมของแป้ง ใช้เบลนเดอร์หรือส้อมตัดส่วนผสมของเนยและแป้งให้เข้ากันเป็นเม็ดเล็กๆ
3. ค่อยๆ ใส่นมสด ตะล่อมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยส้อม พอแป้งนุ่ม คลึงได้
4. โรยแป้งนวลบนถาด
5. คลึงแป้งให้เป็นก้อนกลม
6. ใช้ไม้คลึงแป้งให้เป็นแผ่น
7. ใช้ที่ตัดแป้งตัดให้เป็นเส้นหนา ขนาด 1 เซนติเมตร
8. คลึงแป้งแต่ละเส้นให้เป็นแท่งกลมขนาดเสมอกัน
9. วางเรียงลงถาดอบที่ทาเนยขาวไว้ ทานมสดที่หน้าขนม
10. นำไปอบด้วยไฟ 180 องศาเซียสเซียส เป็นเวลา 25 นาที

จากนั้นนำบิสกิตที่ได้มาทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส ทดสอบโดยการประเมินคุณภาพด้านความชอบ (Preference test) ประเมินคุณลักษณะทางด้านคุณลักษณะ รสชาติ กลิ่น ความกรอบ และความชอบโดยรวม ประเมินคุณภาพด้วยวิธี 7-Point-Hedonic Scale (7= ชอบมากที่สุด, 1= ไม่ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนเป็นนักศึกษาภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สจล. จำนวน 30 คน

จากนั้นทำการคัดเลือกถั่วเน่าที่มีคุณภาพที่เหมาะสม เพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าต่อไป

3.6 การพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่า

3.6.1 การเตรียมถั่วเน่าผง (นิอรและไพโรจน์, 2556)

นำถั่วเน่าที่มีคุณภาพที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.5.2 มาอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง และบดให้ละเอียดเป็นผง นำมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 เมช จะได้ถั่วเน่าผง เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพ

3.6.2 การผลิตบิสกิตผสมถั่วเน่า

นำถั่วเน่าผงที่ได้มาพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพ โดยทดแทนแป้งสาลีในสูตรดังนี้ คือ บิสกิตสูตรควบคุม (แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์) บิสกิตสูตร 1 ใช้ถั่วเน่าผงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ บิสกิตสูตร 2 ใช้ถั่วเน่าผงทดแทนแป้งสาลี ในปริมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ และบิสกิตสูตร 3 ใช้ถั่วเน่าผงทดแทนแป้งสาลี ในปริมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ โดยมีส่วนผสมในการทำบิสกิตแสดงดังตารางที่ 3.2 และมีวิธีการผลิตเช่นเดียวกับหัวข้อ 5.4

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงส่วนผสมในการทำบิสกิตสูตรต่างๆ

ส่วนผสม (กรัม)	ตัวอย่างของบิสกิต			
	สูตรควบคุม	สูตร 1 10 เปอร์เซ็นต์	สูตร 2 14 เปอร์เซ็นต์	สูตร 3 18 เปอร์เซ็นต์
แป้งสาลี	240	216	206.4	196.8
ถั่วเน่าผง	0	24	33.6	43.2
เกลือ	2.2	2.2	2..2	2.2
ผงฟู	4.4	4.4	4.4	4.4
นมสด	140	140	140	140
เนยสดชนิดเค็ม	50	50	50	50

3.6.3 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ

3.6.3.1 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมีเบื้องต้น (AOAC, 2000)

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของบิสกิต ได้แก่ ความชื้น (Moisture content) ปริมาณโปรตีน (Crude protein) ปริมาณไขมัน (Crude fat) ปริมาณเถ้าทั้งหมด (Total ash) และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

3.6.3.2 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu (Dajanta และคณะ, 2013)

3.6.3.3 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Dajanta และคณะ, 2013)

3.6.3.4 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่

1) ตรวจสอบการขยายตัวของบิสกิต โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบิสกิต ก่อนอบและหลังอบ จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาการขยายตัวของบิสกิต โดยนำค่าการวัดหลังอบลบค่าก่อนอบ คำนวณการขยายตัวของบิสกิต ตามวิธีการของ AACC 1983

Spread Ratio = ความกวาง / ความหนา

2) การตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของบิสกิต (Bourne, 1978) ทำการตรวจสอบโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส เพื่อวัดความแข็ง (hardness) ณ จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์บิสกิต โดยใช้หัวใบมีดกดลงที่จุดกึ่งกลางของบิสกิตในทิศทางตั้งฉากด้วยความเร่ง 2 เซนติเมตร ความเร็ว 3 มิลลิเมตรต่อวินาที แรงกด 500 gf กดลงจนกระทั่งบิสกิตแตก บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกจากกราฟความสัมพันธ์ของแรง (กรัม) และเวลา (วินาที) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

3) การวิเคราะห์คุณภาพด้านสี ด้วยเครื่อง Handy Colorimeter โดยใช้ระบบ L*a*b* ซึ่ง L* หมายถึง ความสว่าง (lightness) มีค่า +L* แสดงถึงสีขาว จนไปถึง -L* แสดงถึงสีดำ a* หมายถึง สีจากเขียว (-a*) ไปจนถึงแดง (+a*) และ b* หมายถึง สีจากน้ำเงิน (-b*) ไปจนถึงสีเหลือง (+b*) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

3.6.3.5 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์บิสกิตสูตรต่างๆ มาทดสอบโดยทำการประเมินคุณภาพด้านความชอบ โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นนักศึกษาภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ประเมินคุณภาพด้วยวิธี 7-Point-Hedonic Scale (7= ชอบมากที่สุด, 1= ไม่ชอบมากที่สุด) ในด้านคุณลักษณะ รสชาติ กลิ่น ความกรอบ และความชอบโดยรวม

3.7 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของบิสกิตในระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์บิสกิตที่ผสมถั่วเน่าผงในปริมาณที่เหมาะสม จากข้อ 3.6 มาเก็บรักษาในกล่องพลาสติกใส ขนาด กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร บรรจุใส่ในกล่องเป็นจำนวน 60 ชิ้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ทำการตรวจสอบคุณภาพของบิสกิตทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ได้แก่

1) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี

2) คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส (ค่าความแข็ง)

3) ประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสโดยนำผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ 0 วัน โดยประเมินคุณภาพทางด้าน ความกรอบ กลิ่น และรสชาติ

3.8 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การตรวจวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับการทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 25.0 เมื่อความแปรปรวนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างคุณภาพของถั่วเหลืองและถั่วขาว คุณภาพของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว ใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ ด้วยวิธี T-test

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของถั่วเหลืองและถั่วขาว

จากการนำถั่วเหลืองและถั่วขาวมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณความชื้น 8.55 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 17.09 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 20.24 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 5.38 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณโดยหักลบผลรวมน้ำหนักของโปรตีน ความชื้น ไขมันและเถ้า มีค่า 48.75 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ของ อาณดีและประไพศรี (2543) พบว่าถั่วเหลืองมีปริมาณความชื้น 7.80 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 35.70 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 16.50 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 6.00 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรต 12.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีปริมาณของความชื้น ไขมันและเถ้าที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่มีปริมาณของโปรตีนแตกต่างกัน อาจเนื่องจากสายพันธุ์ของถั่วเหลืองที่นำมาวิเคราะห์มีความแตกต่างทางสายพันธุ์ ส่วนถั่วขาวมีปริมาณความชื้น 10.15 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 14.68 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.56 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 4.65 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรต 68.73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของจิราวรรณและรัชฎาพร (2559) พบว่าถั่วขาวมีปริมาณความชื้น 11.07 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 20.28 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.80 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 4.10 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรต 62.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถั่วขาวมีปริมาณของความชื้น ไขมันและเถ้าที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่มีปริมาณของโปรตีนที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของสายพันธุ์เช่นเดียวกับถั่วเหลือง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของถั่วเหลืองและถั่วขาว

องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น	ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)	ถั่วขาว (เปอร์เซ็นต์)
ความชื้น	$8.55^{b} \pm 0.03$	$10.15^{a} \pm 0.05$
โปรตีน	$17.09^{a} \pm 1.63$	$14.68^{a} \pm 2.22$
ไขมัน	$20.24^{a} \pm 0.47$	$1.56^{b} \pm 0.45$
เถ้า	$5.38^{a} \pm 0.02$	$4.65^{b} \pm 0.06$
คาร์โบไฮเดรต*	$48.75^{b} \pm 1.22$	$68.95^{a} \pm 1.79$

หมายเหตุ : a-b อักษรต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) วิเคราะห์โดยวิธี T-test

: *เป็นค่าที่รวมกับใยอาหาร

และเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองและถั่วขาวพบว่า ปริมาณความชื้นของถั่วเหลืองและถั่วขาวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าปริมาณความชื้นของถั่วเหลืองและถั่วขาว มีค่า 8.55 และ 10.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณโปรตีนของถั่วเหลืองและถั่วขาว มีค่า 17.09 และ 14.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ปริมาณไขมันของถั่วเหลืองและถั่วขาว มีค่า 20.24 และ 1.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณไขมันของถั่วเหลืองมีค่าสูงกว่าถั่วขาว ซึ่งมีความแตกต่าง

คาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าถั่วขาวโดยมีค่าเท่ากับ 48.75 และ 68.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการที่ถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าถั่วขาว เมื่อนำมาคำนวณคาร์โบไฮเดรตจึงส่งผลทำให้ถั่วเหลืองมีค่าต่ำกว่าถั่วขาว

4.2 การเปรียบเทียบคุณภาพของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

ทำการหมักถั่วเหลืองและถั่วขาวด้วยหัวเชื้อ *Bacillus subtilis* TISTR 001 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน พบว่าถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว มีลักษณะของถั่วเป็นเมล็ดไม่เละ เกิดเมือกสีขาวหนืดๆ เล็กน้อย มีการยึดเกาะกันของถั่วเป็นก้อนๆ และถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองมีกลิ่นฉุนของแอมโมเนียที่ค่อนข้างแรงกว่าถั่วขาว เมื่อพิจารณาสี พบว่าสีของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาวจะมีสีน้ำตาลเข้มกว่าถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของถั่วเน่าจากถั่วเหลือง (ก.) และถั่วขาว (ข.)

จากนั้นนำถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาวไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง และบดให้ละเอียดโดยเครื่องบดอาหารจะได้หัวเชื้อผง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งพบว่าลักษณะของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว เมื่อผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 เมช พบว่าถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาว มีลักษณะคล้ายแป้งสาลี เป็นผงละเอียดมากกว่า มีกลิ่นฉุนเล็กน้อยและมีสีน้ำตาลอ่อนกว่าถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง หลังจากนั้นนำผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาวที่ได้ ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

รูปที่ 4.2 ลักษณะของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลือง (ก.) และถั่วขาว (ข.)

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

จากการนำถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาวมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต ความเป็นกรด-ด่าง ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และค่าสี (L*a*b*) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าวอเตอร์แอคติวิตี และค่าสีของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น		ถั่วเหลือง	ถั่วขาว
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)		7.02 ^{a} ± 0.04	6.23 ^{b} ± 0.08
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)		34.67 ^{a} ± 4.02	15.97 ^{b} ± 1.19
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)		23.02 ^{a} ± 4.96	3.97 ^{b} ± 2.21
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)		3.74 ^{a} ± 0.29	1.91 ^{b} ± 0.12
คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)*		31.55 ^{b} ± 7.08	71.92 ^{a} ± 2.50
ความเป็นกรด-ด่าง		8.08 ^{b} ± 0.03	8.22 ^{a} ± 0.03
ค่าวอเตอร์แอคติวิตี		0.52 ^{b} ± 0.01	0.33 ^{a} ± 0.00
ค่าสี	L*	69.99 ^{b} ± 0.04	96.03 ^{a} ± 0.16
	a*	21.90 ^{a} ± 0.04	10.47 ^{b} ± 0.02
	b*	51.05 ^{a} ± 0.06	35.73 ^{b} ± 0.07

หมายเหตุ : a-b อักษรต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) วิเคราะห์โดยวิธี T-test

: *เป็นค่าที่รวมกับใยอาหาร

: ค่า L* หมายถึงความสว่าง a* หมายถึงสีแดง (+), สีเขียว (-) และ b* หมายถึงสีเหลือง (+), สีน้ำเงิน (-)

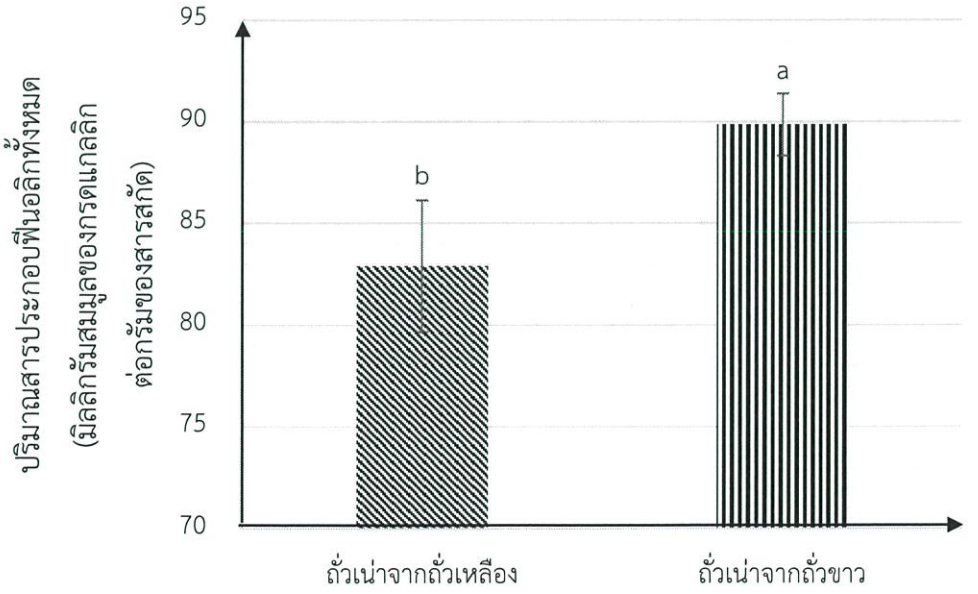
จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาวมีค่า 7.02 และ 6.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปรตีนของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว พบว่ามีค่า 34.67 และ 15.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่ามีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นหลังจากที่ผ่านกระบวนการหมัก มีรายงานการวิจัยของ Omafuvbe และคณะ (2002) ได้กล่าวว่ากระบวนการหมักถั่วด้วยเชื้อ *Bacillus subtilis* มีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์โปรติเอสเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณกรดอะมิโนอิสระเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ วิลาวัณย์ (2539) ได้รายงานไว้ว่าโปรตีนจะถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์หรือของอาหารเองไปเป็นพอลิเปปไทด์ เปปไทด์หรือกรดอะมิโน ส่วนปริมาณไขมันของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว พบว่ามีค่า 23.02 และ 3.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณไขมันของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาวนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีรายงานการวิจัยของ Terlabie และคณะ (2006) กล่าวว่าในระหว่างกระบวกการหมักการทำงานของเอนไซม์ไลเปสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 24 ชั่วโมงแรก ทำให้ไขมันถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ไขมันมีปริมาณสูงขึ้นในถั่วเน่า ในขณะที่ปริมาณเถ้าของถั่ว

เน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว มีค่า 3.74 และ 1.91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง พบว่ามีค่า 31.55 ต่ำกว่าถั่วขาวมีค่าเท่ากับ 71.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว พบว่ามีค่า 8.08 และ 8.22 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ที่มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยอยู่ในช่วง 0.33 ถึง 0.52 ค่าสี (L*a*b*) ของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง มีค่า L*a*b* เท่ากับ 69.99 21.90 และ 51.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนถั่วขาวพบว่ามีค่า L*a*b* เท่ากับ 96.03 10.47 และ 35.73 ตามลำดับ เนื่องจากถั่วเน่าที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการอบ พบว่า ถั่วขาวมีสีเข้มกว่าถั่วเหลือง แต่เมื่อผ่านการอบ บดและร่อนพบว่า ถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาวมีสีขาวซึ่งอ่อนกว่าถั่วเหลือง ส่งผลให้ค่า L* ที่ได้มีค่าสูงกว่าถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง

4.2.2 คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

4.2.2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

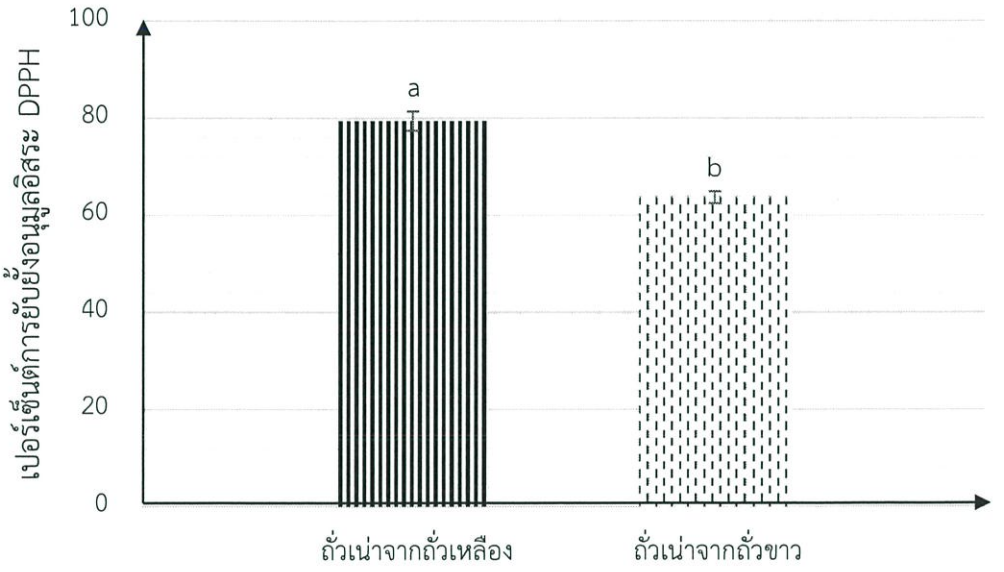
เมื่อนำถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาวมาวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 82.90 และ 89.86 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการหมักสูงกว่าถั่วขาวที่ผ่านกระบวนการหมัก ซึ่งมีรายงานวิจัยของ Chaia และคณะ (2012) กล่าวว่าเมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มมากขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของถั่วหมักจะสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด) ของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

