ผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของเต้าหู้หลอดถั่วเหลืองงอก

EFFECT OF PROCESSING ON QUALITY OF GERMINATED PACKED TOFU

ทิพวรรณ สุยะวงษ์
รุจิรา ชัยยะ
ลลิตา ลีละศาสตร์

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของเต้าหู้หลอดถั่วเหลืองงอก

EFFECT OF PROCESSING ON QUALITY OF GERMINATED PACKED TOFU

T148895

ทิพวรรณ สุยะวงษ์
รุจิรา ชัยยะ
ลลิตา ลีละศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สจพ.
เลขทะเบียน 148895
วัน.เดือน.ปี 30 พ.ค. 2560

b.12876793
i.

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

ผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของเต้าหู้หลอดถั่วเหลืองงอก

EFFECT OF PROCESSING ON QUALITY OF GERMINATED PACKED TOFU

จัดทำโดย

ทิพวรรณ	สุยะวงษ์	รหัสนักศึกษา	55080022
รุจิรา	ชัยยะ	รหัสนักศึกษา	55080050
ลลิตา	ลีละศาสตร์	รหัสนักศึกษา	55080051

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..../...../.....

(ดร.ปนัดดา นนทนำ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	ผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของเต้าหู้หลอดถั่วเหลืองงอก			
ชื่อนักศึกษา	ทิพวรรณ	สุยะวงษ์	รหัสนักศึกษา	55080022
	รุจิรา	ชัยยะ	รหัสนักศึกษา	55080050
	ลลิตา	ลีละศาสตร์	รหัสนักศึกษา	55080051
หลักสูตร	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร			
พ.ศ.	2559			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ปนัดดา นนทนำ			

บทคัดย่อ

ถั่วเหลือง (Glycine max L. Merrill) เป็นพืชที่อุดมไปด้วยสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามินและแร่ธาตุ และประกอบไปด้วยสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่มีบทบาทในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดแดงแข็งตัว โรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดและโรคมะเร็ง มีรายงานการวิจัยพบว่าถั่วเหลืองงอกประกอบไปด้วยสารประกอบโพลีฟีนอลในปริมาณสูงกว่าถั่วเหลืองปกติ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะทดลองนำถั่วเหลืองงอกมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง โดยได้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบโพลีฟีนอลและความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารปฏิกิริยาออกซิเดชัน (DPPH) ผลการศึกษาพบว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก (เพาะงอกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง) มีสารประกอบโพลีฟีนอลในปริมาณที่สูงกว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติประมาณ 71 เปอร์เซ็นต์ โดยขั้นตอนการผลิตจะเริ่มตั้งแต่การนำวัตถุดิบมาผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นผสม กรองเอากากออก แล้วจึงนำไปให้ความร้อนครั้งที่ 1 และทำการตกตะกอนด้วยการเติมสารกลูโคโนเดลต้าแลคโตน และนำไปให้ความร้อนครั้งที่ 2 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ ซึ่งขั้นตอนการผลิตล้วนแต่ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกมีค่าลดลง และพบว่าเมื่อผ่านขั้นตอนการผลิตความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระก็มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งการให้ความร้อนในขั้นตอนการผลิตส่งผลให้สารประกอบโพลีฟีนอลลดลง สำหรับสมบัติทางเคมีและทางกายภาพพบว่า เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน และค่าอัตราการขับน้ำที่เพิ่มสูงสุด แต่มีปริมาณไขมันปริมาณคาร์โบไฮเดรต และค่าความแข็งที่ลดต่ำลง

คำสำคัญ: ถั่วเหลือง ถั่วเหลืองงอก สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด สารต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Effect of processing on quality of geminated packed tofu		
Student name	Tippawan	Suyawong	Student ID 55080022
	Rujira	Chaiya	Student ID 55080050
	Lalita	Leelasart	Student ID 55080051
Program	Bachelor of Science in Food Science and Technology		
Year	2016		
Advisor	Dr.Panadda Nonthanum		

ABSTRACT

Soybean (Glycine max L. Merrill) is a plant with high nutrients including protein, fat, carbohydrates, vitamins and minerals. It also contains polyphenolic compounds the antioxidants, which have a role in reducing the risk of diseases such as atherosclerosis disease, myocardial ischemia and cancers. Several studies have concluded that germinated soybeans contained higher amount of polyphenolic compounds than the non-germinated ones. Therefore, germinated soybeans were used in this study as raw materials to produce tofu. The effects of processing steps on the changes in total phenolic contents (TPC) and free radical scavenging capacity of antioxidant (DPPH) were determined. The results of antioxidant properties showed that the TPC of geminated packed tofu (germinated for 48 hour) was approximately 71% higher than that of non- geminated packed tofu. All processing steps including soaking soybeans in water at room temperature for 10 hours, blending the soybeans with water, filtering, pre-heating at 70°c for 30 minute, and coagulating using Glucono-delta-lactone (GDL) and heating at 100°c for 5 minute to produce cooked tofu resulted in the lower TPC compared to that of the raw materials. It was found that free radical scavenging capacity of antioxidants decreased as TPC decreased. The study of physico-chemical properties of tofu showed that the highest value of moisture content, protein and syneresis was detect from the sample with the longest germination time (48 hours). However, this sample had the lowest value of carbohydrate and hardness.

Keywords: Soybean Germinated soybean Total polyphenol compounds Antioxidants

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษในหัวข้อ “ผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของเต้าหู้หลอดถั่วเหลืองงอก” นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร.ปนัดดา นนทนำ ที่กรุณาสละเวลามาให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนงบประมาณในการทำการทดลอง รวมถึงให้คำปรึกษาและให้ข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องต่างๆ ทำให้การทำปัญหาพิเศษของข้าพเจ้ามีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์และบุคลากร ในคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือ รวมไปถึงให้คำแนะนำในด้านการปฏิบัติการทดลองในขั้นตอนต่างๆเป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา และมารดา ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนมาโดยตลอด ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณ สำหรับการช่วยเหลือในทุกๆด้านของการทำปัญหาพิเศษนี้

ทิพวรรณ สุยะวงษ์
รุจิรา ชัยยะ
ลลิตา ลีละศาสตร์
31 พฤษภาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญภาพ	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ถั่วเหลือง	3
2.2 ประโยชน์ของถั่วเหลือง	3
2.3 สารสำคัญในถั่วเหลือง	4
2.4 ถั่วเหลืองงอก	6
2.5 เต้าหู้ถั่วเหลือง	7
2.6 ชนิดของเต้าหู้แบ่งตามลักษณะเนื้อ ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ ขั้นตอนการทำ	8
2.7 กรรมวิธีการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง	8
2.8 อนุมูลอิสระ	11
2.9 สารต้านอนุมูลอิสระ	11
2.10 สารประกอบฟีนอล	12
2.11 โพลีฟีนอล	14
2.12 การทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน	16
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	17
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	17
3.2 อุปกรณ์	17
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	23
4.1 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอก	23
4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของถั่วเหลืองปกติในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้ถั่วเหลือง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของถั่วเหลืองงอกในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก..... 25
4.4 การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้หลอด..... 28
4.5 ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองปกติในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้ถั่วเหลือง..... 29
4.6 ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองงอกในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก..... 30
4.7 เปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้หลอด..... 33
4.8 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก 34

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 36

บรรณานุกรม..... 38

ภาคผนวก..... 40

ภาคผนวก ก..... 41

ภาคผนวก ข..... 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วเหลืองดิบต่อ 100 กรัม	4
2.2	คุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้ถั่วเหลืองต่อ 100 กรัม	7
4.1	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของถั่วเหลืองปกติในระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง	24
4.2	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของถั่วเหลืองงอกที่ใช้ระยะเวลาการงอก 36 ชั่วโมง ในระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	26
4.3	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของถั่วเหลืองงอกใช้ระยะเวลาการงอก 48 ชั่วโมงใน ระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	27
4.4	ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองปกติในระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง	29
4.5	ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลาการงอก 36 ชั่วโมงใน ระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	31
4.6	ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองงอกที่ที่ใช้ระยะเวลาการงอก 48 ชั่วโมง ในระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	32
4.7	คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างและส่วนประกอบของถั่วเหลือง	3
2.2	โครงสร้างของสารประกอบฟีโนลิก	12
2.3	โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลที่พบพืช	14
4.1	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์เทียบวัตถุดิบ) ของถั่วเหลืองปกติที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้	25
4.2	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์เทียบวัตถุดิบ) ของถั่วเหลืองงอกเวลา 36 ชั่วโมงที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	26
4.3	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์เทียบวัตถุดิบ) ของถั่วเหลืองงอกเวลา 48 ชั่วโมงที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	27
4.4	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์เทียบวัตถุดิบ) ของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้หลอด	28
4.5	ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองปกติที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง	30
4.6	ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองงอกเวลา 36 ชั่วโมงที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง	31
4.7	ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองงอกเวลา 48 ชั่วโมงที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง	32
4.8	ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งของสารอาหารโปรตีน ไขมัน (วันชัย, 2522) โดยมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ ความชื้นร้อยละ 6.92 โปรตีนร้อยละ 42.58 ไขมันร้อยละ 20.07 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 25.00 เยื่อใยร้อยละ 1.31 และเถ้าร้อยละ 4.12 โปรตีนจากถั่วเหลืองจัดได้ว่าเป็นโปรตีนที่มีราคาถูกที่สุดนอกจากนี้ถั่วเหลืองยังประกอบไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds) ที่มีบทบาทในการป้องกันการเกิดโรคต่างๆ อีกด้วย เช่น สารไอโซฟลาโวน (Isoflavone) (Kris และคณะ, 2002) ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง (Messina และคณะ, 1994) ลดความเสี่ยงปัญหาเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือดหัวใจ (Anderson และคณะ, 1995), ภาวะกระดูกพรุน (Anderson, 1999), และเกี่ยวกับวัยทอง (Adlercreutz และคณะ, 1992) และสารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็งตัว โรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด และโรคมะเร็ง (Malencic และคณะ, 2007)

จากงานวิจัยพบว่าการงอกของถั่วเหลืองเป็นความรู้ทางเทคโนโลยีที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพ (Fernandez และคณะ, 2008) การงอกเป็นหนทางหนึ่งที่พบว่าสามารถช่วยเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (TPC values) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเมล็ดเริ่มงอก (Taiz & Zeiger, 1998) และ72 เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดจะประกอบไปด้วยปริมาณไอโซฟลาโวน (Seo & Morr, 1984) นอกจากนี้การงอกส่งผลให้ร่างกายสามารถนำสารอาหารไปใช้ดีขึ้น การงอกจะช่วยลดสารต้านโภชนาการและกลิ่นถั่วลงได้ เช่น สารยับยั้งทริปซิน เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส และฮีมากลูตินิน (Bau, H.-M และคณะ, 1997) และ (Bau, H.-M.และคณะ, 1997)

เต้าหู้หลอด เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากถั่วเหลืองที่ได้รับความนิยมมาอย่างยาวนาน ซึ่งเต้าหู้มีลักษณะเป็นเจลมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง (Corbin, 1980) โดยทั่วไปกระบวนการผลิตเต้าหู้หลอดจะประกอบด้วย การแช่ถั่วเหลือง การบดถั่วเหลืองกับน้ำ การกรอง การต้มให้เดือด การตกตะกอนโปรตีน โดยทั่วไปการเกิดเจลเกิดขึ้นได้จากการนำน้ำนมถั่วเหลืองมาเติมสารตกตะกอน โดยสารที่ใช้ เช่น Glucono-delta-lactone (GDL) (Liu, 1997) หากมีการพัฒนาผลิตเต้าหู้หลอดจากถั่วเหลืองงอก อาจจะนำมาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่อุดมไปด้วยสารอาหารและประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีปริมาณสูงเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่รักสุขภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะทำการศึกษาผลของขั้นตอนการผลิตที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในเต้าหู้ที่ผลิตจากถั่วเหลืองงอกเปรียบเทียบกับเต้าหู้ที่ผลิตจากถั่วเหลืองปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านทานสารต้านอนุมูลอิสระในการผลิตผลิตภัณฑ์เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้จากถั่วเหลืองงอกที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ

1.3.2 ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์เต้าหู้หลอด

1.3.3 ได้แนวความรู้ในการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเต้าหู้หลอดจากถั่วเหลืองงอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลือง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Glycin max (L) Merr. โดยเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Leguminosae ที่มีชื่อภาษาอังกฤษคือ Soybean ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วที่รู้จักกันดีของคนในแถบเอเชีย โดยได้มีการปลูกและนำมาใช้ในการบริโภคเป็นอาหารพื้นเมืองนานาชนิด ถั่วเหลืองของไทยส่วนมากปลูกในแถบภาคเหนือและภาคกลางตอนบน ถั่วเหลืองเป็นพืชล้มลุก มีขนาดสูงประมาณ 1-2 เมตร ลำต้นปกคลุมด้วยขนสีเทาขาว ใบมีลักษณะแบบนิ้วมือ ดอกเป็นช่อสีขาวหรือม่วงแดง ฝักถั่วเหลืองจะถูกเก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุประมาณ 90-100 วัน โดยในฝักจะมีเมล็ดถั่วเหลืองประมาณ 3-5 เมล็ด เป็นรูปไข่ ผิวสีเหลืองมัน เมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วยเปลือกซึ่งอยู่ด้านนอกสุด ใบเลี้ยง 2 ใบ และจมูกถั่วเหลืองซึ่งจะอยู่บริเวณใต้เปลือกจากด้านหนึ่งไปถึงกลางเมล็ด (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2553) ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของถั่วเหลือง
ที่มา: พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2553)

2.2 ประโยชน์ของถั่วเหลือง

การถั่วเหลืองมาใช้ประโยชน์นั้นมักจะเลือกเมล็ดที่แก่จัด ทั้งนี้เพราะในเมล็ดถั่วเหลืองแก่จัดจะมีสารอาหารต่างๆ ประกอบด้วยโปรตีน 45% คาร์โบไฮเดรต 30% และไขมัน 20% นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยแร่ธาตุแคลเซียม ฟอสเฟตและวิตามิน A, B, B1, B2, B3, B6, B12, C, D และ E อีกด้วย ดังแสดงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วเหลืองดิบต่อ 100 กรัม

คุณค่าทางสารอาหาร	ปริมาณสารอาหาร
พลังงาน	446 กิโลแคลอรี่
คาร์โบไฮเดรต	30.16 กรัม
- น้ำตาล	7.33 กรัม
- ใยอาหาร	9.3 กรัม
ไขมัน	19.94 กรัม
- กรดไขมันอิ่มตัว	2.884 กรัม
- ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว	4.404 กรัม
- ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน	11.255 กรัม
โปรตีน	36.49 กรัม
วิตามิน	
- วิตามินเอ	1 ไมโครกรัม
- วิตามินบี6	0.377 มิลลิกรัม
- วิตามินซี	6 มิลลิกรัม
- วิตามินเค	47 ไมโครกรัม
แร่ธาตุ	
- แคลเซียม	277 มิลลิกรัม
- เหล็ก	15.7 มิลลิกรัม
- แมกนีเซียม	280 มิลลิกรัม
- ฟอสฟอรัส	704 มิลลิกรัม
- โพแทสเซียม	1797 มิลลิกรัม
- โซเดียม	2 มิลลิกรัม
- สังกะสี	4.89 มิลลิกรัม
น้ำ	8.54 มิลลิกรัม