4.2.2.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว พบว่าสารสกัดจากถั่วเน่าที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 79.43 และ 63.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

จากผลการทดลอง พบว่าถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาว แสดงให้เห็นว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไม่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด นั่นคือเมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงแต่ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าต่ำ มีรายงานการวิจัยของ วรวลัญช์ (2557) รายงานไว้ว่า สารสกัดจากถั่วเหลืองมีปริมาณฟีนิลิกทั้งหมดสูง

4.2.3 การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

จากการทดลองผสมผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาวลงในส่วนผสมของบิสกิตในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยทำการประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ในด้านความกรอบ รสชาติ กลิ่นถั่วและความชอบโดยรวม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตที่ผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

คุณลักษณะ	ถั่วเหลือง	ถั่วขาว
ความกรอบ	$3.37^{b} \pm 1.20$	$5.67^{a} \pm 1.06$
รสชาติ	$4.13^{b} \pm 1.25$	$5.57^{a} \pm 0.97$
กลิ่นถั่ว	$4.83^{a} \pm 1.29$	$5.07^{a} \pm 1.41$
ความชอบโดยรวม	$4.23^{b} \pm 1.10$	$5.70^{a} \pm 0.79$

หมายเหตุ : a-b อักษรต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) วิเคราะห์โดยวิธี T-test

จากตารางที่ 4.3 พบว่าคะแนนความชอบของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาวในด้านความกรอบ รสชาติและความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้านความกรอบ พบว่าบิสกิตที่ผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุดเท่ากับ 5.67 ในขณะที่บิสกิตที่ผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองมีคะแนนความชอบเท่ากับ 3.37 เนื่องจากการเติมผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาวทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่วลงในผลิตภัณฑ์ ทำให้มีผลต่อความแข็งของบิสกิตเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ กมลวรรณและคณะ (2544) ได้ทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเสริมโปรตีนและเส้นใยอาหาร พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดทดแทนแป้งสาลีในสูตร คุณสมบัติของโปรตีนจากถั่วส่วนใหญ่มีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำจะสามารถดูดซับน้ำได้ดี มีผลทำให้บิสกิตที่ได้มีความชื้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงถั่วเน่าที่ทดแทนและส่งผลต่อความกรอบเพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาวมากกว่าถั่วเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับค่าลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ ที่สูงขึ้นและมีแนวโน้มเดียวกับคะแนนความชอบของความกรอบที่ถั่วเหลืองมีคะแนนความชอบของความกรอบน้อยกว่าถั่วขาว เนื่องจากถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าถั่วขาวด้านรสชาติ พบว่าการเติมถั่วเน่าจากถั่วขาวลงไปในส่วนผสมของบิสกิต มีคะแนนการยอมรับมากกว่าถั่วเน่าจากถั่วเหลืองซึ่งเป็นผลมาจากผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองมีลักษณะของผงที่หยาบกว่าผงถั่วเน่าจากถั่วขาวซึ่งมีลักษณะของผงที่เนียนละเอียดคล้ายแป้ง บิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองจากการที่ทานเข้าไปมีกลิ่นถั่วที่แรงกว่าถั่วขาว ทำให้ผู้ทดสอบยอมรับบิสกิตจากถั่วขาวมากกว่าถั่วเหลือง ด้านกลิ่นถั่ว พบว่ามีคะแนนการยอมรับที่ไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) คะแนนการยอมรับเกิดขึ้นโดยกลิ่นถั่วที่เกิดจากการดมของบิสกิตที่ยังไม่ได้ผ่านการชิม แต่อย่างไรก็ตามถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาวจึงเป็นที่ยอมรับมากกว่า เนื่องจากมีกลิ่นของถั่วเน่าที่ไม่แรงเท่าถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและความชอบโดยรวม พบว่าบิสกิตที่ผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุดเท่ากับ 5.70 ในขณะที่บิสกิตที่ผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองมีคะแนนความชอบเท่ากับ 4.37 เป็นผลมาจากบิสกิตที่ผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว มีคะแนนความชอบจากคุณลักษณะที่ทดสอบสูงกว่าถั่วเหลือง

ดังนั้นจากผลการประเมินความชอบทางด้านประสาทสัมผัสซึ่งพบว่า ถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาวมีคะแนนความชอบทุกคุณลักษณะที่ทดสอบสูงสุดและมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่สูง อีกทั้งผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาวมีองค์ประกอบของไขมันที่ต่ำและคาร์โบไฮเดรตที่สูง จึงมีคุณค่าทางโภชนาการและถั่วขาวยังมีคุณสมบัติที่โดดเด่นในด้านการควบคุม

น้ำหนักและป้องกันโรคต่างๆ ที่สืบเนื่องมาจากภาวะน้ำหนักที่ตัวเกิน เช่น ความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะไขมันในเลือดสูง เป็นต้น จึงเลือกสูตรบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว นำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพต่อไป

4.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว

จากการคัดเลือกถั่วเน่าจากถั่วขาวที่เหมาะสม เพื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการพัฒนาบิสกิตเพื่อสุขภาพ พบว่าถั่วเน่าที่ทำมาจากถั่วขาวเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงทดลองนำเอาถั่วเน่าผงจากถั่วขาวมาทดแทนแป้งสาลี ในปริมาณ 10 14 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ในการทำบิสกิตจากนั้นนำบิสกิตที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลดังนี้

4.3.1 คุณภาพทางเคมีเบื้องต้น

จากการนำบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาวในปริมาณต่างๆ มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรตและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตีของบิสกิตผสมถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (เปอร์เซ็นต์)	ตัวอย่างของบิสกิต			
	สูตรควบคุม	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
ความชื้น	$2.22^{c} \pm 0.09$	$2.23^{c} \pm 0.10$	$5.08^{b} \pm 0.07$	$5.65^{a} \pm 0.10$
โปรตีน	$5.55^{a} \pm 0.70$	$6.16^{a} \pm 1.65$	$6.92^{a} \pm 0.70$	$7.53^{a} \pm 0.99$
ไขมัน	$14.95^{a} \pm 0.52$	$15.25^{a} \pm 0.37$	$15.37^{a} \pm 0.68$	$15.82^{a} \pm 0.54$
เถ้า	$2.34^{b} \pm 0.03$	$2.53^{a} \pm 0.04$	$2.40^{b} \pm 0.09$	$2.36^{b} \pm 0.05$
คาร์โบไฮเดรต	$74.95^{a} \pm 0.92$	$73.84^{a} \pm 1.48$	$70.23^{b} \pm 1.40$	$68.64^{b} \pm 1.45$
ค่า A_w	$0.21^{d} \pm 0.06$	$0.33^{c} \pm 0.03$	$0.44^{b} \pm 0.01$	$0.52^{a} \pm 0.01$

หมายเหตุ : a-d อักษรต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
บิสกิตสูตรควบคุม หมายถึง บิสกิตที่ไม่มีส่วนผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว
บิสกิตสูตร 1 หมายถึง บิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว 10 เปอร์เซ็นต์
บิสกิตสูตร 2 หมายถึง บิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว 14 เปอร์เซ็นต์
บิสกิตสูตร 3 หมายถึง บิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว 18 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณความชื้นของบิสกิตสูตรควบคุม สูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 2.22 2.23 5.08 และ 6.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณความชื้นของบิสกิตสูตรควบคุม สูตรที่ 2 และ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สูตรที่ 1 นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม การเพิ่มปริมาณของถั่วเน่าผงจากถั่วขาวเพื่อมาทดแทนแป้งสาลีบางส่วนนั้น มีผลทำให้ปริมาณความชื้นของบิสกิตเพิ่มขึ้น มีรายงานการวิจัยของ บุศรินทร์ (2559) ได้รายงานไว้ว่าการเติมแป้งถั่วขาวมากขึ้นจะทำให้ขนมปังมีโปรตีน เส้นใย เถ้า ลดลงและมีความชื้นเพิ่มขึ้นจากขนมปังสูตรมาตรฐาน

ปริมาณโปรตีนของบิสกิตสูตรควบคุม สูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณการทดแทนด้วยถั่วเน่าที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 5.55 6.16 6.92 และ 7.53 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ปริมาณโปรตีนของบิสกิตทั้ง 4 สูตร พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าปริมาณของถั่วเน่าผงจากถั่วขาวเพื่อมาทดแทนแป้งสาลีบางส่วน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนของบิสกิตเล็กน้อย

ปริมาณไขมันของบิสกิตสูตรควบคุม สูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 มีค่า 14.95 15.25 15.37 และ 15.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมถั่วเน่าผงจากถั่วขาวเพื่อมาทดแทนแป้งสาลีบางส่วน ในปริมาณ 10-18 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันของบิสกิตเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

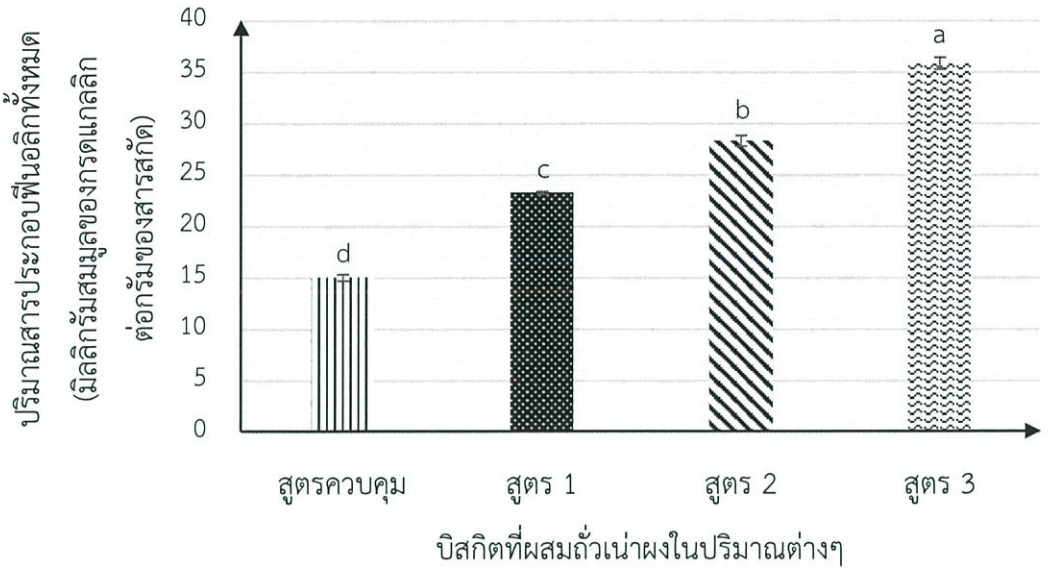
ปริมาณเถ้าของบิสกิตทั้ง 4 สูตร มีปริมาณที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 2.34 - 2.53 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการเติมถั่วเน่าผงจากถั่วขาวเพื่อมาทดแทนแป้งสาลีบางส่วน นั้นมีผลทำให้ปริมาณเถ้าของบิสกิตลดลงเล็กน้อย

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของบิสกิตมีแนวโน้มลดลง เมื่อทดแทนแป้งสาลีด้วยถั่วเน่าผง พบว่าสูตรควบคุม สูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 มีค่า 74.95 73.84 70.23 และ 68.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยพบว่าการเติมถั่วเน่าผงทดแทนแป้งสาลี 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต มีค่าไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเน่าตั้งแต่ 14 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

สำหรับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตสูตรควบคุม สูตร 1 สูตร 2 และสูตร 3 มีค่า 0.21 0.33 0.44 และ 0.52 ตามลำดับ โดยพบว่าค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตทั้ง 4 สูตร นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมถั่วเน่าผงจากถั่วขาว เพื่อทดแทนแป้งสาลีบางส่วน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิต ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของบิสกิตที่ผสมถั่วเน่าผงในปริมาณต่างๆ พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของบิสกิตสูตรควบคุม สูตรที่ 1 2 และ 3 ดังนี้ 15.03 23.30 28.33 และ 35.88 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดตามลำดับ โดยพบว่าผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณผงถั่วเน่ามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด) ของบิสกิตที่ผสมถั่วเน่าผงในปริมาณต่างๆ

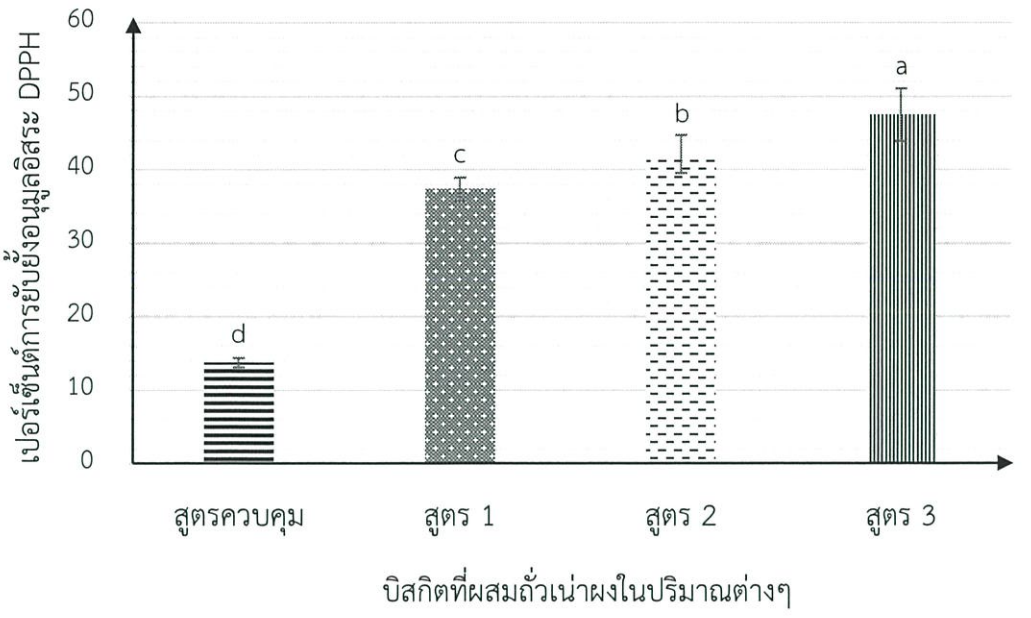
หมายเหตุ |||| หมายถึง บิสกิตสูตรควบคุม
▩ หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 10 เปอร์เซ็นต์
▨ หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 14 เปอร์เซ็นต์
▒ หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 18 เปอร์เซ็นต์

การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เมื่อเพิ่มปริมาณผงถั่วเน่าจากถั่วขาว เป็นผลมาจากถั่วเน่าจากถั่วขาวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณผงถั่วเน่าในส่วนผสมของบิสกิตจึงส่งผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่วิเคราะห์ได้จึงมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกที่เป็นองค์ประกอบในถั่วขาว เช่น ฟาซิโอลามีน สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ และไอโซฟลาโวน เป็นต้น (วรวลัญช์, 2557)

4.3.3 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

จากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของบิสกิตผสมถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ พบว่าสารสกัดจากถั่วเน่าที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของบิสกิตสูตรควบคุม สูตรที่ 1 2 และ 3 ดังนี้ 13.76 37.35 42.13 และ 47.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.6

จากการทดลอง พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของบิสกิต มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด นั่นคือเมื่อมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ก็จะเพิ่มขึ้น

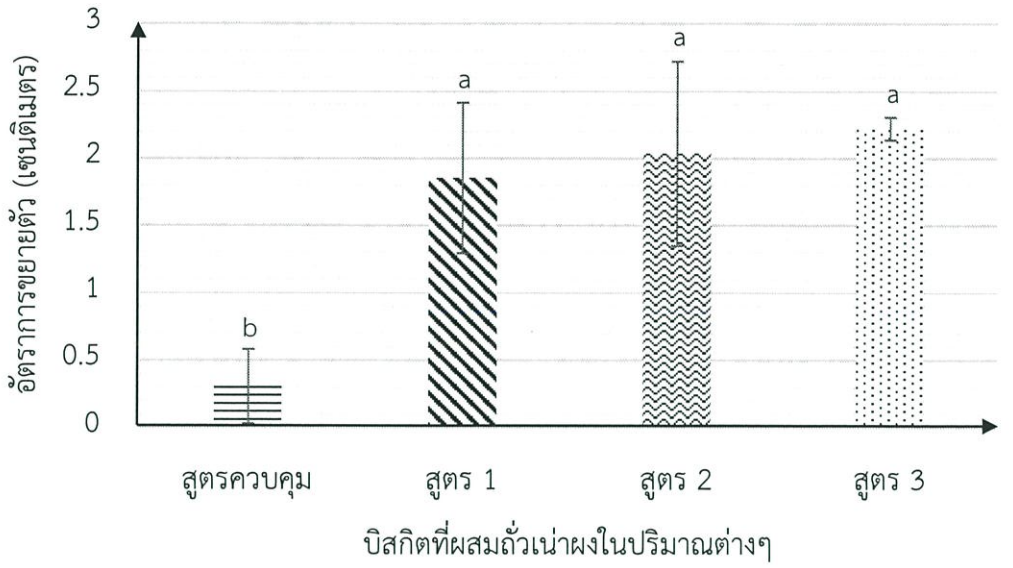


รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของบิสกิตผสมถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ

หมายเหตุ ≡ หมายถึง บิสกิตสูตรควบคุม
▒ หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 10 เปอร์เซ็นต์
-:- หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 14 เปอร์เซ็นต์
||||| หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 18 เปอร์เซ็นต์

4.3.4 การขยายตัวของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ

จากการตรวจสอบการขยายตัวของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ โดยใช้เวอร์เนียคาริปเปอร์วัดความกว้างและความหนาของผลิตภัณฑ์บิสกิตทั้งก่อนอบและหลังอบ พบว่าผลิตภัณฑ์บิสกิตสูตรควบคุม สูตรที่ 1 2 และ 3 มีอัตราการขยายตัวเป็น 0.31 1.86 2.04 และ 2.22 เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงถั่วเน่าลงในส่วนผสมของบิสกิตในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้อัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์บิสกิตเพิ่มขึ้น การขยายตัวของบิสกิตสูตรควบคุม สูตรที่ 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่สูตรที่ 3 มีอัตราการขยายตัวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 4.7

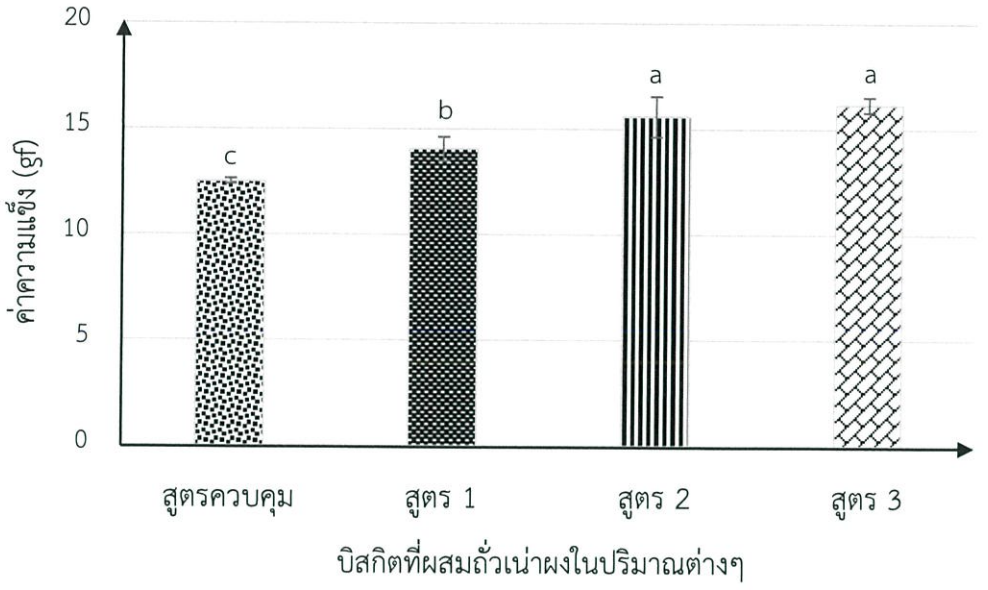


รูปที่ 4.7 การขยายตัวของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ

หมายเหตุ ≡ หมายถึง บิสกิตสูตรควบคุม
▨ หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 10 เปอร์เซ็นต์
▨ หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 14 เปอร์เซ็นต์
▨ หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 18 เปอร์เซ็นต์

4.3.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ

จากการนำผลิตภัณฑ์ของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ มาวัดค่าความแข็ง พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณผงถั่วเน่าในส่วนผสมของบิสกิตโดยบิสกิตสูตรควบคุม สูตรที่ 1 2 และ 3 มีค่าแรงกดเป็น 12.51 14.05 15.59 และ 16.16 gf ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อเพิ่มปริมาณผงถั่วเน่า ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) ของบิสกิตมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของบิสกิตที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของผงถั่วเน่าที่เพิ่มขึ้นในบิสกิต ความแข็งของบิสกิตมีสาเหตุมาจากความชื้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้แป้งจากโปรตีนถั่วเหลืองมีการดูดซับน้ำและส่งผลต่อบิสกิตที่ได้มีค่าความกรอบเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.8 ค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ

หมายเหตุ หมายถึง บิสกิตสูตรควบคุม
หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 10 เปอร์เซ็นต์
หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 14 เปอร์เซ็นต์
หมายถึง บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 18 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการทดลองต้องการผสมผงถั่วเน่าลงในผลิตภัณฑ์บิสกิตให้มากที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและจากการที่บิสกิตผสมถั่วเน่า 14 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากบิสกิตผสมถั่วเน่า 10 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังมีปริมาณโปรตีนและฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ที่สูงกว่าสูตรที่ผสมผงถั่วเน่า 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงคัดเลือกบิสกิตสูตรที่เติมผงถั่วเน่า 14 เปอร์เซ็นต์ มาใช้ในการศึกษาหัวข้อต่อไป

รูปที่ 4.9 บิสกิตผสมผงถั่วเน่า 14 เปอร์เซ็นต์

4.3.6 การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาว

ผลการทดสอบความชอบด้านประสาทสัมผัส โดยทำการประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาวในปริมาณต่างๆ ด้านความกรอบ รสชาติ กลิ่นถั่วและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์บิสกิตของผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยใช้แบบทดสอบแบบ 7-Point hedonic scale ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาวในปริมาณต่างๆ

คุณลักษณะ	ตัวอย่างของบิสกิต		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
ความกรอบ	6.03 ^{a} ± 0.88	5.60^{a} ± 1.06	4.96 ^{b} ± 1.22
รสชาติ	5.53 ^{a} ± 1.01	5.43 ^{a} ± 1.01	4.80 ^{b} ± 1.24
กลิ่นถั่ว	5.33 ^{a} ± 1.47	4.73 ^{ab} ± 1.20	4.46 ^{b} ± 1.38
ความชอบโดยรวม	5.70 ^{a} ± 1.06	5.67 ^{a} ± 1.03	4.87 ^{b} ± 1.28

หมายเหตุ : a-c อักษรต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
บิสกิตสูตร 1 หมายถึง บิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว 10 เปอร์เซ็นต์
บิสกิตสูตร 2 หมายถึง บิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว 14 เปอร์เซ็นต์
บิสกิตสูตร 3 หมายถึง บิสกิตที่ผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว 18 เปอร์เซ็นต์

ความกรอบของผลิตภัณฑ์บิสกิตที่ผสมถั่วเน่าจากถั่วขาวสูตร 1 2 และ 3 มีคะแนนความชอบเท่ากับ 6.03 5.60 และ 4.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบบิสกิตสูตร 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่บิสกิตสูตร 3 ที่เติมถั่วเน่าผงในปริมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีคะแนนความชอบด้านความกรอบความแตกต่างกับสูตรที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการใส่ผงถั่วเน่าจากถั่วขาวผสมในส่วนผสมของบิสกิตในปริมาณ 10 และ 14 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์บิสกิต ในขณะที่การใส่ผงถั่วเน่าจากถั่วขาวผสมลงในส่วนผสมของบิสกิต ในปริมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลต่อความกรอบของบิสกิตลดลง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถั่วเน่าจากถั่วขาวมีความชื้นเป็นองค์ประกอบ ทำให้บิสกิตที่ได้ มีรายงานการวิจัยของ นิรนาม (2558) ถั่วขาวมีปริมาณใยอาหารที่สูงมาก ซึ่งใยอาหารมีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำแล้วดูดซับน้ำไว้กับตัว

รสชาติของผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาวสูตร 1 2 และ 3 คะแนนความชอบเท่ากับ 5.53 5.43 และ 4.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบบิสกิตสูตร 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่บิสกิตสูตร 3 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสูตรที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าการใส่ผงถั่วเน่าจากถั่วขาวผสมลงในส่วนผสมของบิสกิต ในปริมาณ 10 และ 14 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์บิสกิต ในขณะที่การใส่ผงถั่วเน่าจากถั่วขาวผสมลงในส่วนผสมของบิสกิต ในปริมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลต่อรสชาติของบิสกิตลดลง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโดยส่วนใหญ่ถั่วเน่า มีรสชาติและกลิ่นที่ค่อนข้างแรง จึงมีผลต่อความความชอบหรือการยอมรับ

การเติมผงถั่วเน่าในส่วนผสมของบิสกิตในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านกลิ่นถั่วที่ลดลง บิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาวสูตร 1 2 และ 3 โดยมีคะแนนความชอบเท่ากับ 5.33 4.73 และ 4.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบบิสกิตสูตร 1 และ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการใส่ผงถั่วเน่าจากถั่วขาวผสมในส่วนผสมของบิสกิต ในปริมาณ 10 และ 14 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อกลิ่นถั่วของผลิตภัณฑ์บิสกิต ในขณะที่การใส่แป้งถั่วเน่าจากถั่วขาวผสมลงในส่วนผสมของบิสกิต ในปริมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้คะแนนความชอบของกลิ่นถั่วของบิสกิตลดลง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณผงถั่วเน่าจากถั่วขาวมากเกินไป ส่งผลให้บิสกิตที่ได้มีกลิ่นถั่วเน่าที่แรงขึ้น

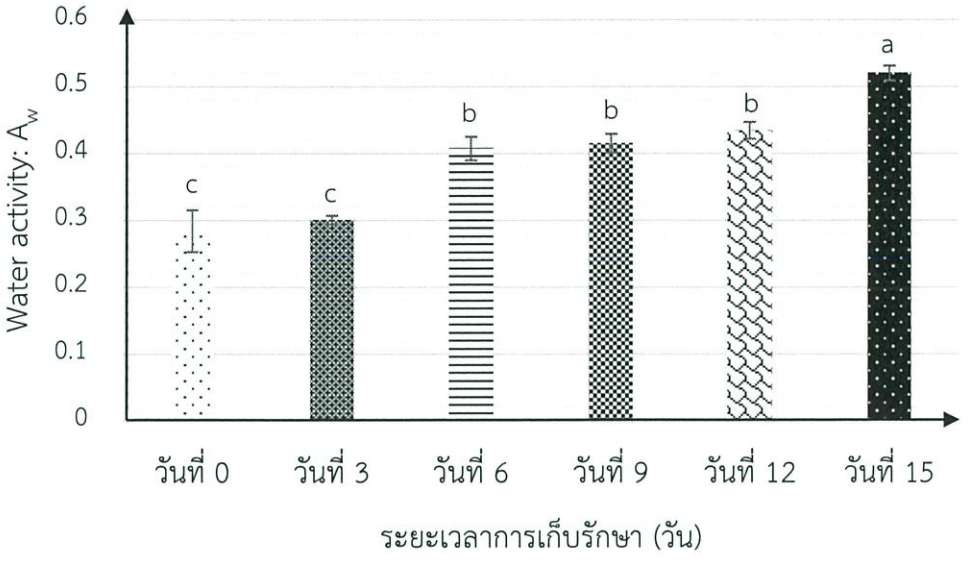
คะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาวสูตร 1 2 และ 3 มีแนวโน้มที่ลดลง เท่ากับ 5.70 5.67 และ 4.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณผงถั่วเน่าจากถั่วขาวผสมลงในส่วนผสมของบิสกิตเป็นจำนวนมาก มีผลทำให้ความกรอบ รสชาติลดลงและมีกลิ่นถั่วในผลิตภัณฑ์บิสกิตมากเกินไป ทำให้ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ จึงส่งผลต่อคะแนนความชอบโดยรวมลดลงตามปริมาณการเติมผงถั่วเน่าที่เพิ่มขึ้น

4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของบิสกิตผสมถั่วเน่าในระหว่างการเก็บรักษา

ทำการผลิตผลิตภัณฑ์บิสกิตที่ผสมถั่วเน่าในปริมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำบรรจุในกล่องพลาสติกใส ขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร โดยบรรจุกล่องละ 60 ชิ้น โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 32 องศาเซลเซียส ในวันที่ 0 3 6 9 12 และ 15 วัน และนำตัวอย่างบิสกิตมาตรวจสอบคุณภาพ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.4.1 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตในระหว่างการเก็บรักษา

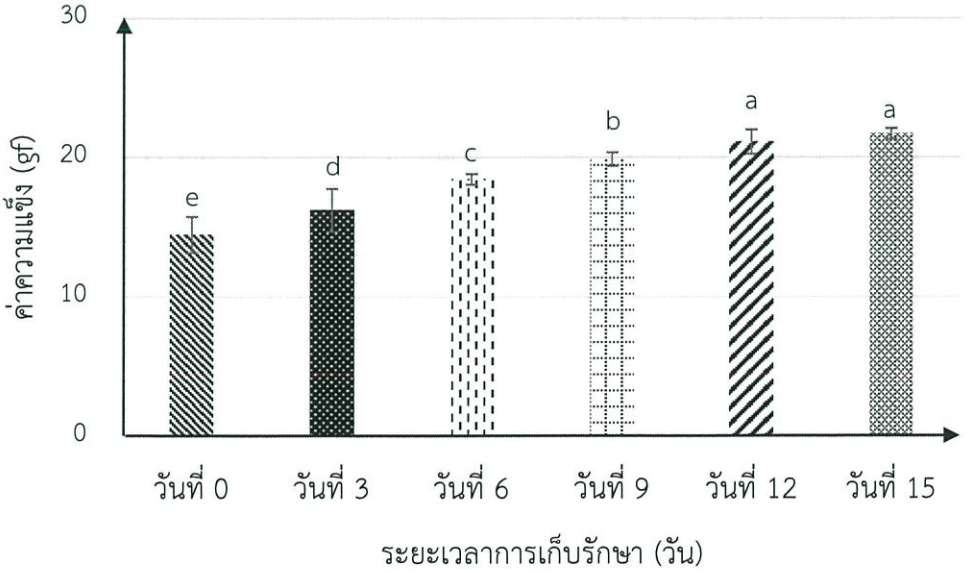
จากการวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาบิสกิตเพิ่มขึ้น มีผลทำให้บิสกิตมีความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตที่วิเคราะห์ได้จึงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา โดยบิสกิตที่เก็บรักษาที่ 0 วัน มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เป็น 0.28 และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.30 0.41 0.42 0.43 และ 0.52 ตามลำดับ เมื่อเทียบค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตสูตรควบคุมกับบิสกิตที่เก็บรักษาในวันที่ 6 9 และ 12 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่บิสกิตสูตรควบคุมกับบิสกิตที่เก็บรักษา 3 และ 15 วัน นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากรายงานวิจัย Robertson (2013) ได้รายงานไว้ว่า ผลิตภัณฑ์บิสกิตโดยทั่วไปมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นค่าที่ปลอดภัยจากการเสื่อมเสียของจุลินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตที่ผสมถั่วเน่าในระหว่างการเก็บรักษาต่างๆ

4.4.2 คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ของบิสกิตจากการเก็บรักษาในวันที่ 0 3 6 9 12 และ 15 วัน มีค่าแรงกดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเป็น 14.47 16.23 18.45 19.89 21.14 และ 21.72 gf ตามลำดับ โดยค่าความแข็งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรควบคุมตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และค่าความแข็งมีความสัมพันธ์กัน จากการทดลองในหัวข้อ 4.4.1 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษา ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตในระหว่างการก็บรักษาต่างๆ

4.4.3 ผลทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาวในระหว่างการเก็บรักษา

ผลการทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาวในระหว่างการเก็บรักษาโดยเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์บิสกิตที่เก็บรักษา 0 วัน (สูตรควบคุม) โดยทำการประเมินความแตกต่างของบิสกิตในด้านความกรอบ รสชาติ กลิ่นถั่ว ทดสอบกับผู้ทดสอบจำนวน 30 คน และนำผลที่ได้มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความแตกต่างทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาวในระหว่างการเก็บรักษาต่างๆ

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ความแตกต่าง			
		แตกต่าง		ไม่แตกต่าง	
		จำนวน (คน)	เปอร์เซ็นต์	จำนวน (คน)	เปอร์เซ็นต์
3	กลิ่นถั่ว	26	86.67	4	13.33
	ความกรอบ	23	76.67	7	23.33
	รสชาติ	26	86.67	4	13.33
6	กลิ่นถั่ว	28	93.33	2	6.67
	ความกรอบ	28	93.33	2	6.67
	รสชาติ	26	86.67	4	13.33
9	กลิ่นถั่ว	27	90	3	10
	ความกรอบ	24	80	6	20
	รสชาติ	28	93.33	2	6.67
12	กลิ่นถั่ว	24	80	6	20
	ความกรอบ	25	83.33	5	16.67
	รสชาติ	23	76.67	7	23.33
15	กลิ่นถั่ว	28	93.33	2	6.67
	ความกรอบ	28	93.33	2	6.67
	รสชาติ	26	86.67	4	13.33

หมายเหตุ : เปรียบเทียบความแตกต่างกับบิสกิตวันที่ 0

จากการทดสอบ พบว่าส่วนใหญ่แล้วผู้ทดสอบให้คะแนนความแตกต่างทุกคุณลักษณะที่ทดสอบ ตั้งแต่วันที่ 3 เป็นต้นไป โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของวันที่ 3 ถึง 15 ในด้านกลิ่นถั่วอยู่ในช่วง 80.00 - 93.33 ความแตกต่างของความกรอบอยู่ในช่วง 76.67 - 93.33 ความแตกต่างของด้านรสชาติอยู่ในช่วง 76.67 - 93.33 ซึ่งกลิ่นถั่วที่แรงขึ้น อาจเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ทำให้เกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ (เกศสุดาและคณะ, 2554) และความกรอบที่แข็งขึ้นเป็นผลมาจากความชื้นที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้บิสกิตมีความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในขณะที่มีผู้ทดสอบไม่ให้คะแนนความแตกต่างด้านกลิ่นถั่วอยู่ในช่วง 6.67 - 20.00 ด้านความกรอบอยู่ในช่วง 6.67 - 23.33 และไม่มีความแตกต่างด้านรสชาติอยู่ในช่วง 6.67 - 23.33 จากคะแนนของผู้ทดสอบ