ที่มา: USDA Nutrient Database

2.3 สารสำคัญในถั่วเหลือง (ภัคธีมา, 2552)

2.3.1 ไอโซฟลาโวน (Isoflavone)

ไอโซฟลาโวนเป็นไฟโตเอสโตรเจน (phytoestrogen) ซึ่งมีอยู่ในพืช จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยส์ (flavonoids) ไอโซฟลาโวนเป็นสารประกอบฟีโนลิก (phenolic compounds) ที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับฮอร์โมนเอสโตรเจนที่ร่างกายผลิตขึ้น ดังนั้นสารไฟโตเอสโตรเจนจึงทำหน้าที่ทดแทนฮอร์โมนเอสโตรเจนให้แก่ร่างกายได้ (Tsangalis และคณะ, 2002) สารกลุ่มนี้ถูกจัดเป็นแอนตินิวเทรียนท์สามารถแสดงคุณสมบัติเอสโทรจีนิค (estrogenic) และแอนติเอสโทรจีนิค (antiestrogenic) ได้ สำหรับไอโซฟลาโวนหลักที่พบในถั่วเหลืองมี 3 ชนิดคือ genistein (4′ 5, 7-trihydroxyisoflavone) daidzein (4 , 7-dihydroxyisoflavone) ซึ่งเป็นไอโซฟลาโวนที่สำคัญมาก ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณ genistein มากกว่า daidzein และไอโซฟลาโวนชนิดที่สามซึ่งมีอยู่น้อยในถั่วเหลือง คือ glycitein (7, 4'-dihydroxy-6-methoxyisoflavone) (Kudou และคณะ, 1991)

2.3.2 สารยับยั้งทริปซิน

สารยับยั้งทริปซินที่พบในถั่วเหลือง ได้แก่ คูนิทซ์อินฮิบิเตอร์ (Kunitz inhibitor) และโบวแมนเบิร์ค (BowmanBirk inhibitor; BBI) สารนี้ส่งผลต่อการย่อยโปรตีนเป็นเหตุให้ตับอ่อนทำงานเพิ่มขึ้นและส่งผลทางเคมีทำให้เกิดเนื้องอกในตับอ่อนได้ (Messina, 1999) โดยปกติแล้วสารชนิดนี้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตในสัตว์ทดลองและทำให้ตับอ่อนโตอย่างผิดปกติ (pancreatic hypertrophy) เนื่องจากสารยับยั้งทริปซินไปจับกับเอนไซม์ทริปซินที่ลำไส้เล็ก กระตุ้นให้หลั่งสาร cholecystokinin (CCK) เพิ่มขึ้น ซึ่งสารนี้จะกระตุ้นย้อนกลับให้ตับอ่อนหลั่งเอนไซม์ทริปซิโนเจนออกมาทำให้ตับอ่อนเกิดการโตอย่างผิดปกติได้ (Green & Lyman, 1972 อ้างโดยอรุณี, 2548) เนื่องจากสารยับยั้งทริปซินเป็นสารที่ไม่ทนความร้อน ดังนั้นประมาณร้อยละ 80 ของกิจกรรมการทำงานของสารนี้จึงถูกทำลายระหว่างกระบวนการผลิต (Anderson & Wolf, 1995) ในแง่ของการต้านการเกิดมะเร็งพบว่า BBI จัดเป็นสารที่ศึกษากันมากแม้ว่าผลการศึกษาโดยเฉพาะผลการต้านการเกิดมะเร็งของถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการผลิตจะยังไม่ชัดเจนนัก (Kennedy, 1995)

2.3.3 ไฟโตสเตอรอล

มีลักษณะคล้ายคลอเลสเตอรอลแต่มีคุณสมบัติแตกต่างจากคอเลสเตอรอลในเนื้อสัตว์เพราะไฟโตสเตอรอลในถั่วเหลืองจะช่วยในการสกัดกั้นการก่อตัวของคอเลสเตอรอลที่ได้จากเนื้อสัตว์ (สุวลี, 2548) สารชนิดนี้สามารถพบได้ในพืชน้ำมันและถั่วชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตน้ำมันบางขั้นตอน เช่น การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ และการเติมแต่งกลิ่นอาจทำให้เกิดการสูญเสียไฟโตสเตอรอลได้ สารไฟโตสเตอรอลที่พบทั่วไป ได้แก่ β-sito-sterol, campesterol และ stigmasterol (Messina & Barnes, 1991) ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์สารชนิดนี้ได้ ดังนั้นจึงได้รับสารชนิดนี้จากการบริโภคอาหารเท่านั้น อย่างไรก็ตามพบว่าร่างกายสามารถดูดซึมสารไฟโตสเตอรอลได้ค่อนข้างจำกัด (Award และคณะ, 2000) การศึกษาส่วนใหญ่เกี่ยวกับสารไฟโตสเตอรอลจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการยับยั้งการดูดซึมคอเลสเตอรอลรวมทั้งคุณสมบัติด้านแอนตี้เอทเทอโรจีนิค (anti-atherogenic) และความผิดปกติเกี่ยวกับ Cutaneous xanthomasis มะเร็งลำไส้ใหญ่และการเติบโตของต่อมลูกหมากอย่างผิดปกติ (Prostate Hyperplasia)

2.3.4 กรดไฟติก

เป็นสารที่ลดการดูดซึมของเกลือแร่โดยการเกาะติดกับเกลือแร่ เช่น แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม โดยเฉพาะสังกะสีในลำไส้ ถึงแม้ว่ากรดไฟติกจะลดการดูดซึมของเกลือแร่ แต่จากการศึกษาของ Messana & Barnes (1991) พบว่ากรดไฟติกสามารถแสดงคุณสมบัติต้านการเกิดมะเร็งได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังลดความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่และมะเร็งเต้านมได้อีกด้วย (Messina, 1999) ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีปริมาณกรดไฟติกสูง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองดั้งเดิมที่ไม่ผ่านการหมัก เช่น นมถั่วเหลืองและเต้าหู้ มีปริมาณกรดไฟติกอยู่ในช่วงร้อยละ 1.5-3 ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณในเมล็ดถั่วเหลือง แสดงให้เห็นว่าสารชนิดนี้ทนต่อความร้อนและไม่ถูกทำลายระหว่างขั้นตอนเทกเจอไรซ์เซชั่น (texturization) ของกระบวนการเอ็กทรูชั่น (extrusion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ซาโปนิน

มีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วย triterpenoidal หรือ steroidal aglycones ซาโปนินในถั่วเหลืองจำแนกตามโครงสร้างได้เป็น 3 ชนิด คือ A, B และ E เนื่องจากซาโปนินนั้นมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ซาโปนินจึงเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) และสารที่ทำให้เกิดโฟม (foaming agents) ที่ดีจึงมีสมบัติเชิงหน้าที่ในอาหาร ซาโปนินช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ช่วยส่งเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน และช่วยป้องกันมะเร็งบางชนิด (MacDonald และคณะ, 2005)

นอกจากนี้ในถั่วเหลืองยังมีเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenases) เอนไซม์ชนิดนี้มีผลต่อกลิ่นรสถั่วของผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง โดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเป็นตัวเร่งการเกิดออกซิเดชั่นของไขมัน ได้เป็นกรดไขมันไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (fatty acid hydro peroxides) และจากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์นี้เป็นผลให้เกิดกลิ่นและกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ (off-flavors) แต่อย่างไรก็ตามเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสนั้นสามารถยับยั้งได้ง่ายด้วยการต้ม 3-5 นาที ซึ่งการลวกก็เป็นกระบวนการป้องกันการเกิดกลิ่นรสถั่วได้ การลวกด้วยน้ำร้อนที่มีโซเดียมคาร์บอเนตก่อนการบดจะสามารถลดการเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ได้

2.4 ถั่วเหลืองงอก

ถั่วเหลืองงอก คือ ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการเพาะงอกในเวลาอันสั้น โดยการเพาะถั่วเหลืองสามารถทำได้โดยทำความสะอาดถั่วเหลืองด้วยน้ำสะอาด และแช่น้ำสะอาดเป็นเวลา 1 คืน (12 ชั่วโมง) ที่อุณหภูมิห้อง นำเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่ค้างคืนทิ้งไว้แล้ว เทลงในถังเพาะ เกลี่ยเมล็ดถั่วให้ทั่ว รดน้ำให้ชุ่มใช้แผ่นฟองน้ำปิดทับถั่ว รดน้ำบนฟองน้ำให้ชุ่มอีกครั้งหนึ่ง ปิดฝาและวางถังไว้ในที่มืด รดน้ำทุกๆ 3-4 ชั่วโมง กระบวนการงอกจะถูกควบคุมด้วยอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส (กำพล และคมสัน, 2550) ซึ่งการงอกของถั่วเหลืองขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น เวลาในการแช่ถั่วเหลือง ความชื้น ระยะเวลาในการงอก อุณหภูมิ และสายพันธุ์ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองงอกประกอบไปด้วยสารต่างๆที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์มากขึ้น เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองปกติ นอกจากนี้ถั่วเหลืองงอกยังมีปริมาณสารต้านคุณค่าสารอาหารและสารประกอบที่ไม่ย่อยในพืชตระกูลถั่วน้อยกว่าถั่วเหลืองปกติอีกด้วย โดยงานวิจัยของ Kim และคณะ (2013) พบว่า ถั่วเหลืองงอกที่ผ่านการเพาะเป็นระยะเวลาสั้นๆ เพียงแค่ 1 วันนั้น มีปริมาณสารกาบา สารไอโซฟลาโวนและสารโทโคฟีรอลที่เพิ่มขึ้นอย่างมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองปกติ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang และคณะ (2014) ที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาการเพาะต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงในถั่วเหลืองเช่นกัน โดยพบว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารไอโซฟลาโวน สารฟีโนลิก และวิตามินซีของถั่วเหลืองงอก ที่ผ่านการเพาะ 3-4 วันนั้น มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสาระสำคัญเหล่านี้มีปริมาณที่ลดลงเมื่อใช้เวลาการเพาะยาวนานถึง 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เต้าหู้ถั่วเหลือง

เต้าหู้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำมาจากถั่วเหลือง จัดเป็นอาหารที่ได้จากการตกตะตอนโปรตีนน้ำนมถั่วเหลืองโดยสารตกตะกอน ลักษณะของโปรตีนที่ได้เป็นลักษณะของแข็งกึ่งของเหลวที่เรียกว่า “เจล” มีสีเหลืองอ่อนหรือสีขาวนวลน้ำนม ปัจจุบันในประเทศไทยนิยมบริโภคเต้าหู้ในลักษณะที่เรียกว่า เต้าหู้หลอด (Packaged tofu) โดยมีลักษณะและองค์ประกอบของเต้าหู้ถั่วเหลือง ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้ถั่วเหลืองต่อ 100 กรัม

คุณค่าทางสารอาหาร	ปริมาณสารอาหาร
พลังงาน	76 กิโลแคลอรี่
คาร์โบไฮเดรต	1.87 กรัม
- น้ำตาล	0.62 กรัม
- ใยอาหาร	0.3 กรัม
ไขมัน	4.78 กรัม
- กรดไขมันอิ่มตัว	0.691 กรัม
- ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว	1.056 กรัม
- ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน	2.699 กรัม
โปรตีน	8.08 กรัม
วิตามิน	
- วิตามินเอ	85 ไมโครกรัม
- วิตามินบี6	0.047 มิลลิกรัม
- วิตามินซี	0.1 มิลลิกรัม
- วิตามินเค	2.4 ไมโครกรัม
แร่ธาตุ	
- เหล็ก	5.36 มิลลิกรัม
- แมกนีเซียม	30 มิลลิกรัม
- ฟอสฟอรัส	97 มิลลิกรัม
- โพแทสเซียม	121 มิลลิกรัม
- โซเดียม	7 มิลลิกรัม
- สังกะสี	0.80 มิลลิกรัม
น้ำ	84.55 มิลลิกรัม

ที่มา: USDA Nutrient Database

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ชนิดของเต้าหู้แบ่งตามลักษณะเนื้อ ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ขั้นตอนการทำ

(จันทร และคณะ, 2546) จะแบ่งได้ 3 ชนิด คือ

2.6.1. เต้าหู้แข็ง (Hard or extra firm tofu)

มีลักษณะเป็นเต้าหู้ที่มีเนื้อแข็ง มีสีขาวนวล สำหรับวิธีการทำจะนิยมใช้ดีเกลือหรือเกลือแมกนีเซียมซัลเฟตช่วยในการตกตะกอน เมื่อตกตะกอนแล้วนำมาใส่ผ้าขาวบางที่ปูในแม่พิมพ์ แล้วห่อให้เป็นก้อนและกดเอาน้ำออก ก็จะได้เต้าหู้แข็งสีขาว

2.6.2. เต้าหู้อ่อน (Soft or firm tofu)

มีลักษณะเป็นเต้าหู้ที่มีสีขาวนวล มีวิธีการทำเช่นเดียวกับเต้าหู้แข็ง แต่นิยมใช้แคลเซียมซัลเฟตช่วยในการตกตะกอน และในขั้นตอนการกดทับจะใช้น้ำหนักกดที่น้อยกว่าเต้าหู้แข็ง จึงได้ลักษณะเนื้อที่เนียนและอ่อนนุ่มกว่าเต้าหู้แข็ง

2.6.3.เต้าหู้หลอด (Bagged or silken tofu)

มีลักษณะเป็นเต้าหู้ที่มีเนื้อนุ่ม สีขาวนวล เช่นเดียวกับเต้าหู้อ่อน แต่เนื่องจากวิธีทำต่างกัน คือ จะนำน้ำเต้าหู้มาบรรจุลงในหลอดพลาสติกแบบสุญญากาศไปพร้อมกับการตกตะกอนโปรตีนด้วยกลูโคโนเดลต้าแลคโตน โดยไม่มีการคนและไม่มีการกดทับเพื่อเอาน้ำออก ทำให้ได้เต้าหู้ที่มีความชื้นสูงและมีลักษณะที่ลื่นกว่าเต้าหู้อ่อน

2.7 กรรมวิธีการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง

2.7.1 การแช่ถั่วเหลือง

Huang และคณะ (2014) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสูงสุดของสารต้านอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองในระหว่างการงอก ซึ่งทำการงอกโดยนำถั่วเหลืองมาแช่น้ำเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำถั่วเหลืองมาเพาะในเครื่องเพาะกึ่งอัตโนมัติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-120 ชั่วโมง โดยระหว่างการเพาะจะทำการรดน้ำ 5 นาทีทุกชั่วโมง และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ผลที่ 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic content) มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดเป็นเวลา 3-4 วัน โดยในช่วงแรกเมื่อทำการเพาะถั่วเหลืองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของถั่วเหลืองงอกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองปกติ แต่ปริมาณสารประกอบฟีนอลจะมีค่าลดลง เมื่อทำการเพาะเป็นเวลา 48 ชั่วโมงและเพิ่มขึ้นอีกเมื่อทำการเพาะเป็นเวลา 72 ชั่วโมง และเมื่อทำการเพาะเป็นเวลา 96-120 ชั่วโมง พบว่าสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 330 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองปกติ

Jiang และคณะ (2013) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองงอกที่ปลูกระยะเวลาสั้น ซึ่งทำการงอกโดยนำถั่วเหลืองมาล้างน้ำประปา 3 ครั้งจากนั้นนำไปแช่น้ำค้างคืน 12 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนถั่วเหลืองต่อน้ำ (10:1) v/w ถั่วเหลืองจะถูกเทน้ำออก, ล้างน้ำและนำมาเพาะในเครื่องกึ่งอัตโนมัติซึ่งให้น้ำทุก 15 นาที และน้ำถูกเปลี่ยนทุก 12 ชั่วโมง กระบวนการงอกทำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28, 50 และ 72 ชั่วโมงตามลำดับ โดยผลของการเพาะงอกถั่วเหลืองที่ 28 ชั่วโมงจะให้ถั่วเหลืองที่เหมาะสำหรับทำน้ำนมถั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลือง เนื่องจากระยะเวลาในการปลูกที่สั้นกว่าจะให้กลิ่นรสของน้ำนมที่ดีกว่าและในแง่ของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล, เอนไซม์ยับยั้งทริปซินและปริมาณกรดไฟติก จะพบว่าปริมาณของเอนไซม์ยับยั้งทริปซินจะต่ำสุดถึงแม้ว่าปริมาณโพลีฟีนอลจะสูงขึ้นแต่ก็ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ

2.7.2 การตีปั่นถั่วเหลือง

ในการตีปั่นถั่วเหลือง น้ำที่ใช้จะเป็นน้ำร้อนหรือน้ำเย็นก็ได้ ถ้าใช้น้ำร้อนในการตีปั่น น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จะมีกลิ่นและรสชาติดีกว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการตีปั่นด้วยน้ำเย็น และยังช่วยลดกลิ่นถั่วได้มากกว่า ซึ่งกลิ่นของน้ำนมถั่วเหลืองเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับกลิ่นถั่วเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นระหว่างเอนไซม์ไลพอซีจิเนส (Lipoxygenase) กับไขมันในถั่วเหลือง เมื่อทำการตีปั่นเนื้อเยื่อของถั่วเหลืองจะถูกทำลายเอนไซม์และไขมันตั้งต้นจะเป็นอิสระ เมื่อมีน้ำมาร่วมด้วยจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้เร็วขึ้น การใช้น้ำอุณหภูมิสูงในการตีปั่นสามารถยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส ที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วได้เพราะความร้อนของน้ำจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อถั่วและยับยั้งเอนไซม์ จึงช่วยลดการเกิดกลิ่นถั่วได้ อุณหภูมิในการยับยั้งเอนไซม์ไม่ควรต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส (Nelson และคณะ, 1976)

Liu (1997) ได้ศึกษาอุณหภูมิในขั้นตอนการบดที่มีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้ พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการบดเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 50 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้ความแน่นเนื้อของเต้าหู้ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณหมู่ซัลฟ์ไฮดริลจะถูกทำลาย ทำให้มีปริมาณลดลง

Sarani และคณะ (2013) ศึกษาผลของสารสกัด Withania ต่อการตกตะกอนน้ำนมถั่วเหลืองสำหรับทำเต้าหู้ โดยน้ำนมถั่วเหลืองจะถูกตกตะกอนโดย Withania และคุณสมบัติของเต้าหู้ที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ ซึ่งในการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองในขั้นตอนของการตีปั่นจะใช้อัตราส่วนของถั่วเหลือง : น้ำ เป็น 1 : 4 โดยใช้ตีปั่น เป็นเวลา 5 นาที ที่ความเร็วสูงที่อุณหภูมิห้อง

2.7.3 การกรองเอากากออก

การกรองเป็นการแยกเอาส่วนที่ไม่ละลายน้ำออกจากส่วนที่ละลายน้ำ วิธีที่ง่ายที่สุดคือ การกรองด้วยผ้าขาวบาง ซึ่งอาจทำการกรองก่อนหรือหลังการต้มก็ได้ โดยการกรองก่อนให้ความร้อนอาจจะมีโปรตีนบางส่วนติดออกไปกับกาก ดังนั้นเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิต จึงควรนำกากมาล้างด้วยน้ำร้อนอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง จะช่วยให้โปรตีนละลายออกมามากขึ้น ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตได้ อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ใช้รวมกันต้องไม่มากกว่าปริมาณที่ต้องการในการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง

2.7.4 การให้ความร้อน

การให้ความร้อนมีจุดประสงค์หลายอย่างคือ เพื่อทำลายจุลินทรีย์ เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษา ทำลายสารบางชนิดที่มีอยู่ในถั่วเหลืองเป็นตัวการทำให้ร่างกายใช้สารอาหารได้น้อยลง เช่น สารยับยั้งเอนไซม์ทริพซิน (Trypsin inhibitor) แทนนิน (Tannin) และกรดไฟติก (Phytic acid) เป็นต้น จากการศึกษาของเพลินใจ (2545) พบว่าการให้ความร้อนกับน้ำนมถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จึงจะสามารถทำลายสารยับยั้งเอนไซม์ทริพซินที่มีในถั่วได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจะยังสามารถยับยั้งเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นถั่วในน้ำนมถั่วเหลืองได้ อย่างไรก็ตามสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีในถั่วเหลือง อาจจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากความร้อนในกระบวนการแปรรูป (Xu และ Chang,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2008) จากการศึกษาของ Chiarallo และคณะ (2006) พบว่าเมื่อให้ความร้อนกับน้ำนมถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีผลทำให้ปริมาณสารไอโซฟลาโวนลดลง 2 % และการให้ความร้อนยาวนานเป็นเวลา 15 นาที ส่งผลให้ปริมาณไอโซฟลาโวนลดลงถึง 20 %

นอกจากนี้การสูญเสียสารไอโซฟลาโวนจากกระบวนการแปรรูปเป็นน้ำนมถั่วเหลือง อาจจะเป็นผลเนื่องจากการที่สารไอโซฟลาโวนถูกชะล้างไปกับน้ำทิ้งของกระบวนการแปรรูป (Jackson และคณะ, 2002)

Wang และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาผลของระดับอุณหภูมิในการให้ความร้อนแบบสองขั้นตอนที่มีต่อคุณภาพของเต้าหู้หลอดที่ทำจากถั่วเหลือง พบว่าการให้ความร้อนแบบสองขั้นตอนทำให้ความยืดหยุ่นของเต้าหู้หลอดเพิ่มขึ้นและร้อยละการขับน้ำออกจากเจลลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยในขั้นตอนแรกการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีผลต่อความยืดหยุ่นและร้อยละการขับน้ำออกจากเจลมากกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ส่วนในขั้นตอนที่สองการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีผลมากกว่าให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส ดังนั้นสภาวะการให้ความร้อนแบบสองขั้นตอนที่เหมาะสม คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 10 นาที แล้วตามด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที

เมื่อศึกษาผลของเวลาในการให้ความร้อนแบบสองขั้นตอน พบว่าการให้ความร้อนในขั้นตอนแรก นาน 5,10 และ 30 นาที ไม่มีผลทำให้ความยืดหยุ่นและร้อยละการขับน้ำออกจากเจลเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบการให้ความร้อนแบบสองขั้นตอนกับขั้นตอนเดียว พบว่าการให้ความร้อนแบบสองขั้นตอนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 10 นาที แล้วตามด้วย 100 องศาเซลเซียสนาน 5 นาที ได้ปริมาณผลผลิต ความแข็ง และความยืดหยุ่นมากกว่า และมีร้อยละการขับน้ำออกจากเจลน้อยกว่าการให้ความร้อนแบบขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

2.7.5 การเติมสารตกตะกอน

Liu (1997) กลูโคโนเดลต้าแลคโตน เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกลูโคสในระบบอุตสาหกรรมผลิตได้จากแป้งข้าวโพดโดยอาศัยกระบวนการหมัก GDL มีลักษณะผงละเอียดสีขาว ไม่มีกลิ่น และรสหวาน นิยมใช้กันอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหารโดยใช้เป็นสารตกตะกอนโปรตีน และใช้เป็นสารที่ทำให้ค่าความเป็นกดด่างต่ำลง (pH-lowering agent) โดย GDL เมื่อละลายน้ำจะได้เป็นกรดกลูโคนิก GDL เข้มข้นร้อยละ 1 จะมีค่าความเป็นกรดด่าง 3.6 ภายใน 2 ชั่วโมง GDL มีข้อแตกต่างพื้นฐานจากไนการีและสารประกอบยิปซัม คือ GDL เกิดจากปฏิกิริยาของกรดมากกว่าเกลือ ข้อดีที่สำคัญของ GDL คือ สามารถใช้ในปริมาณมากผสมกับน้ำนมถั่วเหลืองที่อุณหภูมิห้อง แล้วเทใส่ภาชนะปิดผนึกได้ทันที จากนั่นนำไปแช่ในน้ำร้อน การตกตะกอนของโปรตีนจะเกิดขึ้นช้าๆ เนื่องจากความร้อนไปกระตุ้นให้เกิดไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ GDL ในกรดกลูโคนิค สารตกตะกอนชนิดนี้เหมาะสำหรับการผลิตเต้าหู้อ่อนในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากเต้าหู้ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสละเอียดเนียน นอกจากนี้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์ยังทำให้เต้าหู้มีอายุการเก็บนานขึ้นอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงด้านคุณค่าทางโภชนาการแล้ว เกลือแคลเซียมจะเพิ่มปริมาณแคลเซียมในเต้าหู้ให้สูงขึ้น แต่ถ้าต้องการเต้าหู้ที่มีคุณภาพดีขึ้นก็มักจะมีการใช้ GDL ร่วมกับเกลือแคลเซียมในการผลิตเต้าหู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 อนุมูลอิสระ (โอภา และคณะ, 2549)

อนุมูล หรือ อนุมูลอิสระ คือ อะตอม โมเลกุล หรือสารประกอบที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ในออร์บิทัลวงนอกสุดที่มีระดับพลังงานสูง สัญลักษณ์ทางเคมีของอนุมูลหรืออนุมูลอิสระ คือ อิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลซึ่งจะแสดงด้วยจุดในตำแหน่งข้างบนของสัญลักษณ์ทางเคมี เช่น อนุมูล $A^{\cdot}$ อนุมูล $A^{-\cdot}$ และอนุมูล $A^{+\cdot}$ โดยเฉพาะอนุมูลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะไวต่อปฏิกิริยามากกว่าอนุมูลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอนุมูลอิสระมีคุณสมบัติเฉพาะ คือ มีความไวสูงในการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆ ตัวอย่างของอนุมูลอิสระที่มีความสำคัญในทางชีวภาพ ได้แก่ อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออน (O_2^{-}) อนุมูลไฮดรอกซี ($^{\cdot}OH$) อนุมูลอัลคอกซี ($RO^{\cdot}$) และอนุมูลเปอร์ออกไซด์แอนอิออน ($OH_2^{\cdot}$) อนุมูลอิสระเหล่านี้ จัดเป็นอนุมูลที่ไวในการเกิดปฏิกิริยาสูงมาก และขณะที่ไนตริกออกไซด์ (NO) หรือ อนุมูลอิสระไนตริกอกไซด์ ($^{\cdot}NO$) อนุมูลวิตามินอีและอนุมูลวิตามินซีเป็นอนุมูลที่มีความไวสูงรองลงมา การเกิดอนุมูลอิสระมีได้หลายกลไกที่แตกต่างกันดังนี้

ก. การแตกของพันธะโควาแลนท์แบบโฮโมไลซิส

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

ข. การเพิ่มอิเล็กตรอน 1 ตัวให้แก่อะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้า

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

ค. การสูญเสียอิเล็กตรอน 1 ตัวให้แก่อะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้า

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

นอกจากนี้การศึกษาและวิจัยพบว่ามีสารหลายชนิดที่ไม่ได้อยู่ในสภาวะอนุมูล แต่มีความเกี่ยวข้องหรือเป็นผลผลิตของอนุมูล เนื่องจากมีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่าย เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เปอร์-ออกซีไนไตรท์

2.9 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ หรือ สารแอนติออกซิแดนท์ ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดกระบวนการออกซิเดชัน ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ สารแอนติออกซิแดนท์จะช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้มีผลทำลายเซลล์ โดยทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ จับตัวกับโลหะที่ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือลดการก่อตัวของซิงเกล็ทออกซิเจน (Singlet oxygen) ซึ่งเป็นออกซิเจนที่อยู่ในรูปที่พร้อมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดย

2.9.1 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ

โดยทั่วไปสารต้านอนุมูลอิสระแบ่งเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ (อัญชนา เจนวิถีสุข,2545)

2.9.1.1 Primary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ได้แก่สารประกอบฟีนอลิค (Phenolic substance) ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้ ยังรวมถึงสารโทโคฟีรอลธรรมชาติและสังเคราะห์ (Natural and synthetic tocopherol) ซึ่งสารในกลุ่มดังกล่าวทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1.2 Oxygen scavenger

สารในกลุ่มนี้ได้แก่กรดแอสคอร์บิคหรือวิตามินซี Ascorbyl palmitate erythorbic acid (Isoascorbic acid) และ Sodium erythorbate เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงเป็นการช่วยกำจัดออกซิเจนในระบบปิดได้

2.9.1.3 Secondary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ Dillauryl thiopropionate และ Thiopropionic acid ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของ Lipid hydroperoxide ให้เป็นสารที่มีความเสถียร

2.9.1.4 Enzymican antioxidant

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ เอนไซม์ต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็น Primary antioxidant enzyme และ Ancillary antioxidant enzyme สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนหรืออนุพันธ์ของออกซิเจนโดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

2.9.1.5 Chelating agent หรือ Sequestrate

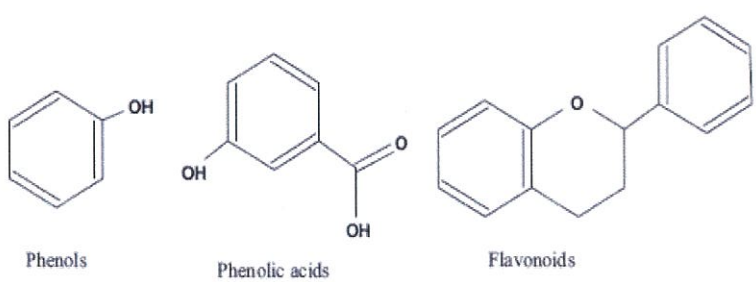
สารในกลุ่มนี้ เช่น กรดซิตริค กรดอะมิโน Ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA) เป็นต้น สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ไปจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก และทองแดง ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนที่ส่งเสริมและเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร

2.10 สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2553)

สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) หรือสารประกอบฟีนอล เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอล มีโภชนเภสัช ซึ่งสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถละลายได้ในน้ำ

2.10.1 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอล มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน ที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซิน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่ สารประกอบฟีนอลพื้นฐาน คือ สารฟีนอล (phenol) ในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ดังที่แสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอล

ที่มา :พิมพ์เพ็ญและนิธิยา (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoid)

สารประกอบฟีนอลที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนแอลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น