ด้านรสชาติ พบว่ารสชาติที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากกลิ่นถั่วที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น คะแนนของกลิ่นถั่วและความกรอบต่างกันมาก เมื่อเทียบกับวันที่ 3 ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับความสามารถในการประเมินแบบทดสอบของแต่ละผู้ทดสอบแตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ตามการที่บิสกิตผสมถั่วเน่ามีความแตกต่างจากบิสกิตสูตรควบคุมตั้งแต่วันที่ 3 ทั้งที่อาจเนื่องมาจากภาชนะบรรจุที่ไม่สามารถป้องกันอากาศและความชื้นได้ดี จึงส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์บิสกิตที่เก็บรักษานานขึ้นมีคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่ลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณภาพของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลืองและถั่วขาว เพื่อนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพพบว่า ผงถั่วเน่าจากถั่วขาวมีความเหมาะสม เนื่องจากลักษณะของผงที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีสีขาวและจากการวิเคราะห์คุณภาพ พบว่าผงถั่วเน่าจากถั่วขาวมีปริมาณไขมันต่ำ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระมีค่าค่อนข้างสูงและเมื่อนำไปทดลองผสมในการทำบิสกิตพบว่าผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาวมีคะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัสทุกคุณลักษณะที่ทำการทดสอบสูงที่สุด

จากการทดลองนำผงถั่วเน่าจากถั่วขาวมาทดลองแปรปริมาณต่างๆ เพื่อทดแทนแป้งสาลีในสูตรบิสกิต พบว่าการผสมผงถั่วเน่าในปริมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ เป็นสูตรที่เหมาะสม จากการที่มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นเป็น 6.92 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่มีปริมาณ 5.55 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 28.83 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด และมีเปอร์เซ็นต์ของฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 42.13 ซึ่งมากกว่าสูตรควบคุม 3 เท่า รวมทั้งมีคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับปานกลางถึงชอบมาก (5.67 คะแนน)

เมื่อนำเอาบิสกิตสูตรที่ผสมผงถั่วเน่าปริมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้มีค่าต่ำอยู่ในช่วง 0.28-0.52 จากการวัดเนื้อสัมผัสพบว่าบิสกิตมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากการทดสอบความแตกต่างทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าการเก็บรักษาบิสกิตตั้งแต่วันที่ 3 ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คะแนนความแตกต่างทุกคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่ใช้ทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับบิสกิตสูตรควบคุม (เก็บรักษา 0 วัน)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) เลือกภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์บิสกิตที่สามารถป้องกันความชื้นและอากาศ เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์บิสกิตได้นานขึ้น

2) ปรับปรุงส่วนผสมเพื่อลดปริมาณไขมันในสูตรลง โดยที่ผู้บริโภคให้การยอมรับเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีประโยชน์ต่อสุขภาพ

3) อาจปรับเปลี่ยนวัตถุดิบที่มีปริมาณโปรตีนที่สูง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายและมีคุณภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กมลวรรณ แจ้งชัด, อรอนงค์ นัยวิกุล, ธงชัย สุวรรรสิชณน์, ประชา บุญญสิริกุลและดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. 2554. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเสริมโปรตีนและเส้นใยอาหาร”. หน้า 417-424. ใน **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกศสุดา จอบุญ, เพ็ญขวัญ ชมปรีดาและวิชัย หฤทัยธนาสันต์. 2554. **การพัฒนากระบวนการผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงป่นลดไขมันบรรจุซอง**. [Online]. Available: http://gsbooks.gs.kku.ac.th/54/grc12/files/bmp22.pdf.

เกรียงศักดิ์ ไชยโรจน์. 2531. **การวิเคราะห์สารให้กลิ่นของถั่วเน่า**. [Online]. Available: http://newtdc.thailis.or.th/docview.aspx?tdcid=107310.

จิราวรรณ อุ่นเมตตาอารีและรัชฎาพร อุ่นศิวิไลย์. 2559. **ชีวภาพพร้อมใช้และการนำไปใช้ทางชีวภาพของสารสกัดถั่วขาว**. [Online]. Available: http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/296041/bd412dec3160e3ac77e43274a55f43eb?Resolve_DOI=10.14455/NRCT.res.2016.8.

เจนจิรา จิรัมย์และประสงค์ สีหานาม. 2554. “อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา.” *วารสารวิชาการ*, มหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์. 1(1): 59-70

เตชิต พรทิพย์. 2559. **ลักษณะของถั่วเหลือง** [Online]. Available: https://www.sites.google.com/site/soybeaneiei/laksna-khxng-thaw-heluxng.

ทิพย์สุดา รันนัน. 2557. **ถั่วเน่าอาหารภูมิปัญญาพื้นบ้านล้านนา**. [Online]. Available: http://www.stou.ac.th/study/sumrit/3-58(500)/page5-3-38(500.html.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2554. **พืชเศรษฐกิจ Economic Crops 510-211**. [Online]. Available: http://www.natres.psu.ac.th/Department/PlantScience/510-211/pages/soybean.html.

ธวัชชัย ศุภดิษฐ์, ละอองดาว แสงหล้าและสุทัด ปินตาเสน. 2551. “การศึกษากระบวนการผลิตและคุณภาพของถั่วเหลืองหมัก (ถั่วเน่า) ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย.” *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม*, สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์. 4(2): 29-38.

นิรนาม. 2558. **สารสกัดถั่วขาว หรือ ฟาซิโอลามิน (Phaseolamin)**. [Online]. Available: http://www.slynboththai.com/บทความ/สารสกัดจากถั่วขาวหรือ Phaseolamin.html.

นิอร โฉมศรีและไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน. 2556. **องค์ความรู้เพื่อการเผยแพร่การผลิตถั่วเน่าจากเชื้อ *Bacillus subtilis* เพื่อใช้ในการผลิตเครื่องแกงอินทรีย์**. [Online]. Available: http://kaewpanya.rmutl.ac.th/cttc/web/KN_FilesUpload.

บุศรินทร์ จงเจริญยานนท์. 2559. “คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของถั่วขาวและการประยุกต์แป้งถั่วขาวในผลิตภัณฑ์ขนมอบ.” *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร*, มหาวิทยาลัยสยาม. 11(1): 1-12.

บุหรัน พันธุ์สวรรค์. 2556. "อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ." *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, มหาวิทยาลัยพะเยา. 21(3): 275-286.

ปริยานุช อินทรรอด. 2551. **ฤทธิ์ตานออกซิเดชัน และปริมาณสารประกอบฟนอลรวมของสวนสกัดจากตนเรวหอมและวานสาวหลง**. [Online]. Available: http://www.lib.buu.ac.th.st. biochemistry.2551/priyanut.pdf.

ปิยะวรรณ กาสลักและรัชฎาพร อุ่นศิวิไลย. 2558. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมสุขภาพจากถั่วหมัก**. [Online]. Available: http://sutir.sut.ac.th:8080.sutir.bitstream. fulltext.pdf.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2561. **Phenolic compounds/สารประกอบฟีนอล**. [Online]. Available: https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2585/ phenolic-compound.

รัชฎาพร อุ่นศิวิไลย์. 2556. **ฤทธิ์ทางชีวภาพคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของถั่วเหลืองและถั่วขาวที่ผ่านการหมัก**. [Online]. Available: http://sutir.sut.ac.th:8080. sutir.bitstream.fulltext.pdf.

วิลาสินี มีมุข, ระพี กาญจนะและอรวัลภ์ อุปถัมภานนท์. 2555. "การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังเสริมแป้งถั่วขาวโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง." *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี. 2(2): 13-21.

วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล. 2539. จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญด้านอาหาร. [Online]. Available: http://webpac.library.mju.ac.th:8080/mm/fulltext/thesis/2553/oratai_srerungru ang/chapter2.pdf.

วันชัย สมชิต. 2525. **ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย**. [Online]. Available: http://research-system.siam.edu/images/researchin.

วรวลัญช์ สำรวล. 2557. **การเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีและชีวภาพของสารสกัดจากถั่วเหลืองและถั่วเหลืองหมัก**. [Online]. Available: http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/ 123456789/5176/2/fulltext.pdf.

อาณดี นิติธรรมยงและประไพศรี ศิริจักรวาล. 2543. **บทที่ 2 ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**. [Online]. Available: http://research-system.siam.edu/images/researchin.

AACC. 1983. **Approved methods**. 10th ed., American Association of Cereal Chemists, St Paul. Minesota, USA.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed., Maryland, USA.

Bourne, M.C. 1978. "Texture profile analysis". *Food Technology*. 32: 62-66.

Chaia, C., Jua, H.K., Kimc, S.C., Parka, J., Kwona, S.W. and Lee, J. 2012. "Determination of bioactive compounds in fermented soybean products using GC/MS and further investigation of correlation of their bioactivities." *Journal of Chromatography B*. 880: 42-49.

Dajanta, K., Janpum, P. and Leksing, W. 2013. "Antioxidant capacities, total phenolics and flavonoids in black and yellow soybeans fermented by *bacillus subtilis*: a comparative study of thai fermented soybeans (thua nao)." *International Food Research Journal*. 20(6): 3125-3132.

Dauda, A.O., Abiodun, O.A., Arise, A.K. and Oyeyinka, S.A. 2018. "Nutritional and consumers acceptance of biscuit made from wheat flour fortified with partially defatted groundnut paste." *Food Science and Technology*. 90: 265-269.

Mieszkowska, A. and Marzec. A. 2016. "Effect of Polydextrose and Inulin on Texture and Consumer Preference of Short-Dough Biscuits with Chickpea Flour." *Food Science and Technology*. 73: 60-66.

Omafuvbe, B.O., Abiose, S.H. and Shonukan, O.O. 2002. "Fermentation of soybean (*Glycine max*) for soy-daddawa production by starter culture of *Bacillus*." *Food Microbiology*. 19(6): 561-566.

Polanco, E.M., Vega, R.C., Martínez, M.G., Enriquez, L.G. and Pina, G.L. 2017. "Functional and Textural Properties of a Dehulled Oat (Avena sativa L) and Pea (*Pisum sativum*) Protein Isolate Cracker." *Food Science and Technology*. 86: 418-423.

Robertson, G. L. 2013. **Food packaging: principles and practice. CRC press**. [Online]. Available: http://packaging.oie.go.th/new/admin_control/file_technology/1625970384.pdf.

Terlabie, NN., Sakyi-Dawson, E. and Amoa-Awua, W.K. 2006. "The comparative ability of four isolates of *Bacillus subtilis* to ferment soybeans into dawadawa." *International Journal of Food Microbiology*. 106(2): 145-152.

Tiwari, B.K., Brennan, C.S., Jaganmohan, R., Surabi, A. and Alagusundaramb, K. 2011. "Utilisation of Pigeon Pea (*Cajanus cajan* L.) by Products in Biscuit Manufacture." *Food Science and Technology*. 44: 1533-1537.

Wani, I.A., Sogi, D.S., Wani, A.A. and Gill, B.S. 2013. "Physico-chemical and functional properties of flours from indian kidney bean (*phaseolus vulgaris* l.) cultivars." *Food Science and Technology*. 53: 278-284.

[Online]. Available: http://www.foodietaste.com/FoodPedia_detail.asp.
วันที่สืบค้น 21 มกราคม 2561

[Online]. http://research-system.siam.edu/images/researchin/Developmen_t_of_tempeh_for_the_production_of_a_vegetarian_food_product/55555.pdf.
วันที่สืบค้น 21 มกราคม 2561

[Online]. Available: http://www.disthai.com. วันที่สืบค้น 21 มกราคม 2561

[Online]. Available: http://www.zmonline.com/random-stuff/new-zealands.
วันที่สืบค้น 21 มกราคม 2561

[Online]. Available: http://www.research-system.siam.edu/images/coop/Pizza_Low-Cost/06_ch2.pdf. วันที่สืบค้น 21 มกราคม 2561

[Online]. Available: http://www.pholfoodmafia.com/mycookingschool/downloads/10SconeBiscuit.pdf. วันที่สืบค้น 21 มกราคม 2561

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพ

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ภาชนะอลูมิเนียม (Moisture can) พร้อมฝาปิด
3. ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven method)
4. โถดูดความชื้น (desiccator) ที่มีสารดูดความชื้น

วิธีการ

1. อบถ้วยอลูมิเนียมในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ทำให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
3. นำถ้วยอลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที นำเอามาใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำไปชั่งน้ำหนักอบซ้ำ จนได้น้ำหนักคงที่ซึ่งค่าที่ได้จะแตกต่างกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่น้อยที่สุดของถ้วยอลูมิเนียมและน้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบแห้งแล้ว

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Crude fat) (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ตู้อบลมร้อน
2. เครื่องสกัดไขมันแบบ Soxhlet
3. ทิมเบิล (Thimble)
4. ตัวอย่างอาหารที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว
5. ฟลาสก์สกัดไขมัน
6. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
7. คีมคีบ (Forcep)
8. โถดูดความชื้น (Desiccator)
9. ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือด 30-50 องศาเซลเซียส

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่หาความชื้นแล้ว ประมาณ 3 กรัม ใส่บนกระดาษกรองและห่อมิดชิด
2. นำตัวอย่างที่ห่ออยู่ในกระดาษกรอง ใส่ลงในทิมเบิล
3. นำทิมเบิลใส่ใน Extraction Unit it of Soxhlet ซึ่งเชื่อมต่อกับ 1046 Service Unit โดยใช้เครื่อง adapter แล้วนำ Extraction cup ไปอบแล้วชั่งนำหนักที่แน่นอน
4. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดกลั่นที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 150 มิลลิลิตรประกอบเครื่อง Soxhlet เข้าด้วยกัน
5. ให้ความร้อนทำการสกัดไขมันจากตัวอย่างนานประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นจาก condenser มีอัตรา 150 หยดต่อนาที
6. กลั่นเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมัน นำขวดกลั่นและไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 80- 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนัก
7. อบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที และชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash) (AOAC, 2000)

วิธีการ

1. อบ Crucible ที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ชั่งใส่ Crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้วนำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ จนหมดควัน
3. นำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
4. นำออกมาใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้าจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl Method (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์การย่อย (digestion unit)
2. อุปกรณ์การกลั่น (distillation unit)
3. อุปกรณ์การไทเทรต
4. Boiling chip

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4 93-98%)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40%
3. สารละลายกรดบอริก 4%
4. Catalyst (ตัวเร่งปฏิกิริยา) ประกอบด้วย KSO_4 98% และ $CuSO_4$ 2%
5. สารละลายอินดิเคเตอร์ (Mix indicator) เตรียมโดยผสม 0.1% Bromocresol green ใน 95% แอลกอฮอล์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กับ 0.1% Methyl red ใน 95% แอลกอฮอล์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร
6. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N

วิธีการ

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม (ควรมีโปรตีนประมาณ 5 กรัม) ใส่ลงใน Kjeldalh flask เติม Mixed catalyst: $CuSO_4$ 0.1 กรัม, $NaSO_4$ 2 กรัม และconc.H_2 SO_4 25 กรัม

การย่อย

2. ย่อยบน heating mantle โดยให้ความร้อนอ่อนๆ จนกระทั่ง หมดฟองแล้วค่อยเพิ่มความร้อนอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จนกระทั่ง สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็น

การกลั่น

3. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 10-15 มิลลิลิตร นำหลอดย่อยมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่น
4. เติม 40% NaOH 40-50 มิลลิลิตร
5. นำ receiving flask ที่มี 4% boric acid อยู่ 20-25 มิลลิลิตร และเติม indicator เรียบร้อยแล้วมารองรับสารละลายที่กลั่นได้
6. กลั่นจนได้สารละลายประมาณ 25 มิลลิลิตร
7. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วย 0.1N HCl จนกระทั่ง สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอมชมพู
8. ทำ blank ตามข้อ 1-7 โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่าง

การคำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} = \frac{(A-B)\times N\times 1.4\times F}{W_t}$$

A คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

W_t คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (N)

F คือ ค่าแฟคเตอร์

5. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณโดยหักลบผลรวมน้ำหนักของโปรตีน ความชื้น ไขมัน และเถ้า ดังนี้

เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต = 100 - (% ความชื้น + % โปรตีน + % ไขมัน + % เถ้า)

6. การวิเคราะห์ค่า pH (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช
2. บีกเกอร์
3. กระดาษกรอง Whatman No.45
4. Magnetic stirrer

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน 45 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 1 นาที
2. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.45
3. นำส่วนที่ผ่านการกรองไปวัดค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอช

7. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (AwSprint Novasina TH-500,Switzerland)
2. can สำหรับวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

วิธีการ

1. เตรียมตัวอย่างที่จะทำการวัด โดยบดให้ละเอียดแล้วใส่ลงใน can ประมาณ ½ ของความสูงของ can
2. เปิดเครื่องและรอให้เครื่อง warm จนกว่าเครื่องจะขึ้นคำว่า NOVASINA จึงเริ่มทำการวัดตัวอย่างได้
3. ใช้ปากคีบตัวอย่างลงไป ปิดฝาเครื่องให้สนิทแล้วกดปุ่ม start ค้างไว้
4. เมื่อไฟสีเหลืองกระพริบที่ Analyzing รอให้เครื่องวัดตัวอย่างต่อไปจนไฟสีเหลืองเปลี่ยนมาขึ้นที่ O.K.
5. จดค่า Aw ที่เครื่องทำการวัดค่าได้ ถ้าต้องการวัดตัวอย่างใหม่ให้กดปุ่มที่ stop แล้วทำการเปลี่ยนตัวอย่าง และทำตามข้อ 3 และ 4 ต่อไป
6. เมื่อวัดตัวอย่างเรียบร้อยแล้วทำความสะอาดและปิดเครื่องให้เรียบร้อย

8. การวัดค่าสี

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี (Handy Colorimeter)
2. หลอดคิวเวทท์ (Cuvette tube) หรือตลับตัวอย่าง

วิธีการ

1. การวัดสีตัวอย่างสีเหลือง โดยการปรับมาตรฐานเครื่อง โดยใช้แผ่นเทียบมาตรฐานสีขาวและสีเหลือง

2. นำตัวอย่างใส่หลอดคิวเวทท์ (Cuvette tube) หรือตลับ แล้วนำมาวัดสีโดยเลือกฟังก์ชันเป็นระบบฮันเตอร์ บันทึกค่าที่ได้จากการวัด

ระบบฮันเตอร์ประกอบด้วยตัวแปรค่าสี 3 ค่าคือค่า L* a* b* โดยที่

ค่าสี L* เป็นค่าสีที่แสดงถึงความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) ถึง 100 (ขาว)

ค่าสี a* เป็นค่าสีหลักวัดค่าสีแดงและสีเขียว เมื่อ a* มีค่าบวกให้ค่าสีทางสีแดง แต่ถ้า a* มีค่าลบให้ค่าสีทางสีเขียว

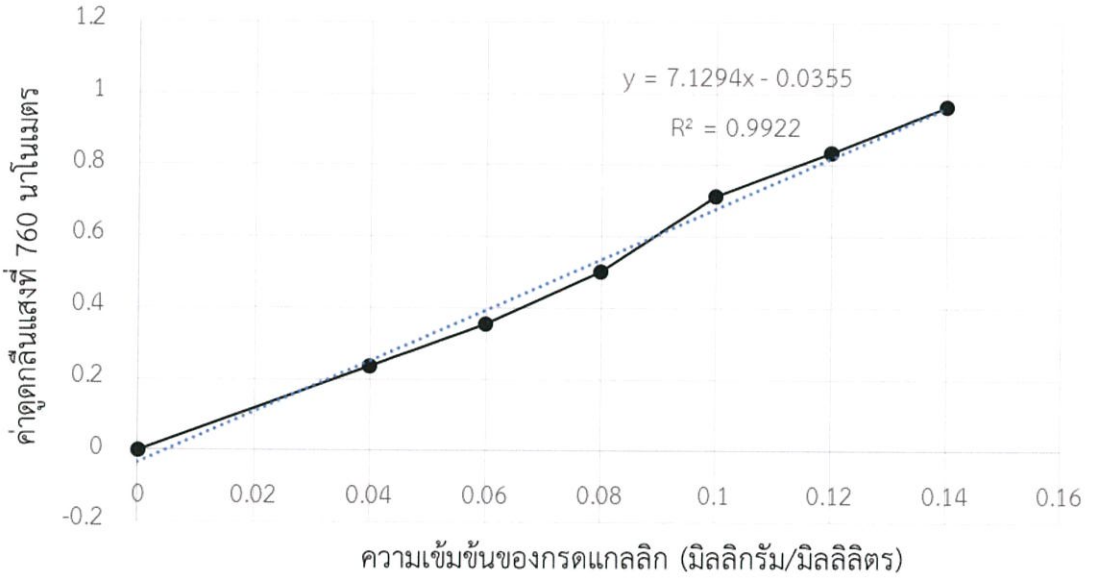
ค่าสี b* เป็นค่าสีหลักวัดค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน เมื่อ b* มีค่าบวกให้ค่าสีทางสีเหลือง แต่ถ้า b* มีค่าลบให้ค่าสีทางสีน้ำเงิน

ภาคผนวก ข.

กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

ตารางแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ของกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/มิลลิกรัม)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร
0.04	0.234
0.06	0.353
0.08	0.501
0.10	0.712
0.12	0.836
0.14	0.965



ภาคผนวก ค.

แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....เวลา.....

ตัวอย่างที่ท่านได้รับนี้ เป็นบิสกิตที่มีส่วนผสมของแป้งสาลีและแป้งถั่วเน่าในปริมาณต่างๆกัน กรุณาชิมบิสกิตที่เสิร์ฟตามลำดับที่จัดไว้ แล้วให้คะแนนตามความชอบของคุณภาพในด้านต่างๆตามที่กำหนดไว้ โดยกำหนดคะแนนดังต่อไปนี้

7 = ชอบมากที่สุด 6 = ชอบมาก 5 = ชอบน้อยที่สุด 4 = เฉยๆ

3 = ไม่ชอบเล็กน้อย 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว		
ความกรอบ		
รสชาติ		
ความชอบโดยรวม		

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

.....

แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว
ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....เวลา.....

ตัวอย่างที่ท่านได้รับนี้ เป็นบิสกิตที่มีส่วนผสมของแป้งสาลีและแป้งถั่วเน่าในปริมาณต่างๆกัน กรุณาชิมบิสกิตที่เสิร์ฟตามลำดับที่จัดไว้ แล้วให้คะแนนตามความชอบของคุณภาพในด้านต่างๆตามที่กำหนดไว้ โดยกำหนดคะแนนดังต่อไปนี้

7 = ชอบมากที่สุด 6 = ชอบมาก 5 = ชอบน้อยที่สุด 4 = เฉยๆ
3 = ไม่ชอบเล็กน้อย 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว			
ความกรอบ			
รสชาติ			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....
.....

แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว
ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....เวลา.....

การประเมินในครั้งนี้จะมีตัวอย่างผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว 2 ตัวอย่าง เพื่อใช้ทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ กรุณาเลือกชิมตัวอย่างควบคุมก่อน แล้วตามด้วยตัวอย่างที่ให้มา หลังจากนั้นประเมินผลโดยใช้เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่าง

คุณลักษณะ	มีความแตกต่าง	ไม่มีความแตกต่าง
กลิ่นถั่ว	แตกต่างเล็กน้อย _____ แตกต่างปานกลาง _____ แตกต่างมาก _____ แตกต่างมากที่สุด _____	_____
ความกรอบ	แตกต่างเล็กน้อย _____ แตกต่างปานกลาง _____ แตกต่างมาก _____ แตกต่างมากที่สุด _____	_____
รสชาติ	แตกต่างเล็กน้อย _____ แตกต่างปานกลาง _____ แตกต่างมาก _____ แตกต่างมากที่สุด _____	_____

ข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....
.....

ภาคผนวก ง.

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณความชื้นของถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ถั่วเหลืองซ้ำ 1	8.5808	
ถั่วเหลืองซ้ำ 2	8.5271	8.55 ± 0.03
ถั่วเหลืองซ้ำ 3	8.5352	

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณโปรตีนของถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ถั่วเหลืองซ้ำ 1	16.0480	
ถั่วเหลืองซ้ำ 2	18.9658	17.09 ± 1.63
ถั่วเหลืองซ้ำ 3	16.2564	

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณไขมันของถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ถั่วเหลืองซ้ำ 1	20.3227	
ถั่วเหลืองซ้ำ 2	19.7330	20.24 ± 0.47
ถั่วเหลืองซ้ำ 3	20.6534	

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณเถ้าทั้งหมดของถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ถั่วเหลืองซ้ำ 1	5.3600	
ถั่วเหลืองซ้ำ 2	5.4000	5.38 ± 0.02
ถั่วเหลืองซ้ำ 3	5.3800	

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตของถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ถั่วเหลืองซ้ำ 1	49.6885	
ถั่วเหลืองซ้ำ 2	47.3741	48.75 ± 1.22
ถั่วเหลืองซ้ำ 3	49.1750	

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณความชื้นของถั่วขาว

ตัวอย่าง	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ถั่วขาวซ้ำ 1	10.2459	
ถั่วขาวซ้ำ 2	10.0754	10.15 ± 0.05
ถั่วขาวซ้ำ 3	10.1397	

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณโปรตีนของถั่วขาว

ตัวอย่าง	โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ถั่วขาวซ้ำ 1	12.7750	
ถั่วขาวซ้ำ 2	17.1094	14.68 ± 2.22
ถั่วขาวซ้ำ 3	14.1438	

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณไขมันของถั่วขาว

ตัวอย่าง	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ถั่วขาวซ้ำ 1	1.7656	
ถั่วขาวซ้ำ 2	1.0438	1.56 ± 0.45
ถั่วขาวซ้ำ 3	1.8774	

ตารางที่ 9 แสดงปริมาณเถ้าทั้งหมดของถั่วขาว

ตัวอย่าง	เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ถั่วขาวซ้ำ 1	4.5800	
ถั่วขาวซ้ำ 2	4.7000	4.65 ± 0.06
ถั่วขาวซ้ำ 3	4.6800	

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตของถั่วขาว

ตัวอย่าง	คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ถั่วขาวซ้ำ 1	70.6335	
ถั่วขาวซ้ำ 2	67.0714	68.95 ± 1.79
ถั่วขาวซ้ำ 3	69.1591	

ตารางที่ 11 แสดงปริมาณความชื้นของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 1	7.0095	
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 2	7.0664	7.02 ± 0.04
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 3	6.9957	

ตารางที่ 12 แสดงปริมาณโปรตีนของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 1	39.1820	
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 2	31.4707	34.67 ± 4.02
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 3	33.3464	

ตารางที่ 13 แสดงปริมาณไขมันของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 1	25.0714	
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 2	26.6229	23.02 ± 4.96
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 3	17.3618	

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณเถ้าทั้งหมดของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 1	4.0000	
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 2	3.8000	3.74 ± 0.29
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 3	3.4200	

ตารางที่ 15 แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 1	24.7371	
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 2	31.0400	31.55 ± 7.08
ผงถั่วเน่า (เหลือง) ซ้ำ 3	38.8761	

ตารางที่ 16 แสดงปริมาณความชื้นของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 1	6.1654	
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 2	6.2156	6.23 ± 0.08
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 3	6.3156	

ตารางที่ 17 แสดงปริมาณโปรตีนของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 1	16.6531	
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 2	16.6531	15.97 ± 1.19
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 3	14.6000	

ตารางที่ 18 แสดงปริมาณไขมันของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 1	6.3605	
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 2	2.0148	3.97 ± 2.21
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 3	3.5210	

ตารางที่ 19 แสดงปริมาณเถ้าทั้งหมดของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 1	1.7800	
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 2	1.9800	1.91 ± 0.12
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 3	1.9800	

ตารางที่ 20 แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตของผงถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 1	69.0410	
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 2	73.1365	71.92 ± 2.50
ผงถั่วเน่า (ขาว) ซ้ำ 3	73.5834	

ตารางที่ 21 แสดงปริมาณความชื้นของบิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
สูตรควบคุม	1	2.1576	2.22 ± 0.09
	2	2.3200	
	3	2.1746	
สูตร 10 เปอร์เซ็นต์	1	2.1667	2.23 ± 0.10
	2	2.1703	
	3	2.3450	
สูตร 14 เปอร์เซ็นต์	1	5.1618	5.08 ± 0.07
	2	5.0575	
	3	5.0191	
สูตร 18 เปอร์เซ็นต์	1	5.7354	5.65 ± 0.10
	2	5.5432	
	3	5.6794	

ตารางที่ 22 แสดงปริมาณโปรตีนของบิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
สูตรควบคุม	1	4.7906	5.55 ± 0.70
	2	6.1594	
	3	5.7031	
สูตร 10 เปอร์เซ็นต์	1	6.6156	6.16 ± 1.65
	2	4.3344	
	3	7.5281	
สูตร 14 เปอร์เซ็นต์	1	7.0719	6.92 ± 0.70
	2	7.5281	
	3	6.1594	
สูตร 18 เปอร์เซ็นต์	1	6.3875	7.53 ± 0.99
	2	7.9844	
	3	8.2125	

ตารางที่ 23 แสดงปริมาณไขมันของบิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
สูตรควบคุม	1	15.1674	14.95 ± 0.52
	2	15.3154	
	3	14.3523	
สูตร 10 เปอร์เซ็นต์	1	15.5138	15.25 ± 0.37
	2	15.3964	
	3	14.8273	
สูตร 14 เปอร์เซ็นต์	1	15.5127	15.37 ± 0.68
	2	15.9680	
	3	14.6328	
สูตร 18 เปอร์เซ็นต์	1	15.1937	15.82 ± 0.54
	2	16.1948	
	3	16.0629	

ตารางที่ 24 แสดงปริมาณเถ้าทั้งหมดของบิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
สูตรควบคุม	1	2.3200	2.34 ± 0.03
	2	2.3200	
	3	2.3800	
สูตร 10 เปอร์เซ็นต์	1	2.5400	2.53 ± 0.04
	2	2.5600	
	3	2.4800	
สูตร 14 เปอร์เซ็นต์	1	2.3000	2.40 ± 0.09
	2	2.4600	
	3	2.4400	
สูตร 18 เปอร์เซ็นต์	1	2.3800	2.36 ± 0.05
	2	2.3000	
	3	2.4000	

ตารางที่ 25 แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตของบิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	ค่าเฉลี่ย
สูตรควบคุม	1	75.5644	74.95 ± 0.92
	2	73.8852	
	3	75.3900	
สูตร 10 เปอร์เซ็นต์	1	73.1639	73.84 ± 1.48
	2	75.5389	
	3	72.8196	
สูตร 14 เปอร์เซ็นต์	1	69.9536	70.23 ± 1.40
	2	68.9864	
	3	71.7487	
สูตร 18 เปอร์เซ็นต์	1	70.3034	68.64 ± 1.45
	2	67.9776	
	3	67.6452	

ตารางที่ 26 การตรวจวัดค่าฟีนอลิกทั้งหมด

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณฟีนอลิก (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด)	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่าจากถั่วเหลือง	1	0.4160 (5X)	79.1616	82.90 ± 3.24
	2	0.4470 (5X)	84.5969	
	3	0.4490 (5X)	84.9475	
ผงถั่วเน่าจากถั่วขาว	1	0.4670 (5X)	88.1035	89.86 ± 1.53
	2	04830 (5X)	90.9088	
	3	0.4810 (5X)	90.5581	
บิสกิตสูตรควบคุม	1	0.4020	15.3414	15.03 ± 0.32
	2	0.3840	14.7102	
	3	0.3930	15.0258	
บิสกิตสูตร 10 เปอร์เซ็นต์	1	0.6280	23.2663	23.30 ± 0.13
	2	0.6260	23.1962	
	3	0.6330	23.4417	
บิสกิตสูตร 14 เปอร์เซ็นต์	1	0.7560	27.7548	28.33 ± 0.51
	2	0.7770	28.4912	
	3	0.7840	28.7366	
บิสกิตสูตร 18 เปอร์เซ็นต์	1	0.5260 (5X)	35.3291	35.88 ± 0.58
	2	0.5260 (5X)	35.8200	
	3	0.5250 (5X)	36.4862	

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

1) สารสกัดจากผงถั่วเน่า (ถั่วเหลือง) ครั้งที่ 1 มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร เท่ากับ 0.4160

จากสมการเส้นตรงของกรดแกลลิก $y = 7.1294x - 0.0355$

$0.4160 = 7.1294x - 0.0355$

$0.4160 + 0.0355 = 7.1294x$

$x = 0.0633$

จากการทดลองสารสกัดจากผงถั่วเน่า (ถั่วเหลือง) ครั้งที่ 1 ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีปริมาณสารสกัดเท่ากับ 4 มิลลิกรัม

จาก 1 มิลลิลิตร มีปริมาณสารสกัด 10 มิลลิกรัม

0.4 มิลลิลิตร มีปริมาณสารสกัด 4 มิลลิกรัม

ดังนั้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดผงถั่วเน่า (ถั่วเหลือง) ครั้งที่ 1 4 มิลลิกรัม เทียบกับ ปริมาณกรดแกลลิกได้ 0.0633 มิลลิกรัม (ค่า X)

เมื่อสารสกัด 4 มิลลิกรัม มีปริมาณกรดแกลลิก 0.0633 มิลลิกรัม

สารสกัด 1000 มิลลิกรัม (1 กรัม) มีปริมาณกรดแกลลิก $= 0.0633 \times 1000/4$

$= 15.8323$ มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

เมื่อทำการเจือจางของสารสกัด 5 เท่า พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากผงถั่วเน่า (ถั่วเหลือง) เท่ากับ 79.1616 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

2) สารสกัดจากผงถั่วเน่า (ถั่วขาว) ครั้งที่ 1 มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร เท่ากับ 0.4670

จากสมการเส้นตรงของกรดแกลลิก $y = 7.1294x - 0.0355$

$0.4670 = 7.1294x - 0.0355$

$0.4670 + 0.0355 = 7.1294x$

$x = 0.0705$

จากการทดลองสารสกัดจากผงถั่วเน่า (ถั่วขาว) ครั้งที่ 1 ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีปริมาณสารสกัดเท่ากับ 4 มิลลิกรัม

จาก 1 มิลลิลิตร มีปริมาณสารสกัด 10 มิลลิกรัม

0.4 มิลลิลิตร มีปริมาณสารสกัด 4 มิลลิกรัม

ดังนั้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากผงถั่วเน่า (ถั่วขาว) ครั้งที่ 1 4 มิลลิกรัม เทียบกับ ปริมาณกรดแกลลิกได้ 0.0705 มิลลิกรัม (ค่า X)

เมื่อสารสกัด 4 มิลลิกรัม มีปริมาณกรดแกลลิก 0.0705 มิลลิกรัม

สารสกัด 1000 มิลลิกรัม (1 กรัม) มีปริมาณกรดแกลลิก $= 0.0705 \times 1000/4$

$= 17.6207$ มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

เมื่อทำการเจือจางของสารสกัด 5 เท่า พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากผงถั่วเน่า (ถั่วเหลือง) เท่ากับ 88.1035 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