2.10.2 แหล่งที่พบ

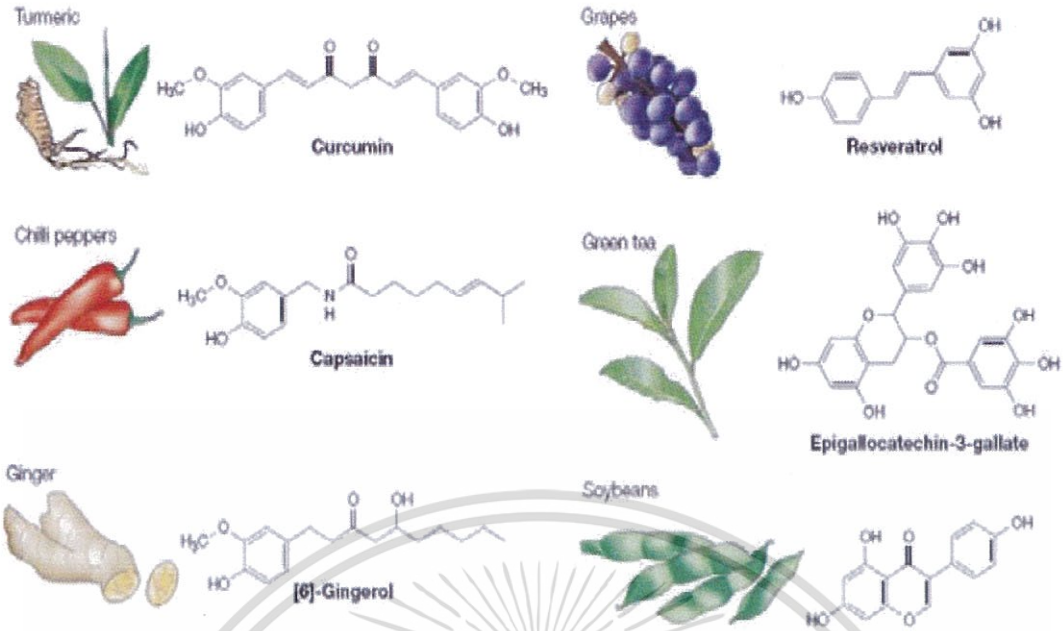
สารประกอบฟีนอล พบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) ในส่วนต่างๆ ของพืช เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด

- ถั่วเมล็ดแห้ง ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง
- เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว และ งา
- ผลไม้ ได้แก่ องุ่น ส้ม กระท้อน
- เครื่องเทศ เช่น พริกไทย พริก ขิง กระเทียม หอมแดง หอมหัวใหญ่
- พืชเครื่องดื่ม ได้แก่ ชา โกโก้
- พืชหัว ได้แก่ มันเทศ

ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอลที่พบตามธรรมชาติในพืช

- จินเจอรอล (gingerol) พบในขิง
- ยูจินอล (eugenol) ใน กานพลู ตะไคร้ ใบกระเพรา
- แคปไซซิน (capsaicin) ในพริก
- เคอคิวมิน (curcumin) ในขมิ้น
- แคทีชิน (catechin) ในชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลที่พบพืช

ที่มา :พิมพ์เพ็ญและนิธิยา (2553)

2.10.3 สรรพคุณของสารประกอบฟีนอล

2.10.3.1. ประโยชน์ต่อสุขภาพ สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagenic) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือดและมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระจะถูกทำลายไปด้วย

2.10.3.2. ใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation)

2.11 โพลีฟีนอล (Polyphenol)

โพลิฟีนอล (polyphenol) เป็นสารในกลุ่มสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรแมติก (aromatic ring) ที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) รวมอยู่ในโมเลกุล ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป พอลิฟีนอลซึ่งเป็นไฟโตเคมิคัล (Phytochemical) ที่สังเคราะห์โดยพืช ประกอบด้วย bioflavonoids เช่น anthocyanins, coumestanes, flavonoids, isoflavonoids, stilbenes เป็นต้น

1. กลุ่ม Oligometric polyphenols เช่น proanthocyanidins เป็นต้น
2. กลุ่ม Flavonoids ได้แก่ flavone, flavanone, flavan, flavonol, flavanol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 ประโยชน์ต่อสุขภาพ

พอลิฟีนอล (polyphenols) เป็นโภชนเภสัช มีสมบัติที่ดีต่อสุขภาพ คือ

2.11.1.1. สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant)

2.11.1.2. สารต้านมะเร็ง

2.11.1.3. ลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจ โดยลดระดับของ cholesterol และ triglyceride ในเลือด กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน สามารถช่วยลดการเกิด oxidation ของ low-density lipoprotein (LDL) cholesterol ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ (Weisburger, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่าชาเขียวสามารถช่วยลดปริมาณ LDL, very low-density lipoprotein (VLDL) และ triglyceride (Muramatsu และคณะ, 1986) และยังช่วยเพิ่มปริมาณ high-density lipoproteins (HDL) ในกระแสเลือด (Yokozawa และคณะ, 2002) ซึ่งการมีปริมาณ triglyceride ต่ำ และ HDL สูงนี้สะท้อนถึงสุขภาพของระบบหัวใจที่ดี 2.11.1.4. ควบคุมความดันโลหิตสูง โดยไปยับยั้ง angiotensin-I converting enzyme (ACE)

2.11.1.5. สมบัติต้านโรคอ้วน : Polyphenols สามารถยับยั้ง catechol-O-methyl transferase จึงช่วยกระตุ้นการสร้างความร้อนของร่างกาย ซึ่งช่วยเผาผลาญพลังงานและช่วยการจัดการกับโรคอ้วน (Baldessarini & Greiner, 1973) ทั้งยังมีสมบัติในการชะลอการปล่อย glucose สู่กระแสเลือด ดังที่กล่าวมาแล้วในเรื่องสมบัติต้านโรคเบาหวาน ซึ่งทำให้ชะลอการสร้าง insulin ซึ่งเป็น hormone ที่ส่งเสริมให้ร่างกายสะสมไขมัน ดังนั้น ร่างกายจึงเผาผลาญไขมันแทนที่จะสะสมไขมัน

2.11.1.6. สมบัติต้านโรคเบาหวาน : การศึกษาในหนูทดลอง พบว่า polyphenols สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูที่เป็นเบาหวาน (Gomes และคณะ, 1995) polyphenols ลดระดับน้ำตาลในเลือดโดยยับยั้งการทำงานของ amylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยแป้ง polyphenols ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ amylase ทั้งในน้ำลายและลำไส้ ซึ่งผลที่เกิดขึ้น คือ แป้งจะถูกย่อยช้าลง ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในเลือดเป็นไปอย่างช้าๆ นอกจากนั้นชาเขียวยังลดการดูดซึมของกลูโคสที่ลำไส้ (Deng & Tao, 1998; Gomes และคณะ, 1995)

2.11.1.7. สมบัติป้องกันฟันผุ : Polyphenols ช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในช่องปาก ซึ่งมีทั้งแบคทีเรียที่ก่อโรคในช่องปาก Porphyromonas gingivilis และแบคทีเรียที่ทำให้ฟันผุ Streptococcus mutans (Hara, 1997; Sakanaka, 1997) นอกจากนั้นการที่ polyphenols ยับยั้งการทำงานของ amylase ในน้ำลาย ช่วยให้การผลิตกลูโคสและมอลโทสลดน้อยลง ลดปริมาณอาหารของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดฟันผุ นอกจากนี้ยังช่วยให้เคลือบฟันแข็งแรงต้านทานการผุ

2.11.1.8. สมบัติต้านจุลินทรีย์ : Polyphenols มีสมบัติในการต้านแบคทีเรีย เชื่อกันว่า polyphenols ทำลายเยื่อหุ้ม cell ของแบคทีเรีย การดื่มชาสามารถใช้รักษาโรคท้องร่วง และโรคไทฟอยด์ (typhus) (Shetty และคณะ, 1994) catechins สามารถฆ่าสปอร์ของแบคทีเรีย Clostridium botulinum ซึ่งเป็นสาเหตุของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรคอาหารเป็นพิษ และยังสามารถฆ่าแบคทีเรียที่ทนความร้อน (thermophile) บางชนิด เช่น Bacillus subtilis, Bacillus cereus, Vibrio parahaemolyticus และ Clostridium perfringens

2.12 การทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การทดสอบฤทธิ์ของสารในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถตรวจสอบได้โดยการติดตามปริมาณผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาหรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของ Lipid hydro peroxides เช่นสารประกอบแอลดีไฮด์ เป็นต้น หรือทำการทดสอบโดยตรงว่าสารตัวอย่างนั้นๆ สามารถดักจับอนุมูลอิสระได้หรือไม่ ดังนี้

2.12.1 การทดสอบฤทธิ์ที่ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี Thiobarbituric reactive substances (TBARS) (Fauconneau และคณะ, 1997)

วิธีนี้เป็นการติดตามปริมาณสารประกอบอัลดีไฮด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Low density lipoprotein (LDL) กับโลหะไอออน เช่น Fe^{2+} Cu^{2+} โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

2.12.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี Ferrous oxidation-xylenol orange (FOX)

วิธีนี้เป็นวิธีที่วัดปริมาณ Hydroperoxides ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Low density lipoprotein ที่ถูกกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาด้วยโลหะไอออนโดยเปลี่ยน Hydrogen peroxide ให้เป็นสารประกอบที่มีมีด้วยการทำปฏิกิริยากับ Xylenol orange [o-cresolsulfonphtalein-3,3'-bis (methy liminodiacetic acid) sodium salt] สารประกอบที่เกิดขึ้นมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

2.12.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay (Yamazaki และคณะ, 1994)

วิธีนี้เป็นการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยให้สารตัวอย่างทำให้ปฏิกิริยากับ DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรมีสีม่วง เมื่อ DPPH ได้รับอิเล็กตรอนหรืออนุมูลอิสระไฮโดรเจน จะเปลี่ยนเป็น DPPH:H ติดตามผลการทดลองโดยวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ บรรจุในถุงสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิห้องเย็น 4 องศาเซลเซียส

3.1.2 สารเคมี

Folin-ciocaltue Reagent	Carlo ERBA Reagent SpA.,Rodona
Sodium Carbonate	Ajax Finechem Pty Ltd.,Newzealand
Gallic acid 98%	New Jersey, USA
Acetone	RLC Labscan Limited, Thailand
Acetic acid	RLC Labscan Limited, Thailand
Petroleum ether	RLC Labscan Limited, Thailand
Sulfuric acid (H_2SO_4)	RLC Labscan Limited, Thailand
Boric acids (H_3BO_3)	Carlo ERBA Reagent SpA, Rodona
Hydro Chloric Acid 37%	RLC Labscan Limited, Thailand
Sodium hydroxide (NaOH)	Carlo ERBA Reagent SpA, Rodona
2,2-diphenyl-1-picryhydrazyl radical (DPPH)	Sigma-aldrich, USA
Trolox 97%	New Jersey, USA
Methyl red	Carlo ERBA Reagent SpA, Rodona
Methylene blue	Qualigens Fine Chemicals Pvt.Ltd., India
Gluconodeltalactone 99%	New Jersey, Usa
Ethyl alcohol absolute	ITALMAR CO., LTD, FRANCE

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ในการเพาะถั่วเหลือง

เครื่องเพาะถั่วงอก	ชนิด Digital Rong Wei, China

3.2.2 อุปกรณ์ในการเตรียมเต้าหู้

เครื่องปั่นเปียก	ยี่ห้อ imarflex IF-315
เตาแก๊ส	
หม้อ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
148895

ทัพพี

ถ้วย

เครื่องชั่งโดยละเอียด

กระบอกวัดปริมาตร

เทอร์โมมิเตอร์

นาฬิกาจับเวลา

ผ้าขาวบาง

หลอดพลาสติกใสบรรจุเต้าหู้ ขนาด 2x6 นิ้ว

หนังยาง

3.2.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ถั่วเหลือง,น้ำนมถั่วเหลืองและเต้าหู้

เครื่องดูดกลืนแสง (UV-visiblespectrophotometer)	Becthai Bankok Equipment & Chemical CO., Ltd. USA
เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)	Suntex SP701, Metittler-Toled AG., Switzerland
เครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus)	Soxhlet Model KB8S, Scientific Promotion CO., LTD. Thailand
เครื่องสกัดโปรตีน (Kjeldahl apparatus)	Scientific Promotion CO., LTD. Thailand
เครื่องบรรจุถุงสุญญากาศ (Vacuum pack)	Model APV-400, Alpha-Pack Enterprise Limited, Hong kong
เครื่องผสมสารละลาย (Vortex)	Model LG-560E,Scientific Industries, INC,USA
เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)	Zentrifuge Universal320 Tuttlingen, Germany
เครื่อง Texture analyzer เครื่องวัดสี CR400	
ตู้อบลมร้อน (Hot air)	Beschickunkung-Loading Model 100-800,Memmert GmbH+CO.KG, Germany
ตู้อบลมร้อนแบบสุญญากาศ (Vacuum oven)	
เตาเผา (Muffle furnace)	Carbolite control 3216ee, Memmert GmbH+CO.KG, Germany
เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง	Sartorius BP2215, Scientific

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Industries,INC.,USA

กระบอกน้ำกลั่น

Hot plate stirrer

Magnetic stirrer

โถดูดความชื้น (Desiccator)

ถ้วยอะลูมิเนียม (Aluminum can)

ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)

คิวเวตต์ (Cuvette)

ปิเปตอัตโนมัติ (Auto pipette)

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 การเพาะถั่วเหลืองงอก (Huang และคณะ, 2014)

นำเมล็ดถั่วเหลืองมาล้างทำความสะอาด และแช่น้ำในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถั่วเหลืองต่อน้ำเป็น 1 : 10 ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำถั่วเหลืองมาเพาะในเครื่องเพาะกึ่งอัตโนมัติที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36-48 ชั่วโมง โดยระหว่างการเพาะจะทำการรดน้ำทุก 15 นาทีและทำการเปลี่ยนน้ำทุก 12 ชั่วโมง

3.3.2 การเตรียมเต้าหู้

นำถั่วเหลืองและถั่วเหลืองงอกที่ได้จากการเพาะงอกเป็นเวลา 36 และ 48 ชั่วโมง (ซึ่งในงานวิจัยนี้เรียกว่า ถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอก ตามลำดับ) มาล้างทำความสะอาด ก่อนนำไปตีปั่นผสมกับน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถั่วเหลืองต่อน้ำเป็น 1 : 4 เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมากรองแยกกากด้วยผ้าขาวบางพับสองชั้นเป็นจำนวน 2 ครั้ง จะได้ส่วนของเหลวที่เป็นน้ำนมถั่วเหลืองดิบ แล้วจึงนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นรอให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ทำการใส่สารตกตะกอน Gluconodeltalactone (GDL) 1 % w/w คนจนละลาย แล้วจึงนำมาบรรจุในถุงพลาสติกใสขนาด 2x6นิ้ว มัดปากถุงด้วยหนังยางให้แน่น จากนั้นนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

3.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพ

3.3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติด้านการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของถั่วเหลือง

นำตัวอย่างถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกที่ได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต การแช่น้ำ (ตัวอย่าง คือ เมล็ดถั่วเหลืองหลังแช่น้ำ) การตีปั่นผสม (ตัวอย่าง คือ น้ำนมถั่วเหลืองดิบหลังการตีปั่น) การกรอง (ตัวอย่าง คือ น้ำนมถั่วเหลืองดิบหลังแยกกากออก) การให้ความร้อนที่ครั้งที่ 1 (ตัวอย่าง คือ น้ำนมถั่วเหลืองสุก) การเติม GDL (ตัวอย่าง คือ น้ำนมถั่วเหลืองหลังใส่สารตกตะกอน GDL) และการให้ความร้อนครั้งที่ 2 (ตัวอย่าง คือ เต้าหู้หลังการให้ความร้อน) นำมาทำแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบสุญญากาศ ด้วยเครื่องตู้อบลมร้อนแบบสุญญากาศ (Vacuum oven) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำตัวอย่างแห้งที่ได้บรรจุใส่ถุงแบบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนนำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์สมบัติด้านการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ประกอบด้วย 2 วิธีคือ การตรวจปริมาณสารฟีนอลทั้งหมดและการตรวจสอบการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ

1. การเตรียมสารสกัดถั่วเหลือง น้ำนมถั่วเหลือง และเต้าหู้ถั่วเหลือง (Jiang และคณะ, 2013)

นำตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบสุญญากาศแล้วในปริมาณ 0.5 กรัม มาสกัดด้วยสารละลาย Acidic acetone (Acetone : น้ำกลั่น : Acetic acid = 70 : 29.5 : 0.5 v/v/v) ที่มีปริมาตร 5 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนผสมเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ 8000 rpm เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสที่ได้เก็บไว้ แล้วนำตัวอย่างที่ตกตะตอนหลังจากการแยกเหวี่ยงไปสกัดด้วยสารละลาย Acidic acetone อีก 1 รอบ จากนั้นนำส่วนใสที่ได้จากการสกัดของทั้ง 2 รอบมารวมกัน จะได้เป็นสารสกัดในปริมาตรประมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

2. การตรวจสอบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดโดยใช้ Folin-ciocalteu assay (Jiang และคณะ, 2013)

นำสารสกัดถั่วเหลืองจากข้อ 1 มา 50 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติมสารรีเอเจนต์ Folin-ciocalteu's reagent ในปริมาตร 250 ไมโครลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต 750 ไมโครลิตร (7% น้ำหนักโดยปริมาตร) กวนผสมให้เข้ากันได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน จากนั้นทิ้งสารละลายที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปทำการตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (Total phenolic content : TPC) จะถูกแสดงผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของตัวอย่าง (mg Gallic acid equivalents/g of sample: mg GAE/g) โดยเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานที่ได้จากการใช้กรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ มาตราวัดค่าดูดกลืนแสงแล้วพลอตกราฟ โดยกราฟมีค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิกเป็น แกน x และค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกน y

3. การตรวจสอบการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ DPPH assay

นำสารสกัดถั่วเหลืองจากข้อที่ 1 มาในปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลาย DPPH (ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์) ลงไป 3.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างไปคำนวณหาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอคซ์เป็นตัวเปรียบเทียบในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ

3.3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

1. ปริมาณความชื้น

นำถ้วยอะลูมิเนียมมาอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น และนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง นำตัวอย่างใส่ถ้วยอะลูมิเนียม แล้วบันทึกน้ำหนักตัวอย่างกับถ้วยอะลูมิเนียม จากนั้นนำไปเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก อบต่อครั้งละ 30 นาที จนน้ำหนักคงที่ จึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

2. ปริมาณเถ้า

เผาถ้วยกระเบื้องในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น และนำไปชั่งน้ำหนักด้วยด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง นำตัวอย่างใส่ในถ้วยกระเบื้องและบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง จากนั้นเผาตัวอย่างบนแผ่นความร้อน จนควันหมด (ทำในตู้ดูดควัน) จากนั้นนำตัวอย่างไปเผาด้วยเตาเผา ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว รอให้เตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เย็น ก่อนคีบถ้วยกระเบื้องออกมาใส่ในโถดูดความชื้นนำมาทิ้งให้เย็นและชั่งน้ำหนัก เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์เถ้า

3. ปริมาณโปรตีน

นำตัวอย่างใส่ในหลอดย่อยโปรตีน เติมตัวเร่ง (Catalysts) 10 กรัม และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ Boiling chip 3 ลูก จากนั้นนำไปวางในชั้นวาง และนำเข้าเครื่องย่อยโปรตีน พร้อมต่ออุปกรณ์และเปิดเครื่อง โดยใช้อุณหภูมิในการย่อย 380 องศาเซลเซียส ทำการย่อยจนได้สารละลายใสหรือสีฟ้าใส จากนั้นปิดเครื่องและยกชั้นวางขึ้นวางพักไว้จนเย็น จากนั้นนำหลอดย่อยตัวอย่างต่อเข้าชุดกลั่นโปรตีน และเติมกรดบอริกเข้มข้น 2 % ในปริมาตร 60 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ หยดอินดิเคเตอร์ อย่างละ 1 หยด และวางในชุดเครื่องกลั่น พร้อมต่ออุปกรณ์ให้เรียบร้อย ก่อนทำการเปิดเครื่องและกดโปรแกรมเพื่อทำการย่อยโปรตีน จากนั้นนำขวดรูปชมพู่ที่ได้จากการกลั่นซึ่งได้เป็นสารละลายสีเขียวมาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูม่วง และบันทึกปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน

4. ปริมาณไขมัน

อบบีกเกอร์ที่ใช้เพื่อวิเคราะห์ไขมันพร้อม Boiling chip ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และบันทึกน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ชั่งตัวอย่างที่ไล่ความชื้นแล้วและห่อด้วยกระดาษกรอง ก่อนนำไปใส่ลงในทิมเบิล (Thimble) ตวงตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ 140 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ไขมัน จากนั้นบรรจุทิมเบิลที่ใส่ตัวอย่างแล้วลงในบีกเกอร์ก่อนนำเข้าเครื่องสกัดไขมันและเปิดเครื่องที่ตั้งโปรแกรมในการวิเคราะห์ไขมันแล้ว จากนั้นนำบีกเกอร์ที่ได้จากเครื่องสกัดไขมันไปตั้งบนแผ่นความร้อน (Hot plate) ที่ 90 องศาเซลเซียส (ทำในตู้ดูดควัน) แล้วนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์

5. คาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

สามารถหาได้โดยวิธีการคำนวณจากสูตรเมื่อทราบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์เถ้า เปอร์เซ็นต์โปรตีนและเปอร์เซ็นต์ไขมัน

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

6. ค่าสี

การตรวจวัดสีจะตรวจวัดในระบบ Minolta (CR300) โดยค่าการวัดสีค่า L แสดงถึงความสว่างของสี มีค่าตั้งแต่ 0-100 ยิ่งค่ามากยิ่งมีความสว่างมาก ค่า a แสดงความเป็นสีเขียวและสีแดง ถ้าค่า a เป็นบวกแสดงถึงมีสีแดง ถ้าเป็นลบแสดงว่ามีสีเขียว ค่า b แสดงถึงความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน ถ้าค่า b เป็นบวกแสดงว่ามีสีเหลือง ถ้าเป็นลบแสดงว่ามีสีน้ำเงิน

7. การวัดเนื้อสัมผัส (Bourne, 2002)

นำตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่มีลักษณะทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 เซนติเมตร และความสูง 1 เซนติเมตร เตรียมโดยใช้ตัดส่วนตรงกลางของเต้าหู้ด้วยพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดสแตนเลส ตัวอย่างจะถูกวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้ เครื่อง TA.XT2i texture analyzer (Stable Micro Systems, Godalming,UK) โดยใช้หัวกดขนาด 10 มิลลิเมตรกดให้เสียรูปร่างไป 50 % ความเร็วในการทดสอบ 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที ความแข็งจะเป็นความสูงสุดของจุดยอดบนกราฟจุดแรกซึ่งเป็นที่ทำให้เกิดการเสียรูปร่างไป

8. อัตราการขับน้ำของเจล (Meng Li และคณะ, 2015)

นำเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกมาตัดขวางให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 เซนติเมตร หลังจากตัดให้นำเต้าหู้จำนวน 6 ชิ้น วางบนตะแกรงโลหะในกล่องพลาสติก ตะแกรงจะถูกรองรับไว้บนขาสี่ขา ของเหลวที่ไหลซึมออกจะแยกออกจากเจลเต้าหู้ กล่องจะถูกปิดด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหย เนื่องจากของเหลวจะไหลออกมาช้า ดังนั้นต้องนำเข้าไปเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณของเหลวที่ไหลออกมาจะนำไปคำนวณอัตราของการขับน้ำ

$$\text{อัตราการขับน้ำ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของเหลวที่ไหลออกจากตัวอย่างใน 24 ชั่วโมง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอก

ผลการศึกษาพบว่าสารประกอบโพลีฟีนอลของถั่วเหลืองปกติ ถั่วเหลืองงอกที่เวลา 36 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 55.3252, 77.8862 และ 116.9512 mg GAE/g ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Huang และคณะ (2014) ที่พบว่า ถั่วเหลืองงอกมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงกว่าถั่วเหลืองปกติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมล็ดถั่วเหลืองจำเป็นต้องใช้สารประกอบโพลีฟีนอลในการเจริญเติบโตและปกป้องถั่วเหลืองจากสภาวะแวดล้อมภายนอกในระหว่างการงอก จึงทำให้เกิดการสังเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลขึ้นมาในระยะนี้ นอกจากนี้กัลยารัตน์ (2558) รายงานว่า ต้นถั่วงอกและต้นอ่อนของถั่วเหลืองอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระประเภทโพลีฟีนอลและวิตามินอี และพบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล (กลุ่มสารฟลาโวนอยล์) ในถั่วเหลืองงอกมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในระหว่างกระบวนการงอก ซึ่งเป็นฟลาโวนอยด์เป็นสารที่ให้ผลทางเภสัชวิทยาเช่น ต้านอนุมูลอิสระ ลดการอักเสบ ลดการแข็งตัวของหลอดเลือด นอกจากนี้ยังสามารถลดความเสี่ยงของโรคหัวใจหรือโรคมะเร็งได้

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของถั่วเหลืองปกติในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้ถั่วเหลือง

จากการศึกษาผลของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองที่มีต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่าขั้นตอนการแช่น้ำส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และในทุกขั้นตอนหลังจากนั้น เริ่มตั้งแต่ ขั้นตอนการตีปั่น ขั้นตอนการกรอง ขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ขั้นตอนการเติมสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตนและขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ส่งผลให้ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อสังเกตในแต่ละขั้นตอนการผลิต พบว่าขั้นตอนการแช่น้ำ ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในถั่วเหลืองปกติมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบ ในขั้นตอนการตีปั่นและการกรองส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในน้ำนมถั่วเหลืองดิบมีค่าลดลงประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์และ 17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบ ตามลำดับ ในขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 และการเติมสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตนส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในน้ำนมถั่วเหลืองสุกมีค่าลดลงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และ 22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบตามลำดับ ตลอดจนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในเต้าหู้ถั่วเหลืองมีค่าลดลงประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น กระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง โดยขั้นตอนการแช่น้ำส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ขั้นตอนการผลิตอื่นๆ เนื่องจากการแช่น้ำทำให้โครงสร้างของเซลล์นุ่มลง สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ซึ่งพบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) ในส่วนต่างๆของเมล็ดถั่วเหลืองจะถูกปลดปล่อยออกมา (Jiang และคณะ, 2013) และในทุกขั้นตอนหลังจากการแช่น้ำ ส่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

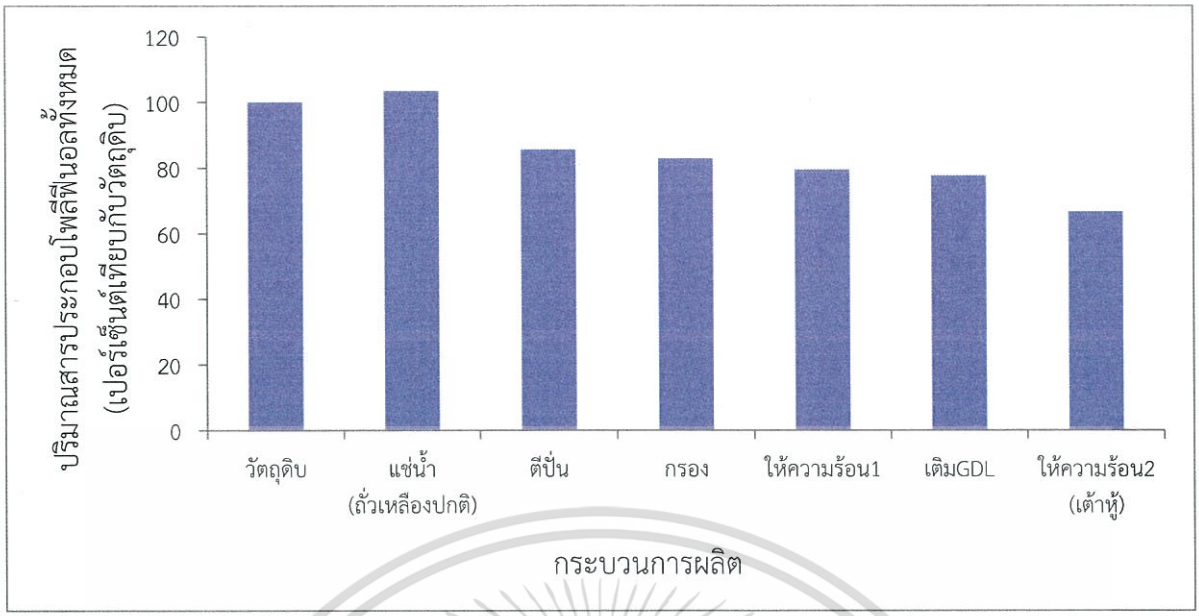
ให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลง เนื่องจากขั้นตอนการตีปั่นเมื่อทำการตีปั่นในระยะเวลาที่นานขึ้น อุณหภูมิในการตีปั่นจะเพิ่มมากขึ้น จึงมีผลทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอลในขั้นตอนนี้ ในขั้นตอนการกรอง อาจเกิดจากสารประกอบโพลีฟีนอลที่ไม่ละลายน้ำในน้ำนมถั่วเหลืองดิบสูญเสียไปกับส่วนที่เป็นกาก จึงทำให้สารประกอบโพลีฟีนอลลดลง ในขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 รวมไปถึงขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลมีค่าที่ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิและเวลา มีผลทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chung และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการผลิตเต้าหู้ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดฟีนอลิก (Phenolic acids) พบว่า การให้ความร้อน การกรอง และการตกตะกอน มีผลต่อการสูญเสียสารประกอบโพลีฟีนอล โดยกรดฟีนอลิกมีการสูญเสียประมาณ 50% หลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อน โดยผลจากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากงานวิจัยของ Xu & Chang (2008) ซึ่งระบุว่าการให้ความร้อนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการลดลงของสารประกอบโพลีฟีนอล โดยสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลง 30% จากการต้มเมล็ดถั่วเหลืองเป็นเวลา 120 นาที

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของถั่วเหลืองปกติในระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (mg GAE/g)	เปอร์เซ็นต์เทียบกับวัตถุดิบ
วัตถุดิบ	ถั่วเหลืองแห้ง	53.46 ± 0.67^{a}	100.00
การแช่น้ำ	ถั่วเหลืองปกติ	55.33 ± 2.51^{a}	103.50
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองดิบ	45.73 ± 1.08^{b}	85.54
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองดิบ	44.35 ± 1.37^{bc}	82.96
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองสุก	42.52 ± 0.07^{bc}	79.54
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองสุก	41.54 ± 0.18^{c}	77.70
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลือง	35.61 ± 4.24^{d}	66.61

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์เทียบวัตถุดิบ) ของถั่วเหลืองปกติที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้

4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของถั่วเหลืองงอกในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

จากการศึกษาผลของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมงต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่า ขั้นตอนการเพาะงอก ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และในทุกขั้นตอนหลังจากนั้น เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการตีปั่น ขั้นตอนการกรอง ขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ขั้นตอนการเติมสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตน และขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ส่งผลให้ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อสังเกตในแต่ละขั้นตอนการผลิต พบว่า ในขั้นตอนการเพาะงอกและขั้นตอนการตีปั่น ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในถั่วเหลืองงอกและน้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 46 เปอร์เซ็นต์และ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบตามลำดับ ในขั้นตอนการกรองส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในน้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบมีค่าลดลงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบในขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 และการเติมสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตน ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในน้ำนมถั่วเหลืองงอกสุกมีค่าลดลงประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ และ 19 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบตามลำดับ ตลอดจนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกมีค่าลดลงประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

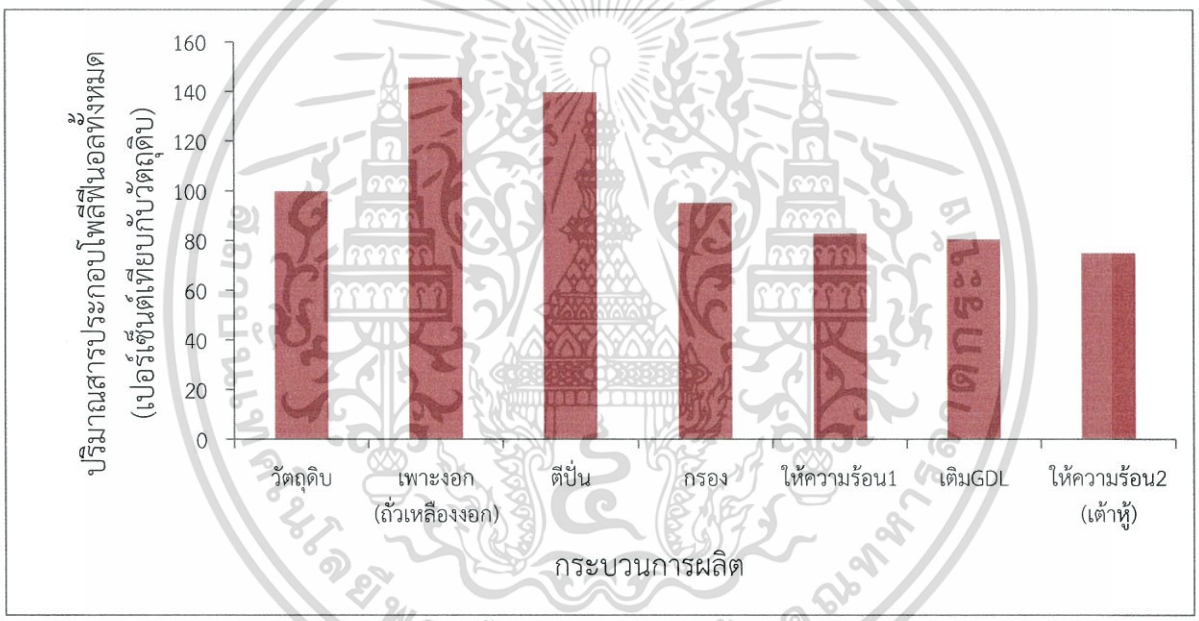
ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ โดยในขั้นตอนการเพาะงอกส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของถั่วเหลืองงอกที่ใช้ระยะเวลาการงอก 36 ชั่วโมงในระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (mg GAE/g)	เปอร์เซ็นต์เทียบกับวัตถุดิบ
วัตถุดิบ	ถั่วเหลืองแห้ง	55.33 ± 2.51[a]	100.00
การเพาะงอก	ถั่วเหลืองงอก	77.89 ± 1.79[b]	145.70
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	74.76 ± 0.92[c]	139.84
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	50.90 ± 0.61[d]	95.21
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	44.35 ± 0.91[e]	82.96
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	43.13 ± 0.90[e]	80.68
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	40.16 ± 0.58[f]	75.12

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์เทียบวัตถุดิบ) ของถั่วเหลืองงอกเวลา 36 ชั่วโมงที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

จากการศึกษาผลของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมงต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่าขั้นตอนการเพาะงอก ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และในทุกขั้นตอนหลังจากนั้น เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการตีปั่น ขั้นตอนการกรอง ขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ขั้นตอนการเติมสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตน และขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ส่งผลให้ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อสังเกตในแต่ละขั้นตอนการผลิต พบว่า เมื่อขั้นตอนการเพาะงอก ส่งผลให้ปริมาณโพลีฟีนอลที่พบในถั่วเหลืองงอกมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 119 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบในขั้นตอนการตีปั่นและการกรอง ส่งผลให้ปริมาณโพลีฟีนอลที่พบในน้ำนมถั่วเหลืองดิบเพิ่มขึ้นประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และ 42 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

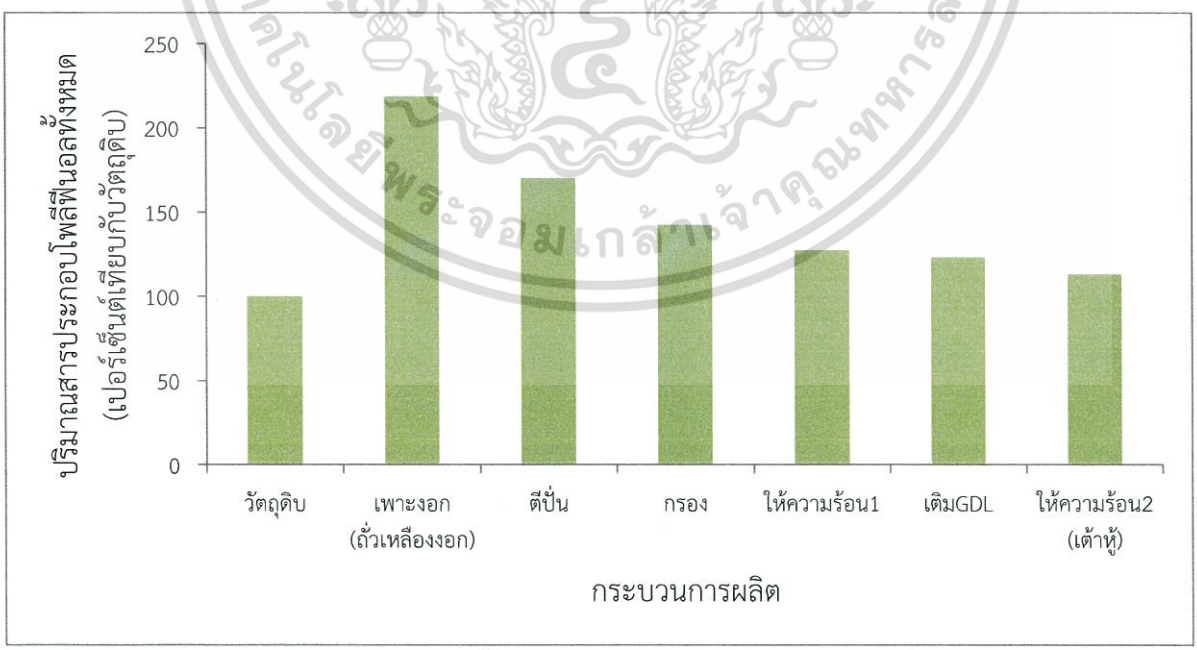
วัตถุดิบตามลำดับ ในขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 และการเติมสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตน ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในน้ำนมถั่วเหลืองสุกมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์และ 23 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบตามลำดับ ตลอดจนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในเต้าหู้ถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ผลที่ได้ไปในทิศทางเดียวกันกับกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง โดยในขั้นตอนการเพาะงอกส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงที่สุด

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของถั่วเหลืองงอกใช้ระยะเวลาการงอก 48 ชั่วโมงในระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (mg GAE/g)	เปอร์เซ็นต์เทียบกับวัตถุดิบ
วัตถุดิบ	ถั่วเหลืองแห้ง	55.33 ± 2.51^{a}	100.00
การเพาะงอก	ถั่วเหลืองงอก	116.95 ± 0.76^{b}	218.76
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	91.10 ± 1.92^{c}	170.41
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	76.14 ± 0.14^{d}	142.42
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	68.09 ± 0.25^{e}	127.37
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	65.94 ± 2.57^{e}	123.34
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	60.49 ± 0.24^{f}	113.15

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

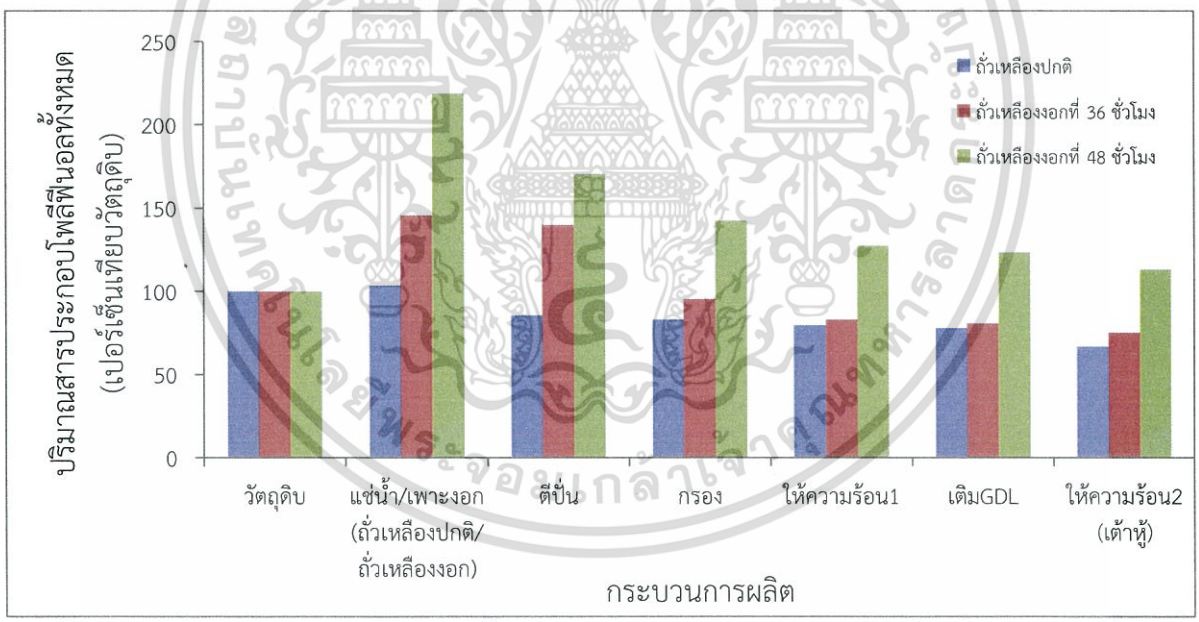


ภาพที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์เทียบวัตถุดิบ) ของถั่วเหลืองงอกเวลา 48 ชั่วโมงที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้หลอด

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตระหว่างเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติตั้งแต่ขั้นตอนการแช่น้ำ ขั้นตอนการตีปั่น ขั้นตอนการกรอง ขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ขั้นตอนการเติมสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตน และขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 มีค่าต่ำกว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก โดยปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมงมีค่าสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang และคณะ (2014) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเหลืองในระหว่างการงอก ในการผลิตถั่วเหลืองงอก โดยทำการแช่ถั่วเหลืองเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-120 ชั่วโมง พบว่า สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total Phenolic Content) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด เมื่อทำการเพาะเป็นเวลา 3-4 วัน เนื่องจากการงอกทำให้องค์ประกอบที่ถูกกักเก็บไว้ในเมล็ด จะถูกย่อยสลายเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ของเซลล์ใหม่ (Vidal และคณะ, 2002) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพภายในถั่วเหลืองดังกล่าว



ภาพที่ 4.4 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์เทียบวัตถุดิบ) ของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองปกติในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้ถั่วเหลือง

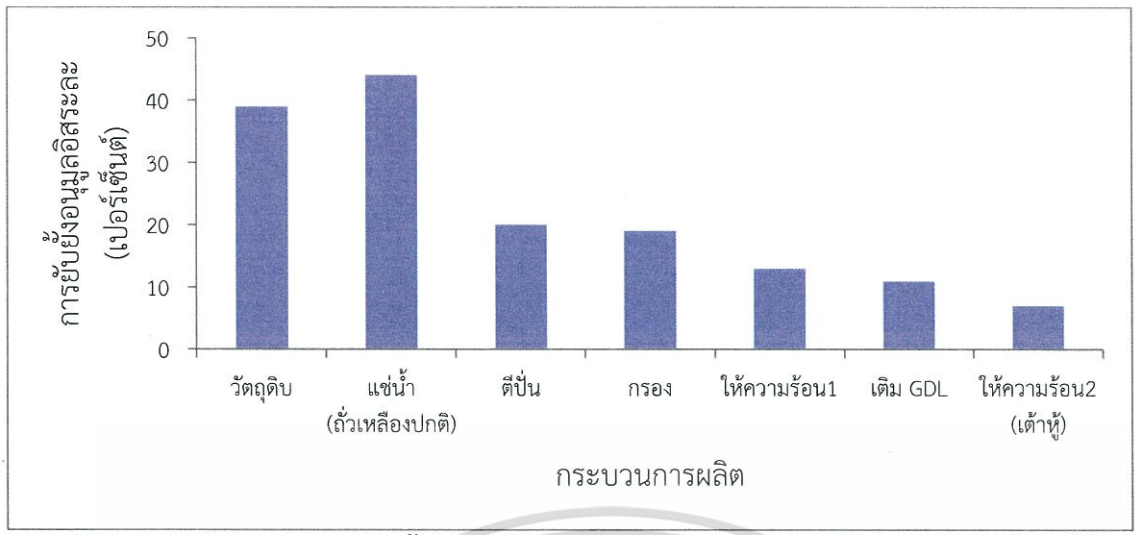
จากการศึกษาผลของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองที่มีต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าในขั้นตอนการแช่น้ำ ส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่าโทรลอคซ์ (Trolox equivalents) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับวัตถุดิบ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองปกติมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน และในทุกขั้นตอนหลังจากนั้น เริ่มตั้งแต่ ขั้นตอนการตีปั่น ขั้นตอนการกรอง ขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ขั้นตอนการเติมสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตน ไปจนถึงขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ล้วนแต่ส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่าโทรลอคซ์ (Trolox equivalents) มีค่าต่ำลง และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองปกติก็มีค่าต่ำลงเช่นกัน (ตารางที่ 4.4) ซึ่งผลที่ได้รับแปรผันตรงกับค่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล กล่าวคือ ตัวอย่างที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลต่ำจะมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำลง ดังนั้นจะเห็นว่า เต้าหู้ถั่วเหลืองที่ผ่านทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระต่ำสุด (7%)

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองปกติในระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	สารต้านอนุมูลอิสระ (μmol TE/g)	การยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์)
วัตถุดิบ	ถั่วเหลืองแห้ง	7.94 ± 0.03^{a}	39
การแช่น้ำ	ถั่วเหลืองปกติ	8.84 ± 0.13^{b}	44
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองดิบ	4.46 ± 0.22^{c}	20
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองดิบ	4.24 ± 0.22^{c}	19
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองสุก	3.18 ± 0.25^{d}	13
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองสุก	2.73 ± 0.36^{d}	11
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลือง	2.14 ± 0.29^{e}	7

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองปกติที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้

4.6 ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองงอกในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

จากการศึกษาผลของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมงต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ขั้นตอนการเพาะงอกส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่าโทรลอคซ์ (Trolox equivalents) เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับวัตถุดิบ และในทุกขั้นตอนหลังจากนั้น เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการตีปั่น ขั้นตอนการกรอง ขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ขั้นตอนการเติมสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตน ไปจนถึงขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่าโทรลอคซ์ (Trolox equivalents) มีค่าต่ำลง และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองงอกมีค่าต่ำลงเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าขั้นตอนการเพาะงอกส่งผลให้ปริมาณสารเทียบเท่าโทรลอคซ์ (Trolox equivalents) และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลาการงอก 36 ชั่วโมงในระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	สารต้านอนุมูลอิสระ (μmol TE/g)	การยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์)
วัตถุดิบ	ถั่วเหลือง	7.94 ± 0.03^{a}	39
การเพาะงอก	ถั่วเหลืองงอก	10.37 ± 0.05^{b}	53
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	9.26 ± 0.13^{c}	47
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	7.35 ± 0.15^{d}	36
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	5.21 ± 0.17^{e}	24
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	3.99 ± 0.35^{f}	18
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	9.38 ± 0.32^{f}	16

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

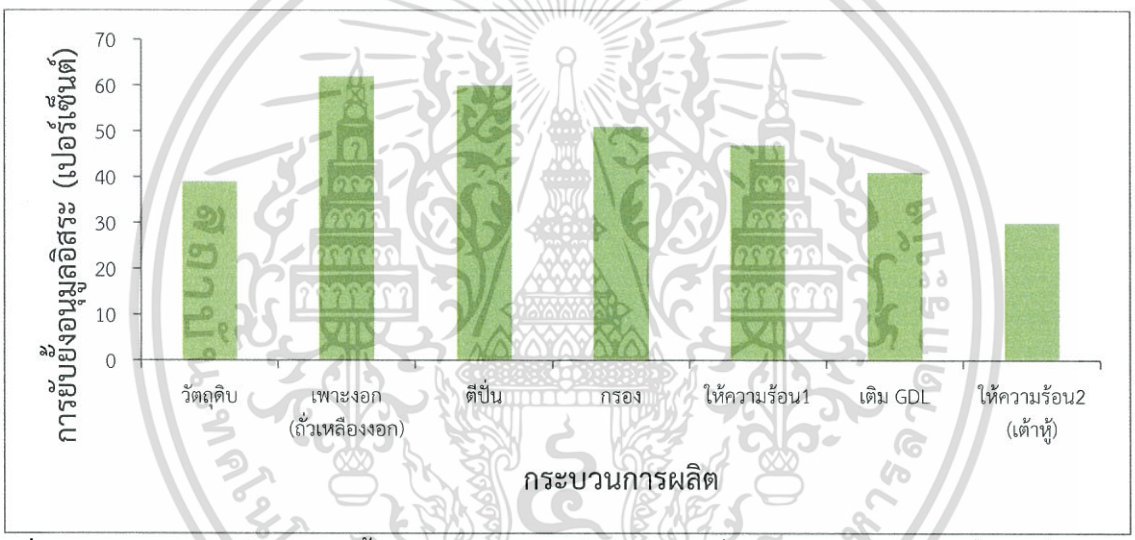
ภาพที่ 4.6 ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองงอกเวลา 36 ชั่วโมงที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองงอกที่ที่ใช้ระยะเวลาการงอก 48 ชั่วโมงในระหว่างการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	สารต้านอนุมูลอิสระ (μmol TE/g)	การยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์)
วัตถุดิบ	ถั่วเหลือง	7.94 ± 0.03^{a}	39
การเพาะงอก	ถั่วเหลืองงอก	12.09 ± 0.44^{b}	62
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	11.74 ± 0.22^{b}	60
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	10.04 ± 0.37^{c}	51
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	3.70 ± 0.43^{d}	47
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	8.29 ± 0.22^{a}	41
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	6.19 ± 0.34^{e}	30

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

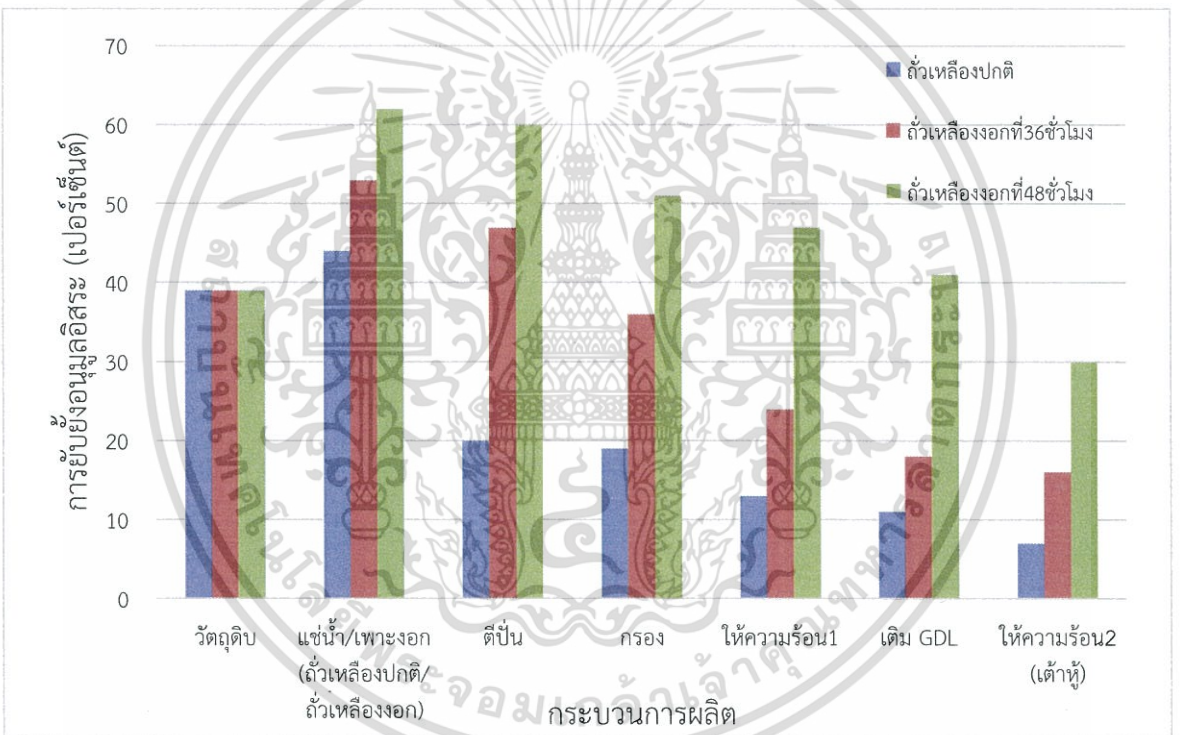


ภาพที่ 4.7 ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองงอกเวลา 48 ชั่วโมงที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 เปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกในระหว่างการแปรรูปเป็นเต้าหู้หลอด

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตระหว่างเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง พบว่า เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติตั้งแต่ ขั้นตอนการแช่น้ำ ขั้นตอนการตีปั่น ขั้นตอนการกรอง ขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ขั้นตอนการเติมสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตน และขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 มีค่าต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระในกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก โดยเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระในกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมงมีค่าสูงที่สุด (ภาพที่ 4.8) ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jing Lan และคณะ (2013) ที่พบว่า เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกมีความสามารถในการทำละลายอนุมูลอิสระ ที่สูงกว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ



ภาพที่ 4.8 ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเต้าหู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก พบว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4.7) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกมีโปรตีนเฉลี่ยที่สูงกว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim และคณะ (2013) ที่ระบุว่ากรดอะมิโนอิสระของถั่วเหลืองงอกมีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองปกติ ในขณะที่ปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรต ที่พบในเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกมีปริมาณน้อยกว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติอย่างเห็นได้ชัด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งปริมาณไขมันที่ลดลงอาจมีผลมาจากถั่วเหลืองเกิดการย่อยสลายไขมันในระหว่างการเพาะงอก (Shoichi, 2004) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในระหว่างการเจริญเติบโตของเมล็ด (Kim และคณะ, 2013); Jiang และคณะ, 2013)

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ที่ 5.31-5.41 จะพบว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติจะมีค่า pH สูงที่สุด ส่วนเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมงและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และค่าสี L แสดงค่าความสว่างใกล้เคียงกัน อยู่ที่ 88.08-88.17 แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าสี a มีค่าเป็นลบ (-) แสดงค่าความเป็นสีเขียว อยู่ที่ 3.88-2.99 ในขณะที่ค่า b มีค่าเป็นบวก (+) แสดงค่าความเป็นสีเหลือง อยู่ที่ 15.70-16.20 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ผลจากการทดลองพบว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกมีค่าอัตราการขับน้ำมากกว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าอัตราการขับน้ำที่สูงนี้ อาจมีผลต่อเนื่องมาจากค่าความแข็ง (peak 1) ซึ่งเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกมีค่าความแข็งที่น้อยกว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อทำการตรวจดูลักษณะโครงสร้างของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก โดยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกมีลักษณะการจับตัวเกาะกันเป็นโครงสร้างกันอย่างหลวมๆ ซึ่งแตกต่างกับลักษณะโครงสร้างของเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติที่เกาะกันเป็นโครงสร้างอย่างแน่นหนากว่า ซึ่งทั้งนี้คาดว่า ค่าความแข็งสัมพันธ์กับปริมาณคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตอาจมีส่วนช่วยเสริมโครงข่ายของโปรตีน และยังช่วยอุ้มโมเลกุลของน้ำไว้ ซึ่งมีผลต่อการขับน้ำ

ดังนั้น เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุด ส่งผลต่อการอุ้มน้ำจึงทำให้มีการขับน้ำออกมามาก และส่งผลให้ความสามารถในการจับตัวกันในโครงสร้างเป็นไปอย่างหลวมๆ มีช่องว่างระหว่างกัน ค่าความแข็งที่ได้จึงมีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

	เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง
ความชื้น	82.92 ± 0.56^{a}	83.11 ± 0.26^{a}	83.43 ± 0.93^{a}
เถ้า	0.41 ± 0.08^{a}	0.33 ± 0.09^{a}	0.33 ± 0.08^{a}
ไขมัน	5.28 ± 0.16^{a}	4.41 ± 0.33^{b}	3.26 ± 0.09^{c}
โปรตีน	6.32 ± 0.21^{a}	8.74 ± 0.32^{b}	11.78 ± 0.31^{c}
คาร์โบไฮเดรต	5.07 ± 0.42 ^{a}	3.41 ± 0.14 ^{b}	1.21 ± 0.71 ^{c}
กรด-ด่าง (pH)	5.41 ± 0.03^{a}	5.33 ± 0.03^{b}	5.31 ± 0.01^{b}
*ค่าสี L	88.08 ± 0.58^{a}	88.26 ± 0.28^{a}	88.27 ± 0.88^{a}
a	-2.99 ± 0.22^{a}	-3.44 ± 0.50^{ab}	-3.88 ± 0.14^{b}
b	16.15 ± 0.37^{ab}	15.70 ± 0.13^{a}	16.20 ± 0.14^{b}
อัตราการขับน้ำ	10.60 ± 0.88^{a}	18.49 ± 1.44^{b}	26.80 ± 0.47^{c}
ค่าความแข็ง	172.17 ± 11.06^{a}	97.40 ± 12.05^{b}	57.03 ± 5.84^{c}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

*ค่าสี L แสดงค่า ความมืด-ความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100

a แสดงค่า สีแดง เมื่อ a มีค่าเป็น +, สีเขียว เมื่อ a มีค่าเป็น -

b แสดงค่า สีเหลือง เมื่อ b มีค่าเป็น +, สีน้ำเงิน เมื่อ b มีค่าเป็น -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 จากการศึกษาผลของการเพาะงอกที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่า ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมงมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 141 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองปกติ และถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 211 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในถั่วเหลืองเมื่อนำมาเพาะงอกเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง มีค่าสูงที่สุด

5.1.2 จากการศึกษากระบวนการผลิตเต้าหู้หลอดจากถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่า ขั้นตอนการแช่น้ำและขั้นตอนการเพาะงอก ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเพิ่มสูงขึ้น ส่วนขั้นตอนการตีปั่น ขั้นตอนการกรอง ขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ขั้นตอนการเติมสารตกตะกอน รวมถึงขั้นตอนการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในแต่ละขั้นตอนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง มีค่าสูงที่สุด

5.1.3 จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของถั่วเหลืองปกติและถั่วเหลืองงอกมีความแปรผันโดยตรงกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบในถั่วเหลือง โดยผลิตภัณฑ์เต้าหู้หลอดที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงสุด นั่นคือ เต้าหู้หลอดจากถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง

5.1.4 จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เต้าหู้หลอดถั่วเหลืองปกติและเต้าหู้หลอดถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมงและที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน และค่าอัตราการขับน้ำที่เพิ่มสูงสุด แต่มีปริมาณไขมัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และค่าความแข็งที่ลดต่ำลง ส่วนปริมาณเถ้า ค่าความเป็นกรดด่าง และค่าสีมีความใกล้เคียงกัน นอกจากนี้การสังเกตลักษณะโปรตีน โดยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นได้ว่าก้อนโปรตีนเกาะกันหลวมและมีช่องว่างภายในเซลล์มากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของถั่วเหลือง เช่น อุณหภูมิในการเพาะงอก อุณหภูมิการแช่น้ำและพันธุ์ของถั่วเหลือง

5.2.2 ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้จากถั่วเหลืองงอก เป็นผลิตภัณฑ์เต้าหู้ชนิดอื่นๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ควรมีการศึกษาความเข้มข้นของสารตกตะกอนกลูโคโนเดลต้าแลคโตนที่ใช้ในการผลิตเพื่อให้ได้เต้าหู้ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กัลยารัตน์ เครือวัลย์. 2558. ถั่วงอกธรรมดาที่ไม่ธรรมดา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.inmu.mahidol.ac.th/knowledge/view.php?id=372. 4 มิถุนายน 2559.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. Soybean/ถั่วเหลือง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1359/soybean-ถั่วเหลือง. 6 มิถุนายน 2559.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. Phenolic compounds/สารประกอบฟีนอล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3145/polyphenol. 6 มิถุนายน 2559.

เพลินใจ ตังคณะกุล. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้. อาหาร. 32: 92-97.

ภัคธีมา สุขพันธ์. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองเสริมพรีไบโอติกสำหรับผู้บริโภคสูงอายุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

โอภา วัชระคุปต์ ปรีชา บุญจูง จันทนา บุณยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ. กรุงเทพฯ: พี เอส พริ้นท์.

Chiarello, M.D., Le Guerrou, J.L., Chagas, C.M.S., Franco, O.L, Bianchini, E., and Joao, M.J. 2006. Influence of heat treatment and grain germination on the isoflavone profile of soymilk. Journal of Food Biochemistry 30: 234-247.

Chuan-He Tang. 2007. Effectn of thermal pretreatment of raw soymilk on the gel strength and microstructure of tofu induced by microbial transglutaminase 40: 1403-1409.