3) บิสกิตสูตรควบคุม ครั้งที่ 1 มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร เท่ากับ 0.4020

จากสมการเส้นตรงของกรดแกลลิก $y = 7.1294x - 0.0355$

$0.4020 = 7.1294x - 0.0355$

$0.4020 + 0.0355 = 7.1294x$

$x = 0.0614$

จากการทดลองบิสกิตสูตรควบคุม ครั้งที่ 1 ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีปริมาณสารสกัดเท่ากับ 4 มิลลิกรัม

จาก 1 มิลลิลิตร มีปริมาณสารสกัด 10 มิลลิกรัม

0.4 มิลลิลิตร มีปริมาณสารสกัด 4 มิลลิกรัม

ดังนั้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในบิสกิตสูตรควบคุม ครั้งที่ 1 4 มิลลิกรัม เทียบกับ ปริมาณกรดแกลลิกได้ 0.0614 มิลลิกรัม (ค่า X)

เมื่อสารสกัด 4 มิลลิกรัม มีปริมาณกรดแกลลิก 0.0614 มิลลิกรัม

สารสกัด 1000 มิลลิกรัม (1 กรัม) มีปริมาณกรดแกลลิก $= 0.0614 \times 1000/4$

$= 15.3414$ มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากบิสกิตสูตรควบคุม ครั้งที่ 1 เท่ากับ 15.3414 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

ตารางที่ 27 การตรวจวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	ค่าการดูดกลืนแสง	เปอร์เซ็นต์ DPPH	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่าจากถั่วเหลือง	1	0.142	80.78	79.43 ± 2.00
	2	0.145	80.38	
	3	0.169	77.13	
ผงถั่วเน่าจากถั่วขาว	1	0.258	65.09	63.73 ± 1.24
	2	0.270	63.46	
	3	0.276	62.65	
บิสกิตผสมถั่วเน่า (ขาว) สูตรควบคุม	1	0.641	13.26	13.76 ± 0.64
	2	0.639	13.53	
	3	0.632	14.48	
บิสกิตผสมถั่วเน่า (ขาว) 10 เปอร์เซ็นต์	1	0.462	37.48	37.35 ± 1.56
	2	0.475	35.72	
	3	0.452	38.84	
บิสกิตผสมถั่วเน่า (ขาว) 14 เปอร์เซ็นต์	1	0.447	39.51	42.13 ± 2.57
	2	0.427	42.22	
	3	0.409	44.65	
บิสกิตผสมถั่วเน่า (ขาว) 18 เปอร์เซ็นต์	1	0.406	45.06	47.45 ± 3.57
	2	0.358	51.56	
	3	0.401	45.74	

ตารางที่ 28 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของบิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	ก่อนอบ (เซนติเมตร)		หลังอบ (เซนติเมตร)		การขยายตัว (เซนติเมตร)		ค่าการขยายตัว	ค่าเฉลี่ย
		หนา	กว้าง	หนา	กว้าง	หนา	กว้าง		
สูตรควบคุม	1	7.42	67.03	9.12	66.18	1.70	0.85	0.5	0.31 ± 0.28
	2	7.48	65.41	9.63	65.65	2.15	0.24	0.11	
สูตร 10 เปอร์เซ็นต์	1	7.32	66.03	9.04	63.52	1.72	2.51	1.46	1.86 ± 0.56
	2	7.39	66.19	9.01	62.55	1.62	3.64	2.25	
สูตร 14 เปอร์เซ็นต์	1	7.74	65.53	9.54	61.00	1.80	4.53	2.52	2.04 ± 0.69
	2	7.68	65.89	9.43	63.17	1.75	2.72	1.55	
สูตร 18 เปอร์เซ็นต์	1	7.65	65.28	10.08	60.02	2.43	5.26	2.16	2.22 ± 0.08
	2	7.5	65.18	9.36	60.93	1.86	4.25	2.28	

ตารางที่ 29 การตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของบิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาวในปริมาณต่างๆ

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	ค่าความแข็ง (Hardness (N))	ค่าเฉลี่ย
สูตรควบคุม	1	12.4032	12.51 ± 0.13
	2	12.3983	
	3	12.4708	
	4	12.6909	
	5	12.5878	
สูตร 10 เปอร์เซ็นต์	1	13.8272	14.05 ± 0.57
	2	13.8051	
	3	14.8552	
	4	13.3965	
	5	14.3854	
สูตร 14 เปอร์เซ็นต์	1	16.3743	15.59 ± 0.95
	2	14.4231	
	3	16.2171	
	4	14.6902	
	5	16.2610	
สูตร 18 เปอร์เซ็นต์	1	16.3188	16.16 ± 0.36
	2	16.5917	
	3	16.2248	
	4	15.6361	
	5	16.0361	

ตารางที่ 30 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของบิสกิตในระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

วันที่	ซ้ำที่	ค่าความแข็ง (Hardness (N))	ค่าเฉลี่ย
0	1	14.4380	14.47 ± 1.29
	2	16.0056	
	3	13.1610	
	4	15.5087	
	5	13.2304	
3	1	16.1506	16.23 ± 1.54
	2	15.1167	
	3	15.7569	
	4	18.8905	
	5	15.2561	
6	1	18.2171	18.45 ± 0.38
	2	18.0956	
	3	18.2299	
	4	18.7824	
	5	18.9347	
9	1	20.5796	19.89 ± 0.48
	2	20.1650	
	3	19.6439	
	4	19.3520	
	5	19.6965	
12	1	20.2421	21.14±0.87
	2	21.6064	
	3	20.1483	
	4	21.9034	
	5	21.8115	
15	1	21.8591	21.72 ± 0.39
	2	21.5318	
	3	21.2885	
	4	21.6088	
	5	22.3285	

ตารางที่ 31 การตรวจวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

ตัวอย่าง	ซ้ำที่	ค่า Aw	ค่าเฉลี่ย
ผงถั่วเน่าจากถั่วเหลือง	1	0.520	0.52 ± 0.00
	2	0.510	
	3	0.520	
ผงถั่วเน่าจากถั่วขาว	1	0.270	0.33 ± 0.06
	2	0.330	
	3	0.390	
บิสกิตสูตรควบคุม	1	0.151	0.21 ± 0.06
	2	0.221	
	3	0.272	
บิสกิตสูตร 10 เปอร์เซ็นต์	1	0.308	0.33 ± 0.03
	2	0.322	
	3	0.368	
บิสกิตสูตร 14 เปอร์เซ็นต์	1	0.436	0.44 ± 0.01
	2	0.427	
	3	0.450	
บิสกิตสูตร 18 เปอร์เซ็นต์	1	0.518	0.52 ± 0.01
	2	0.533	
	3	0.520	

ตารางที่ 32 การตรวจวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตในระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ

วันที่	ซ้ำที่	ค่า Aw	ค่าเฉลี่ย
0	1	0.280	0.28 ± 0.03
	2	0.317	
	3	0.255	
3	1	0.300	0.30 ± 0.01
	2	0.294	
	3	0.307	
6	1	0.387	0.41 ± 0.02
	2	0.416	
	3	0.419	
9	1	0.405	0.42 ± 0.01
	2	0.409	
	3	0.431	
12	1	0.420	0.43 ± 0.01
	2	0.440	
	3	0.443	
15	1	0.507	0.52 ± 0.01
	2	0.526	
	3	0.527	

ตารางที่ 33 การตรวจวัดค่าสีของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วเหลือง

ตัวอย่าง	ซ้ำที่					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
L*	70.03	70.01	70.01	69.94	69.96	69.99 ± 0.04
a*	21.88	21.86	21.87	21.95	21.92	21.90 ± 0.04
b*	51.06	50.99	50.99	51.12	51.11	51.05 ± 0.06

ตารางที่ 34 การตรวจวัดค่าสีของถั่วเน่าที่ทำจากถั่วขาว

ตัวอย่าง	ซ้ำที่					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
L*	95.80	95.97	96.00	96.18	96.18	96.03 ± 0.16
a*	10.49	10.45	10.47	10.45	10.48	10.47 ± 0.02
b*	35.69	35.68	35.68	35.77	35.84	35.73 ± 0.07

ตารางที่ 35 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว 10 เปอร์เซ็นต์

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	3	5
ความกรอบ	6	4
รสชาติ	7	5
ความชอบโดยรวม	5	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	3	3
ความกรอบ	5	3
รสชาติ	4	2
ความชอบโดยรวม	5	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	4	6
ความกรอบ	6	3
รสชาติ	6	3
ความชอบโดยรวม	6	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	7	3
ความกรอบ	3	1
รสชาติ	6	2
ความชอบโดยรวม	6	2

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	2	3
ความกรอบ	6	5
รสชาติ	6	5
ความชอบโดยรวม	5	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	3	6
ความกรอบ	4	2
รสชาติ	3	3
ความชอบโดยรวม	4	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	5	4
ความกรอบ	5	5
รสชาติ	6	4
ความชอบโดยรวม	6	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	4	6
ความกรอบ	6	4
รสชาติ	4	3
ความชอบโดยรวม	4	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	4	4
ความกรอบ	6	5
รสชาติ	6	4
ความชอบโดยรวม	5	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	5	6
ความกรอบ	6	5
รสชาติ	5	6
ความชอบโดยรวม	5	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	6	4
รสชาติ	6	5
ความชอบโดยรวม	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	7	7
ความกรอบ	7	5
รสชาติ	6	3
ความชอบโดยรวม	7	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	4
ความกรอบ	7	3
รสชาติ	7	5
ความชอบโดยรวม	7	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	7	3
รสชาติ	6	4
ความชอบโดยรวม	6	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	6	4
รสชาติ	7	4
ความชอบโดยรวม	6	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	6
ความกรอบ	6	5
รสชาติ	6	6
ความชอบโดยรวม	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	6	4
รสชาติ	6	6
ความชอบโดยรวม	7	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	5	4
ความกรอบ	6	5
รสชาติ	6	5
ความชอบโดยรวม	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	4
ความกรอบ	3	3
รสชาติ	4	3
ความชอบโดยรวม	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	5	6
ความกรอบ	6	4
รสชาติ	5	4
ความชอบโดยรวม	5	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	7	4
ความกรอบ	7	2
รสชาติ	6	6
ความชอบโดยรวม	7	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	3
ความกรอบ	4	3
รสชาติ	5	2
ความชอบโดยรวม	6	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	4
ความกรอบ	5	3
รสชาติ	5	4
ความชอบโดยรวม	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	6
ความกรอบ	5	4
รสชาติ	5	4
ความชอบโดยรวม	5	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	4	3
ความกรอบ	5	4
รสชาติ	5	5
ความชอบโดยรวม	5	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	4	3
ความกรอบ	6	2
รสชาติ	5	4
ความชอบโดยรวม	5	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	4	6
ความกรอบ	5	6
รสชาติ	6	6
ความชอบโดยรวม	5	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	7	7
ความกรอบ	6	5
รสชาติ	5	5
ความชอบโดยรวม	6	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	3	6
ความกรอบ	7	2
รสชาติ	7	3
ความชอบโดยรวม	6	2

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	6
ความกรอบ	6	4
รสชาติ	6	3
ความชอบโดยรวม	6	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	4	4
รสชาติ	2	3
ความชอบโดยรวม	2	2

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	5	5
ความกรอบ	6	4
รสชาติ	5	5
ความชอบโดยรวม	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	5	6
ความกรอบ	4	3
รสชาติ	3	5
ความชอบโดยรวม	4	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	6
ความกรอบ	7	6
รสชาติ	6	7
ความชอบโดยรวม	7	7

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	6	6
รสชาติ	6	5
ความชอบโดยรวม	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	6	2
รสชาติ	4	2
ความชอบโดยรวม	5	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	6	5
รสชาติ	5	6
ความชอบโดยรวม	5	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	4
ความกรอบ	6	4
รสชาติ	6	4
ความชอบโดยรวม	6	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	3
ความกรอบ	6	6
รสชาติ	7	3
ความชอบโดยรวม	7	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	4	3
รสชาติ	5	4
ความชอบโดยรวม	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	6	5
รสชาติ	5	6
ความชอบโดยรวม	5	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	6	5
รสชาติ	5	6
ความชอบโดยรวม	5	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
	538	477
กลิ่นถั่ว	6	5
ความกรอบ	6	5
รสชาติ	5	6
ความชอบโดยรวม	5	5

ตารางที่ 37 ตารางแสดงแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วขาว 10 เปอร์เซ็นต์ 14 เปอร์เซ็นต์ 18 เปอร์เซ็นต์

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	4	3	2
ความกรอบ	4	5	5
รสชาติ	4	5	5
ความชอบโดยรวม	4	5	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	4	2	2
ความกรอบ	4	4	3
รสชาติ	3	3	3
ความชอบโดยรวม	4	3	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	4	4	3
ความกรอบ	4	6	6
รสชาติ	5	6	3
ความชอบโดยรวม	4	6	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	4	4	4
ความกรอบ	6	5	4
รสชาติ	7	6	5
ความชอบโดยรวม	6	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	5	4
ความกรอบ	6	6	5
รสชาติ	6	5	6
ความชอบโดยรวม	6	6	7

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	1	3	6
ความกรอบ	5	6	7
รสชาติ	5	6	7
ความชอบโดยรวม	5	3	7

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	6	6
ความกรอบ	6	7	7
รสชาติ	5	6	7
ความชอบโดยรวม	6	6	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	5	6	4
ความกรอบ	7	7	5
รสชาติ	6	6	5
ความชอบโดยรวม	7	7	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	5	5
ความกรอบ	6	4	4
รสชาติ	6	3	4
ความชอบโดยรวม	6	4	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	6	6
ความกรอบ	6	7	6
รสชาติ	5	6	6
ความชอบโดยรวม	6	7	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	7	5	4
ความกรอบ	7	6	3
รสชาติ	6	7	5
ความชอบโดยรวม	7	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	5	5	5
ความกรอบ	6	6	3
รสชาติ	5	5	4
ความชอบโดยรวม	4	5	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	7	6	4
ความกรอบ	5	6	5
รสชาติ	6	5	4
ความชอบโดยรวม	6	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	6	5
ความกรอบ	7	5	6
รสชาติ	6	4	5
ความชอบโดยรวม	6	6	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	4	6	6
ความกรอบ	6	7	5
รสชาติ	5	6	6
ความชอบโดยรวม	6	7	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	5	4
ความกรอบ	6	6	5
รสชาติ	5	5	6
ความชอบโดยรวม	5	5	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	4	4	3
ความกรอบ	3	5	4
รสชาติ	5	6	4
ความชอบโดยรวม	4	5	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	4	2
ความกรอบ	6	6	4
รสชาติ	4	4	3
ความชอบโดยรวม	6	5	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	3	3	4
ความกรอบ	6	5	4
รสชาติ	6	5	5
ความชอบโดยรวม	6	5	5

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	3	3	4
ความกรอบ	6	7	5
รสชาติ	5	6	6
ความชอบโดยรวม	5	6	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	6	7
ความกรอบ	6	7	6
รสชาติ	5	5	5
ความชอบโดยรวม	4	5	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	7	6	6
ความกรอบ	6	7	5
รสชาติ	7	7	5
ความชอบโดยรวม	7	7	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	5	5	7
ความกรอบ	6	7	6
รสชาติ	7	6	6
ความชอบโดยรวม	7	6	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	6	6
ความกรอบ	5	6	7
รสชาติ	6	6	6
ความชอบโดยรวม	6	6	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	7	5	4
ความกรอบ	5	7	4
รสชาติ	6	5	3
ความชอบโดยรวม	6	7	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	7	4	4
ความกรอบ	6	6	5
รสชาติ	7	6	5
ความชอบโดยรวม	7	6	4

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	5	3
ความกรอบ	6	7	3
รสชาติ	6	5	2
ความชอบโดยรวม	6	6	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	3	5
ความกรอบ	6	6	5
รสชาติ	7	7	4
ความชอบโดยรวม	7	6	3

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	4	6	5
ความกรอบ	3	6	7
รสชาติ	4	6	5
ความชอบโดยรวม	5	6	6

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	351	439	248
กลิ่นถั่ว	6	5	4
ความกรอบ	7	6	5
รสชาติ	6	5	3
ความชอบโดยรวม	7	6	5

ภาคผนวก จ.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณความชื้นของถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

Group Statistics					t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ถั่วเหลือง	3	8.5477	.02895	-30.621	.000
	ถั่วขาว	3	10.1537	.08610	-30.621	.000

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณโปรตีนของถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

Group Statistics					t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์โปรตีน	ถั่วเหลือง	3	17.0900	1.62777	1.521	.203
	ถั่วขาว	3	14.6760	2.21567	1.521	.209

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณไขมันของถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

Group Statistics					t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ไขมัน	ถั่วเหลือง	3	20.2364	.46623	49.784	.000
	ถั่วขาว	3	1.5623	.45247	49.784	.000

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณเถ้าของถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

	Group Statistics				t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์เถ้า	ถั่วเหลือง	3	5.3800	.02000	18.693	.000
	ถั่วขาว	3	4.6533	.06429	18.693	.001

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณคาร์โบไฮเดรตของถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

	Group Statistics				t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต	ถั่วเหลือง	3	48.7459	1.21541	-16.179	.000
	ถั่วขาว	3	68.9574	1.78983	-16.179	.000

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านความเป็นกรด-ด่างของถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

	Group Statistics				t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ pH	ถั่วเหลือง	3	8.0767	.03055	-5.728	.005
	ถั่วขาว	3	8.2233	.03215	-5.728	.005

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านค่าสีของถั่วเน่าผงจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

	Group Statistics				t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ L*	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	69.9900	.03808	-354.108	.000
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	96.0260	.15994	-354.108	.000

	Group Statistics				t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ a*	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	21.8960	.03782	610.852	.000
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	10.4680	.01789	610.852	.000

	Group Statistics				t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ b*	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	51.0540	.06269	361.143	.000
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	35.7320	.07120	361.143	.000

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณความชื้นของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

	Group Statistics				t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	7.0239	.03748	16.103	.000
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	6.2322	.07646	16.103	.001

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณโปรตีนของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

	Group Statistics				t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์โปรตีน	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	34.6664	4.02154	7.724	.002
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	15.9687	1.18536	7.724	.010

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณไขมันของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

Group Statistics					t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ไขมัน	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	23.0187	4.96006	6.079	.004
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	3.9654	2.20668	6.079	.011

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณเถ้าของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

Group Statistics					t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์เถ้า	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	3.7400	.29462	9.998	.001
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	1.9133	.11547	9.998	.004

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณคาร์โบไฮเดรตของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

Independent-Sample T Test

Group Statistics					t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	31.5511	7.08334	-9.307	.001
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	71.9203	2.50354	-9.307	.005

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณวอเตอร์แอคติวิตี้ของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว
Independent-Sample T Test

Group Statistics					t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ Aw	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	.5183	.00379	5.504	.005
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	.3303	.05905	5.504	.031

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว
Independent-Sample T Test

Group Statistics					t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ Phenolic	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	82.9020	3.24401	-3.359	.028
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	89.8568	1.52849	-3.359	.047

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผงถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว
Independent-Sample T Test

Group Statistics					t-test for Equality of Means	
	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
เปอร์เซ็นต์ DPPH	ผงถั่วเน่า (เหลือง)	3	79.4317	2.00252	11.542	.000
	ผงถั่วเน่า (ขาว)	3	63.7348	1.24021	11.542	.001

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณความชื้นของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว

Group Statistics

	บิสกิต	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	สูตรควบคุม	3	2.2174	.08926
	10 เปอร์เซ็นต์	3	2.2273	.10192
	14 เปอร์เซ็นต์	3	5.0795	.07384
	18 เปอร์เซ็นต์	3	5.6527	.09885

Duncan[a]

บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตรควบคุมl	3	2.2174		
10 เปอร์เซ็นต์	3	2.2273		
14 เปอร์เซ็นต์	3		5.0795	
18 เปอร์เซ็นต์	3			5.6527
Sig.		.898	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณโปรตีนของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว

Group Statistics

	บิสกิต	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์โปรตีน	สูตรควบคุม	3	5.5510	.69693
	10 เปอร์เซ็นต์	3	6.1594	1.64503
	14 เปอร์เซ็นต์	3	6.9198	.69693
	18 เปอร์เซ็นต์	3	7.5281	.99437

Duncan[a]

บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05
		1
สูตรควบคุม	3	5.5510
10 เปอร์เซ็นต์	3	6.1594
14 เปอร์เซ็นต์	3	6.9198
18 เปอร์เซ็นต์	3	7.5281
Sig.		.068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณไขมันของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว

Group Statistics

	บิสกิต	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์ไขมัน	สูตรควบคุม	3	14.9450	.51863
	10 เปอร์เซ็นต์	3	15.2458	.36718
	14 เปอร์เซ็นต์	3	15.3712	.67876
	18 เปอร์เซ็นต์	3	15.8171	.54392

Duncan[a]		
บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05
		1
สูตรควบคุม	3	14.9450
10 เปอร์เซ็นต์	3	15.2458
14 เปอร์เซ็นต์	3	15.3712
18 เปอร์เซ็นต์	3	15.8171
Sig.		.100

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณเถ้าของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว

Group Statistics				
	บิสกิต	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์เถ้า	สูตรควบคุม	3	2.3400	.03464
	10 เปอร์เซ็นต์	3	2.5267	.04163
	14 เปอร์เซ็นต์	3	2.4000	.08718
	18 เปอร์เซ็นต์	3	2.3600	.05292

Duncan[a]			
บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตรควบคุม	3	2.3400	
18 เปอร์เซ็นต์	3	2.3600	
14 เปอร์เซ็นต์	3	2.4000	
10 เปอร์เซ็นต์	3		2.5267
Sig.		.257	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณคาร์โบไฮเดรตของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว

Group Statistics				
	บิสกิต	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต	สูตรควบคุม	3	74.9465	.92327
	10 เปอร์เซ็นต์	3	73.8408	1.48064
	14 เปอร์เซ็นต์	3	70.2296	1.40168
	18 เปอร์เซ็นต์	3	68.6421	1.44832

Duncan[a]			
บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
18 เปอร์เซ็นต์	3	68.6421	
14 เปอร์เซ็นต์	3	70.2296	
10 เปอร์เซ็นต์	3		73.8408
สูตรควบคุม	3		74.9465
Sig.		.183	.339

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว

Group Statistics				
	บิสกิต	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์ Aw	สูตรควบคุม	3	.2147	.06075
	10 เปอร์เซ็นต์	3	.3327	.03139
	14 เปอร์เซ็นต์	3	.4377	.01159
	18 เปอร์เซ็นต์	3	.5237	.00814

Duncan[a]					
บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
สูตรควบคุม	3	.2147			
10 เปอร์เซ็นต์	3		.3327		
18 เปอร์เซ็นต์	3			.4377	
14 เปอร์เซ็นต์	3				.5237
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว

Group Statistics				
	บิสกิต	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์ Phenolic	สูตรควบคุม	3	15.0258	.31559
	10 เปอร์เซ็นต์	3	23.3014	.12643
	14 เปอร์เซ็นต์	3	28.3275	.51097
	18 เปอร์เซ็นต์	3	35.8784	.58976

Duncan[a]					
บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
สูตรควบคุม	3	15.0258			
10 เปอร์เซ็นต์	3		23.3014		
14 เปอร์เซ็นต์	3			28.3275	
18 เปอร์เซ็นต์	3				35.8784
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว

Group Statistics

	บิสกิต	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์ DPPH	สูตรควบคุม	3	13.7573	.63949
	10 เปอร์เซ็นต์	3	37.3478	1.56056
	14 เปอร์เซ็นต์	3	42.1290	2.57223
	18 เปอร์เซ็นต์	3	47.4515	3.57079

Duncan[a]

บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
สูตรควบคุม	3	13.7573			
10 เปอร์เซ็นต์	3		37.3478		
14 เปอร์เซ็นต์	3			42.1290	
18 เปอร์เซ็นต์	3				47.4515
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านเนื้อสัมผัส (Hardness) ของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว

Group Statistics

	บิสกิต	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์ Hardness	สูตรควบคุม	5	12.5102	.12669
	10 เปอร์เซ็นต์	5	14.0539	.56951
	14 เปอร์เซ็นต์	5	15.5931	.95258
	18 เปอร์เซ็นต์	5	16.1615	.35553

Duncan[a]				
บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตรควบคุม	5	12.5102		
10 เปอร์เซ็นต์	5		14.0539	
14 เปอร์เซ็นต์	5			15.5931
18 เปอร์เซ็นต์	5			16.1615
Sig.		1.000	1.000	.145

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านการขยายตัวของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาว

Duncan[a]			
บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตรควบคุม	3	.3050	
10 เปอร์เซ็นต์	3		1.8550
14 เปอร์เซ็นต์	3		2.0350
18 เปอร์เซ็นต์	3		2.2200
Sig.		1.000	.482

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Group Statistics				
	บิสกิต	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์การขยายตัว	control	3	.3050	.27577
	10 เปอร์เซ็นต์	3	1.8550	.55861
	14 เปอร์เซ็นต์	3	2.0350	.68589
	18 เปอร์เซ็นต์	3	2.2200	.08485

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านปริมาณวอเตอร์แอคติวิตี้ของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาวในการเก็บรักษา

Group Statistics

	วันที่	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์ Aw	0	3	.2840	.03119
	3	3	.3003	.00651
	6	3	.4073	.01767
	9	3	.4150	.01400
	12	3	.4343	.01250
	15	3	.5200	.01127

Duncan[a]

บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0 วัน	3	.2840		
3 วัน	3	.3003		
6 วัน	3		.4073	
9 วัน	3		.4150	
12 วัน	3		.4343	
15 วัน	3			.5200
Sig.		.271	.094	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในด้านเนื้อสัมผัส (Hardness) ของบิสกิตผสมผงถั่วเน่าจากถั่วขาวในการเก็บรักษา

Group Statistics

	วันที่	N	Mean	Std. Deviation
เปอร์เซ็นต์ Hardness	0	5	14.4687	1.29307
	3	5	16.2342	1.54080
	6	5	18.4519	.37871
	9	5	19.8874	.48440
	12	5	21.1423	.87191
	15	5	21.7233	.39482

Duncan[a]

บิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
0 วัน	5	14.4687				
3 วัน	5		16.2342			
6 วัน	5			18.4519		
9 วัน	5				19.8874	
12 วัน	5					21.1423
15 วัน	5					21.7233
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	.340

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของบิสกิตผสมถั่วเน่าจากถั่วเหลืองและถั่วขาว

Group Statistics

	ตัวอย่าง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
กลิ่นถั่ว	ถั่วขาว	30	5.0667	1.41259	.25790
	ถั่วเหลือง	30	4.8333	1.28877	.23530
ความกรอบ	ถั่วขาว	30	5.6667	1.06134	.19377
	ถั่วเหลือง	30	3.7333	1.20153	.21937
รสชาติ	ถั่วขาว	30	5.5667	.97143	.17736
	ถั่วเหลือง	30	4.1333	1.25212	.22861
ความชอบโดยรวม	ถั่วขาว	30	5.7000	.79438	.14503
	ถั่วเหลือง	30	4.2333	1.10433	.20162

Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means	
		t	Sig. (2-tailed)
กลิ่นถั่ว	Equal variances assumed	.668	.507
	Equal variances not assumed	.668	.507
ความกรอบ	Equal variances assumed	6.605	.000
	Equal variances not assumed	6.605	.000
รสชาติ	Equal variances assumed	4.954	.000
	Equal variances not assumed	4.954	.000
ความชอบโดยรวม	Equal variances assumed	5.905	.000
	Equal variances not assumed	5.905	.000

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บิสกิตผสมถั่วเน่าในปริมาณต่างๆ

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation
กลิ่นถั่ว	18	30	4.4667	1.38298
	10	30	5.3333	1.47001
	14	30	4.7333	1.20153
	Total	90	4.8444	1.38946
ความกรอบ	18	30	4.9667	1.21721
	10	30	5.6000	1.06997
	14	30	6.0333	.88992
	Total	90	5.5333	1.14362
รสชาติ	18	30	4.8000	1.24291
	10	30	5.5333	1.00801
	14	30	5.4333	1.00630
	Total	90	5.2556	1.12740
ความชอบโดยรวม	18	30	4.8667	1.27937
	10	30	5.7000	1.05536
	14	30	5.6667	1.02833
	Total	90	5.4111	1.17936

Homogeneous Subsets

กลิ่นถั่ว

Duncan[a]

ตัวอย่างบิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
18 เปอร์เซ็นต์	30	4.4667	
14 เปอร์เซ็นต์	30	4.7333	4.7333
10 เปอร์เซ็นต์	30		5.3333
Sig.		.448	.090

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

ความกรอบ

Duncan[a]			
ตัวอย่างบิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
18 เปอร์เซ็นต์	30	4.9667	
10 เปอร์เซ็นต์	30		5.6000
14 เปอร์เซ็นต์	30		6.0333
Sig.		1.000	.120

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

รสชาติ

Duncan[a]			
ตัวอย่างบิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
18 เปอร์เซ็นต์	30	4.8000	
14 เปอร์เซ็นต์	30		5.4333
10 เปอร์เซ็นต์	30		5.5333
Sig.		1.000	.724

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

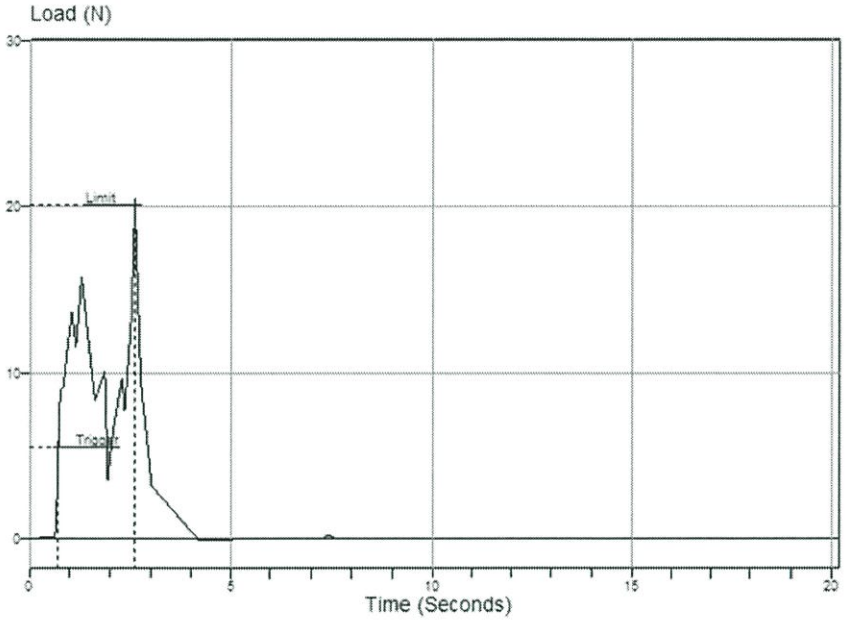
ความชอบโดยรวม

Duncan[a]			
ตัวอย่างบิสกิต	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
18 เปอร์เซ็นต์	30	4.8667	
14 เปอร์เซ็นต์	30		5.6667
10 เปอร์เซ็นต์	30		5.7000
Sig.		1.000	.909

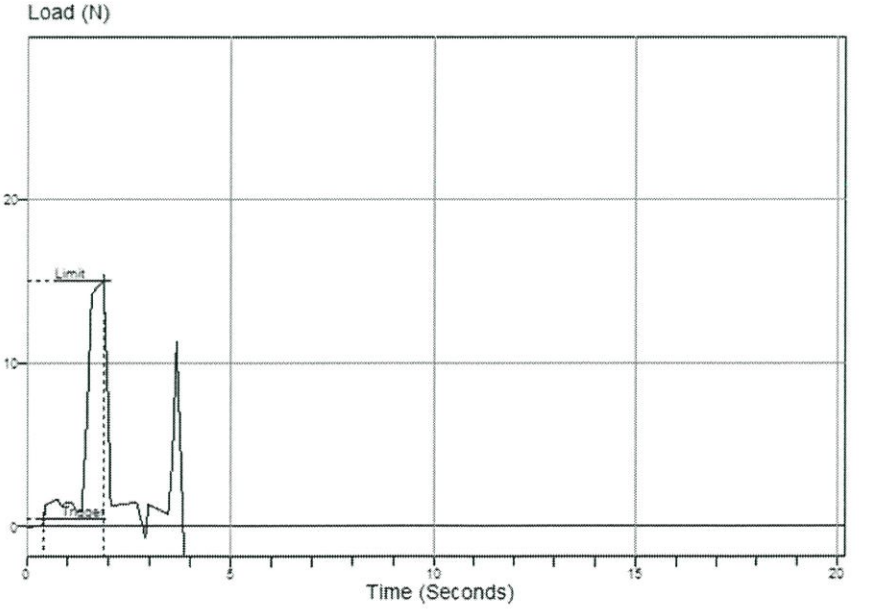
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

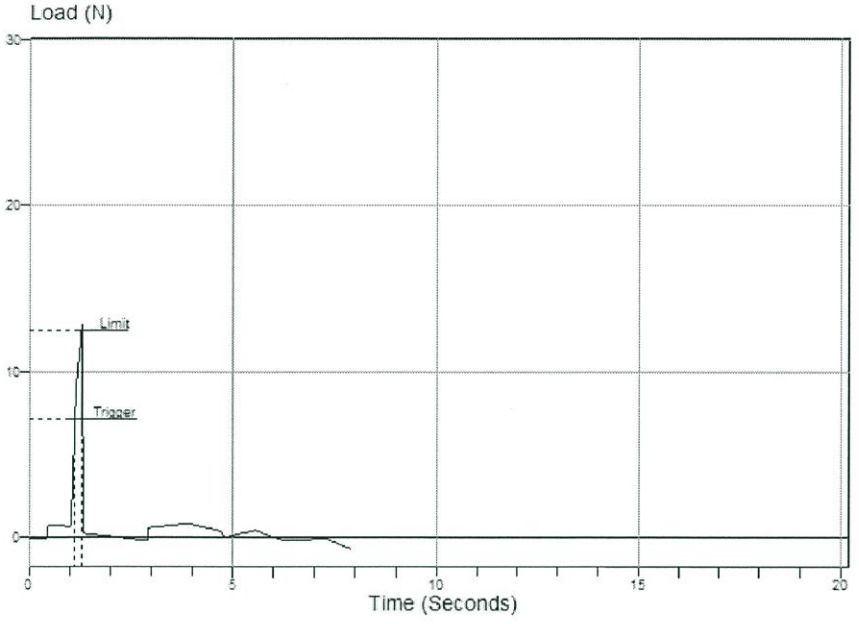
ภาคผนวก ฉ.
กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัส



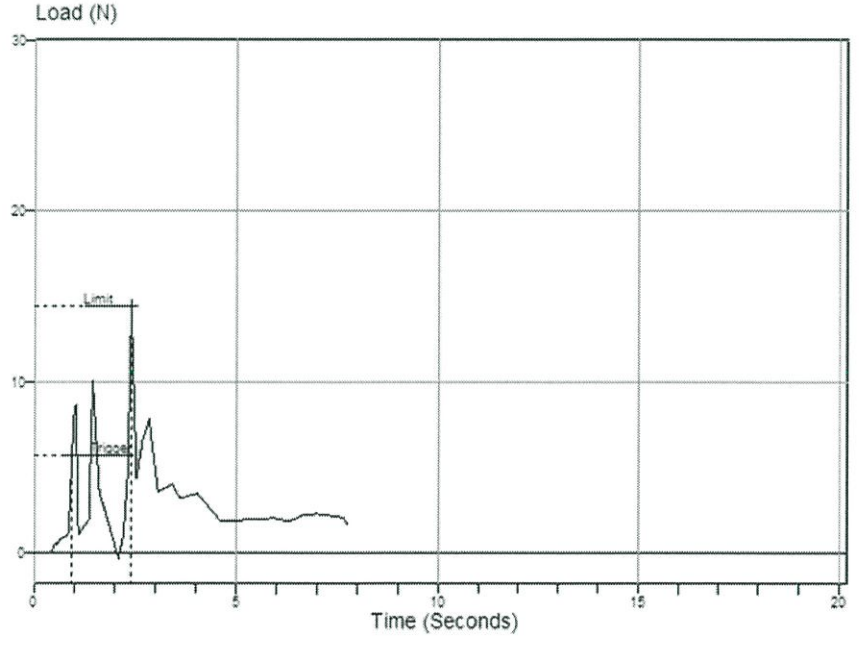
รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตถั่วเน่าจากถั่วเหลือง เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 0 วัน



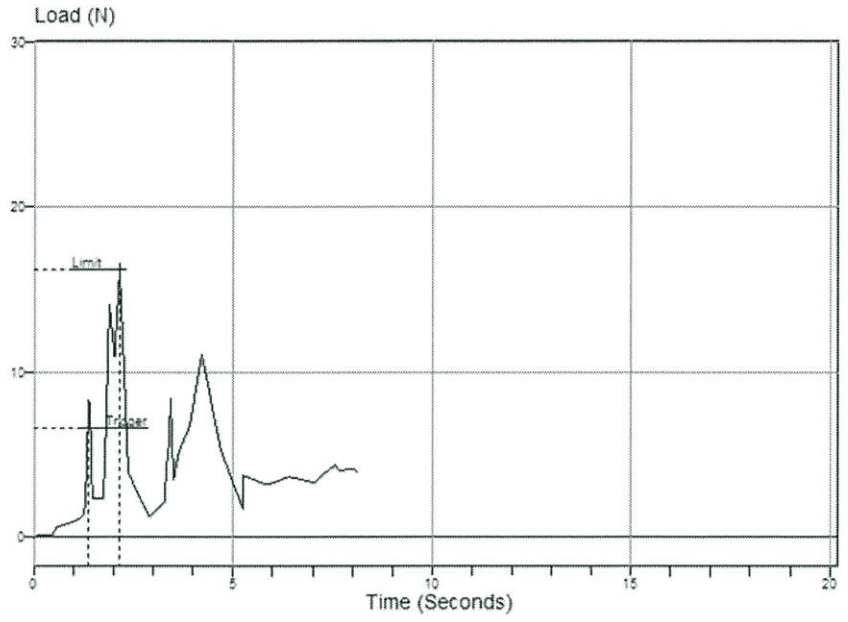
รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตถั่วเน่าจากถั่วขาว เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 0 วัน



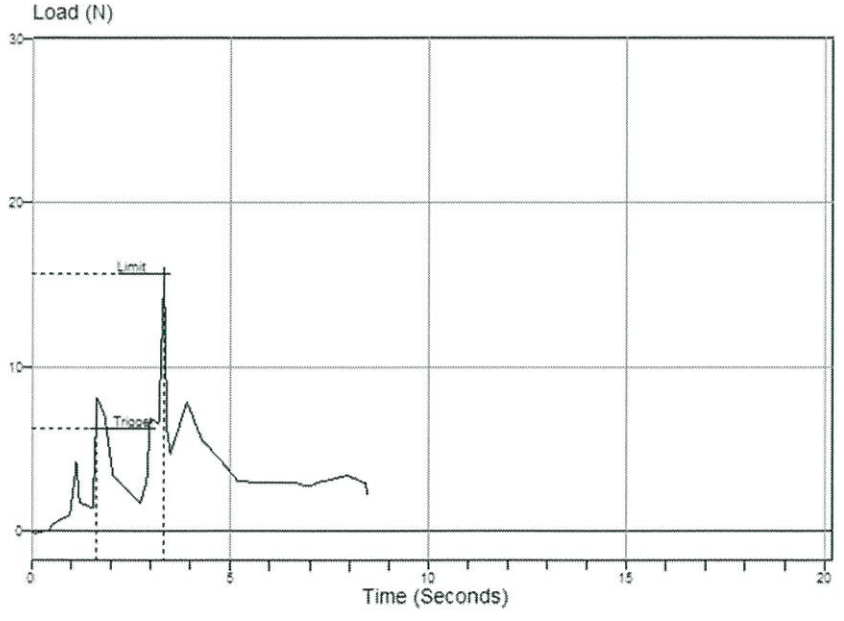
รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตสูตรควบคุม เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 0 วัน



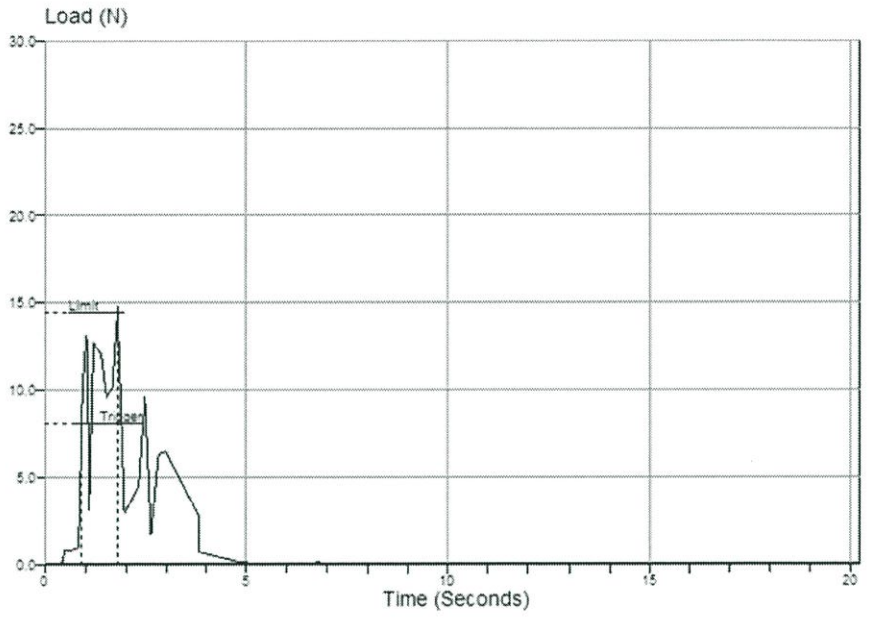
รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตสูตรที่มีการทดแทนด้วยถั่วเน่าผงในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 0 วัน



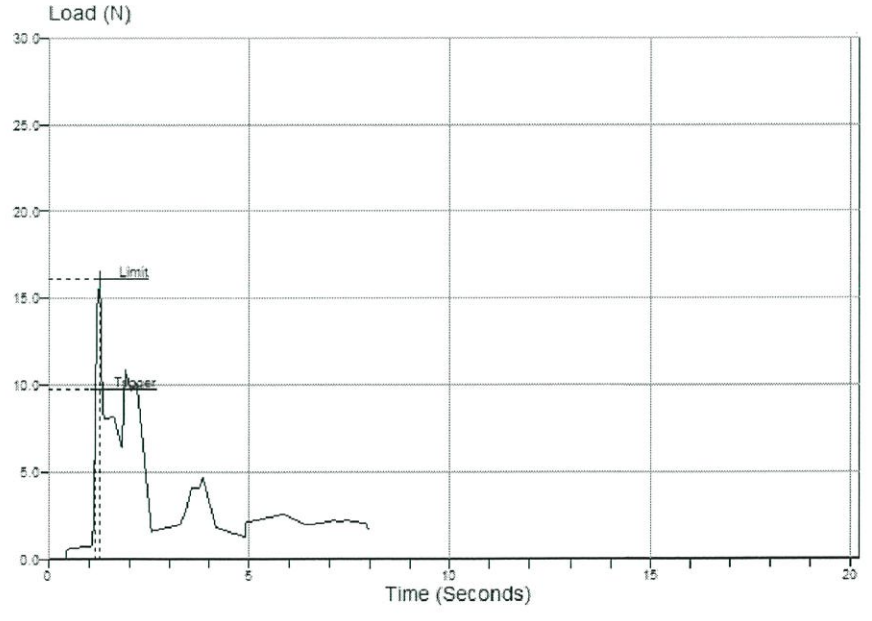
รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตสูตรที่มีการทดแทนด้วยถั่วเน่าผงในระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 0 วัน



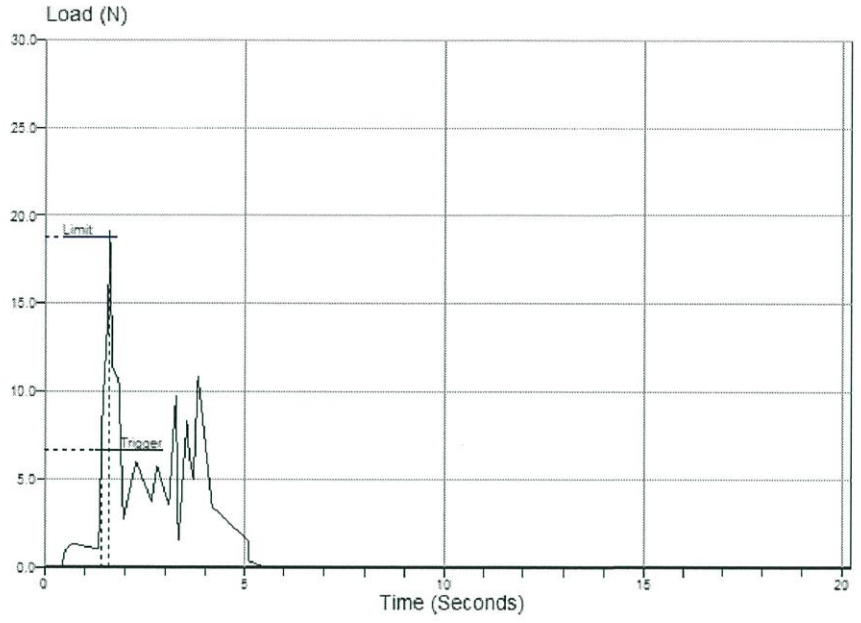
รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตสูตรที่มีการทดแทนด้วยถั่วเน่าผงในระดับ 18 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 0 วัน



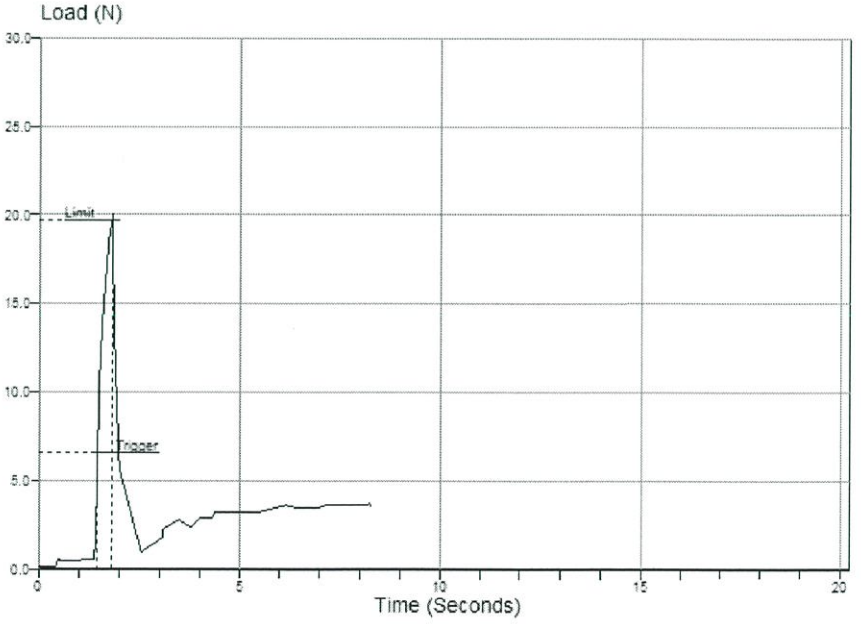
รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตสูตรที่มีการทดแทนด้วยถั่วเน่าผงในระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 0 วัน



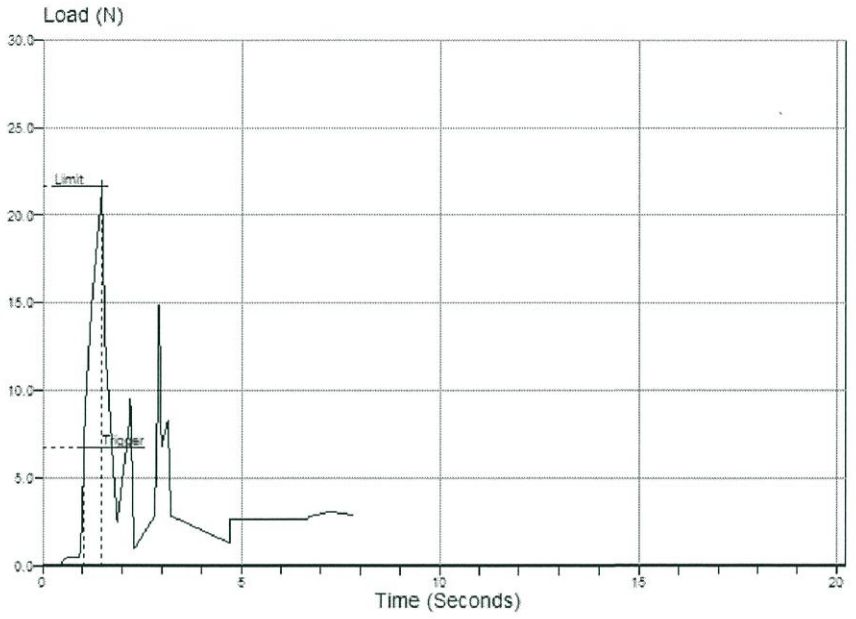
รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตสูตรที่มีการทดแทนด้วยถั่วเน่าผงในระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 3 วัน



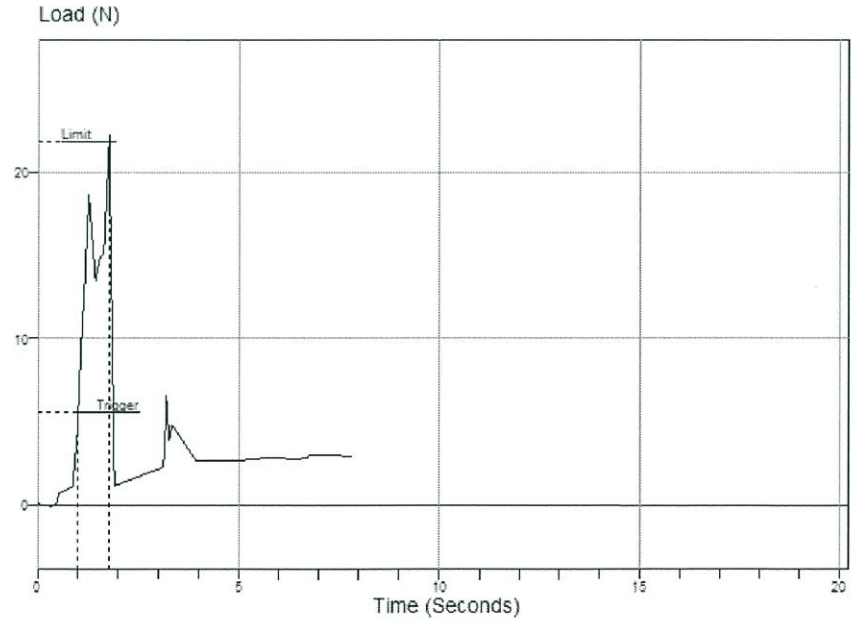
รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตสูตรที่มีการทดแทนด้วยถั่วเน่าผงในระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 6 วัน



รูปที่ 10 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตสูตรที่มีการทดแทนด้วยถั่วเน่าผงในระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 9 วัน



รูปที่ 11 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตสูตรที่มีการทดแทนด้วยถั่วเน่าผงในระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 12 วัน



รูปที่ 12 กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของบิสกิตสูตรที่มีการทดแทนด้วยถั่วเน่าผงในระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเก็บรักษาที่ 15 วัน

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 16 เดือน กรกฎาคม พ.ศ.2561

ข้าพเจ้า นางสาว ธัญญารักษ์ สุบุญสันธ์ รหัสประจำตัว 57050833
ข้าพเจ้า นางสาว ธัญญารัตน์ พิสิทธิ์กานนท์ รหัสประจำตัว 57050834

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม ภาควิชาชีววิทยาขอรับรองว่าโครงงานพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย คุณภาพของถั่วเน่าที่เตรียมจากถั่วเหลืองและถั่วขาวและการพัฒนาผลิตภัณฑ์บิสกิตเพื่อสุขภาพผสมถั่วเน่า
ชื่อภาษาอังกฤษ Quality of thua nao from soybean and white kidney bean and product development of healthy biscuits with thua nao
ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงงานพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 1.56 %

ลงชื่อ...ธัญญารักษ์ สุบุญสันธ์.....
(นางสาวธัญญารักษ์ สุบุญสันธ์)
นักศึกษา

ลงชื่อ.ธัญญารัตน์ พิสิทธิ์กานนท์.....
(นางสาวธัญญารัตน์ พิสิทธิ์กานนท์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ลินจง สุขลำภู อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....ลินจง สุขลำภู.....

อาจารย์ที่ปรึกษา