Chung, I.M., Seo, S.H., Ahn, J.K., and Kim, S.H. 2011. Effect of processing, fermentation, and aging treatment to content and profile of phenolic compounds in soybean seed, soy curd and soy paste. Food Chemistry 127: 960-967

Fauconneau, B., Waffo-Teguo, P., Huguet, F., Barrier , L., Decendit, A. and Merillon, J.M. 1997. Comparative study of radical scavenger and antioxidant properties of phenolic compounds from Vitis vinifera cell cultures using in vitro tests.Life Science 61: 2103-2110.

Huang, X., Cai,W. and Xu, B.2014. Kinetic changes of nutrients and antioxidant capacities of germinated soybean (Glycine max L.) and mung bean (Vigna radiate L.) with germination time. Food Chemistry 143: 268-276.

Jackson, C.J.C., Dini, J.P., Lavandier, C., Rupasinghe, H.P.V., Faulkner, H., Poysa, V., Buzzell, D. and Degrandis, S. 2002. Effects of processing on the content and composition of Isoflavones during manufacturing of soy beverage and tofu. Process Biochem. 37: 1117-1123.

Jing, Lan., Lu, Z.H., HU, D.X., LI, L.T., Cheng, Y.Q. 2007. Study on antioxidative activities of the germinated soybean and its tofu product. Food science and technology. 09: 122-124.

Kim, S.L., Lee, J.E., Kwon, Y.U., Kim, W.H., Jung, G.H., Kim, D.W., Lee, C.K., Lee, Y.Y., Kim, M.J., Kim, Y.H., Hwang, T.Y. and Chung, I.M.2013. Introduction and nutritional evaluation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of germinated soy germ. Food Chemistry 136: 491-500.

Meng,Li., Fusheng,Chen., Bao,Yang., Shaojuan,Lai., Hongshun,Yang., Kunlun,Liu., Guanhao,Bu., Caili,Fu., Yun,Deng. 2015. Preparation of organic tofu using organic compatible magnesium chloride incorporated with polysaccharide coagulants.Food chemistry 167: 168-174.

Mizutani, T. and Hashimoto, H.2004. Effect of Grinding Temperature on Hydroperoxide and Off-flavor Contents during Soymilk Manufacturing Process. Journal of Food Science 69. SNQ112-SNQ 116.

Nelson, A.l. Steinberg, M.I. and Wei, L.S. 1976. Illioins process for preparation of soymilk Journal of Food Science 41: 57-61.

Sarani, R., Mohtadinia, J., Jafarabadi, M.A. 2014. The effect of Withania coagulans as a coagulant on the quality and sensorial properties of Tofu. African Journal of Food science 8: 112-115.

Vidal-Valverde, C., Frias, J., Sierra, I., Blazquez, L., Lambein, F. and Kuo, Y. 2002. New lentils and peas. European Food Research and Technology 215: 472-477.

Wikens, W.F., Mattick, L.R., and Hand, D.B. 1967.Effect of processing method on oxidative off-flavors of soybean milk. Food Technol. 21: 1630-1633.

Xu, B. and Chang, S.K.C. 2008. Total phenolics, phenolic acids, isoflavones, and anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal processing. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 7165-7175.

Yamazani K, Hashimoto A, Kokusenya Y, Miyamoto T, Sato T. 1994. Electrochemical method for estimating the antioxidative effect of methanol extracts of crude drugs. Chem Pharm Bull 42: 1663-5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่อง pH meter

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่อง pH meter กด Cal ที่เครื่องจนกระทั่งขึ้น Ct1
2. Calibrate เครื่องด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 7 กด Enter รอจนกระทั่ง Ct2 ปรากฏ
3. ล้างหัว Probe ด้วยน้ำกลั่นและซับด้วยทิชชู
4. จุ่ม Probe ลงใน pH 4 กด Enter รอจนปรากฏค่า slope ในช่วง 56-62 (ค่าติดลบ)
5. ล้างหัว Probe ด้วยน้ำกลั่นและซับด้วยทิชชู
6. จุ่ม Probe ลงในตัวอย่างเต้าหู้ กด Enter 2 ครั้งจะปรากฏค่า pH ของตัวอย่าง

ตารางที่ ก.1 ค่าความเป็นกรดด่างของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	5.37	5.42	5.43	5.40
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	5.35	5.33	5.30	5.32
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	5.31	5.30	5.30	5.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR300

วิธีวิเคราะห์

1. ต่อปลั๊กไฟเข้าที่ด้านหลังเครื่องตรงช่อง DC
2. เปิด Power ไปที่ ON กดที่ Calibrate รอประมาณ 5 วินาที หน้าจอจะแสดงข้อความ

CAL Ch00 Y..... X.....

3. วางปลายหัววัดให้แนบกับผิวหน้าของ Calibrate Plates (แผ่นกระเบื้องสีขาว)
4. กดที่ปุ่ม Measuring Head อย่ายกหัวออกจนกว่าจะวัดเสร็จสิ้น โดยหน้าจอจะแสดง END
5. วางปลายหัววัดให้แนบชิดกับผิวตัวอย่างของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก และทำการวัดเช่นเดียวกับข้อ 4

ตารางที่ ก.2 ค่าสีของตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก (ค่า L)

ตัวอย่าง	สี L			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	87.45	88.18	88.6	88.08
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	87.97	88.27	88.53	88.26
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	88.82	87.26	88.73	88.27

ตารางที่ ก.2.1 ค่าสีของตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก (ค่า a)

ตัวอย่าง	สี a			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	-2.93	-2.81	-3.23	-2.99
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	-3.35	-2.99	-3.97	-3.44
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	-4.03	-3.76	-3.84	-3.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2.2 ค่าสีของตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก (ค่า b)

ตัวอย่าง	สี b			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	+16.55	+15.83	+16.07	+16.15
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	+15.80	+15.55	+15.74	+15.70
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	+16.36	+16.11	+16.13	+16.20

ตารางที่ ก.2.3 ค่าสีของตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

ตัวอย่าง	L	a	b
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	88.08	-2.99	+16.15
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	88.26	-3.44	+15.70
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	88.27	-3.88	+16.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์อัตราการขับน้ำของเจล

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักกล่องพลาสติกพร้อมฝาและตะแกรงโลหะ จดบันทึก
2. นำเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกมาตัดขวางให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร จำนวน 6 ชิ้น
3. นำเต้าหู้มาวางบนตะแกรงโลหะในกล่องพลาสติก ตะแกรงจะถูกรองรับไว้บนขาสี่ขา ของเหลวที่ไหลซึมออกจะแยกออกจากเจลเต้าหู้ กล่องจะถูกปิดเพื่อป้องกันการระเหย
4. เนื่องจากของเหลวจะไหลออกมาช้าดังนั้นต้องนำเข้าไปเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. จากนั้นเอาเต้าหู้ออก และชั่งน้ำหนัก ปริมาณของเหลวที่ไหลออกมาจะนำไปคำนวณอัตราของการขับน้ำ

$$\text{อัตราการขับน้ำ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของเหลวที่ไหลออกจากตัวอย่างใน 24 ชั่วโมง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ตารางที่ ก.3 ค่าอัตราการขับน้ำของเจลเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักน้ำ (g)	% อัตราการขับน้ำ	ค่าเฉลี่ย
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	1	13.6	1.58	11.62	10.60
	2	14.24	1.43	10.04	
	3	13.69	1.39	10.15	
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	1	13.57	2.5	18.42	18.49
	2	13.88	2.77	19.96	
	3	13.64	2.33	17.08	
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	1	13.63	3.69	27.07	26.80
	2	13.26	3.59	27.07	
	3	13.10	3.44	26.26	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง TAXT2i texture analyzer

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์
2. เปิดเครื่อง Texture Analyzer
3. เข้าโปรแกรม Texture Expert English
4. ทำการ Calibrate เครื่อง โดยเลือกเมนู T.A. ไปที่ calibrate force กดปุ่ม OK ทำการวางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม แล้วกดปุ่ม OK
5. ทำการ Calibrate probe ต่อโดยเลือกเมนู T.A. ไปที่ calibrate probe แล้วติดตั้งฐานและ probe ทรงกระบอก (P35) ตั้งค่า return เป็น 2.5 เซนติเมตร จากนั้นกดปุ่ม OK
6. ตั้งค่า T.A. setting โดยเลือกวัด โดยใช้ระบบ T.P.A. แล้วทำการตั้งค่าค่าอื่นๆ
7. ทำการตัดเต้าหู้หลอดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 เซนติเมตรให้มีความสูง 2 เซนติเมตร จากนั้นนำมาวางบนฐานระหว่างกึ่งกลาง probe ทรงกระบอก
8. วัดโดยการเลือกปุ่มเมนู Run a test ตั้งค่าแหล่ง save ข้อมูล แล้วกดปุ่ม OK

ตารางที่ ก.4 ค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง (peak 1)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	167.50	184.80	164.20	172.17
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	94.90	110.50	86.80	97.40
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	50.40	61.40	59.30	57.03

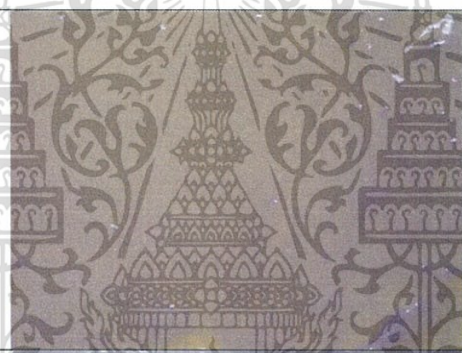
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจดูลักษณะโปรตีนของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก โดยกล้องจุลทรรศน์ Nikon SMZ 745T

วิธีการ

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์
2. เปิดกล้องจุลทรรศน์
3. ทำการเตรียมตัวอย่างที่จะส่องโดยกล้องจุลทรรศน์วางบน plate โดยหั่นให้บางที่สุด
4. ทำการปรับภาพโดยปุ่มปรับแสง ปุ่มปรับกำลังขยายและปุ่มปรับความภาพหยาบ
5. เมื่อได้ภาพที่ต้องการทำการส่งภาพไปยังโปรแกรมโดยไปที่ปุ่มส่งภาพ
6. เข้าโปรแกรม NIS-D 4.11 ทำการเลือกกำลังขยายที่จะแสดง แล้วกด Live (+) เพื่อแสดงภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์

ตารางที่ ก.5 ลักษณะก้อนโปรตีนของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

ตัวอย่าง	ภาพ	ลักษณะที่ปรากฏ
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ กำลังขยาย 1.0x		โครงสร้างมีอนุภาคมาเกาะกันอย่างหนาแน่นเห็นช่องว่างเล็กน้อย โปร่งแสงน้อยมาก
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอก ที่เวลา 36 ชั่วโมง กำลังขยาย 1.0x		โครงสร้างมีการกระจายตัวของอนุภาคและมีช่องว่างเล็กน้อย
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอก ที่เวลา 48 ชั่วโมง กำลังขยาย 1.0x		โครงสร้างมีการเกาะตัวของอนุภาคอย่างหลวมเห็นช่องว่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

อุปกรณ์

1. ถ้วยอะลูมิเนียม (Aluminium can)
2. ตู้อบความชื้น (Hot air oven)
3. โถดูดความชื้น (Desicator)
4. ที่คีบ (Tong)
5. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
6. ช้อนตักสาร

วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยอะลูมิเนียมที่อบด้วยอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นบันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างเต้าหู้ 3 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ใส่ไว้ในถ้วยอะลูมิเนียม
3. นำไปเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยการเปิดฝาถ้วย นำออกมาชั่งน้ำหนัก และอบต่อครั้งละ 30 นาที จนน้ำหนักคงที่
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
5. ชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ค่าปริมาณความชื้นของตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ(g)	% ความชื้น	ค่าเฉลี่ย
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	1	3.0341	0.5223	82.78	82.92
	2	3.0452	0.5012	83.54	
	3	3.0172	0.5296	82.44	
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	1	3.0341	0.5142	83.05	83.11
	2	3.0452	0.5058	83.39	
	3	3.0172	0.5162	82.89	
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	1	3.2131	0.5125	83.24	83.43
	2	3.0002	0.5215	82.62	
	3	3.2121	0.4997	84.44	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองอก

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)
3. เตาเผาไฟฟ้า (Muffle furnace)
4. ที่คีบ(Tong)
5. ช้อนตักสาร
6. โถดูดความชื้น(Desiccator)

วิธีวิเคราะห์

1. เผาถ้วยอะลูมิเนียมที่แห้งและสะอาดในเตาเผาไฟฟ้าที่ 600 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นโดยใส่โถดูดความชื้นและนำไปชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างเต้าหู้ 3 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้อง
3. นำตัวอย่างไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือเทา
4. รอเตาเผาเย็นตัวลงจึงคีบถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาไฟฟ้าแล้วทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้นและนำไปชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา
5. คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าของอาหาร จากสมการ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ค่าปริมาณเถ้าของตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

ตัวอย่าง	น้ำหนักเถ้า(g)	น้ำหนักตัวอย่าง(g)	% เถ้า	ค่าเฉลี่ย
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	0.0128	3.4980	0.36	0.41
	0.0166	3.2859	0.50	
	0.0136	3.5962	0.38	
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	0.0084	3.4115	0.24	0.33
	0.0144	3.2605	0.41	
	0.0133	3.7349	0.35	
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	0.0100	3.4302	0.29	0.33
	0.0109	3.8766	0.28	
	0.0162	3.7502	0.43	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. หลอดย่อยโปรตีน
3. อุปกรณ์ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Kjeldahl apparatus)
4. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
5. ขวดชมพู่ ขนาด 50 มิลลิลิตร
6. Boiling chip

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. กรดบอริก 2%
3. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 1 N
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซค์เข้มข้น 40%
5. ตัวเร่ง (Catalyst) (เตรียมจาก 1:10 ของ $CuSO_4$: K_2SO_4)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์
   a. 0.1% เมทธิลกรีน ใน Alcohol 95%
   b. 0.2% เมทธิลเรด ใน Alcohol 95%

วิธีวิเคราะห์

1. การย่อย
   1.1 ชั่งตัวอย่าง 4 กรัมใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน เติมตัวเร่ง (Catalyst) 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ Boiling chip 2-3 ลูก
   1.2 นำหลอดย่อยโปรตีนไปวางลงในแล็ค ก่อนนำไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อยปิดที่บังความร้อน (Heat shield) และสวมที่ดูดควัน ที่ต่อเข้ากับชุดกำจัดไอกรด (Exhaust) ก่อนปิดสวิทซ์ (Power on)
   1.3 ตั้งอุณหภูมิที่ใช้การย่อย 380-400 องศาเซลเซียส
   1.4 ทำการย่อยจนได้สารละลายสีใสหรือสีฟ้าใส ซึ่งเวลาในการย่อยขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์
   1.5 ปิดสวิทซ์ พร้อมยกแล็คที่มีหลอดตัวอย่างขึ้นพัก รอให้สารละลายสีฟ้าเย็นลง ซึ่งในช่วงนี้ยังคงเปิดชุดกำจัดไอกรดไว้จนไม่มีไอกรด ก่อนนำไปต่อเข้ากับชุดกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกลั่น

2.1 นำหลอดย่อยตัวอย่างต่อเข้ากับชุดกลั่นโปรตีน เตรียมเช็คความเรียบร้อยของระบบหล่อเย็นถังน้ำกลั่นถังโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32% โดยสายยางต้องจุ่มลงไปในถังของน้ำกลั่นหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2 เติมกรดบอริกเข้มข้น 2% ปริมาณ 60 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ทั้งสอง อย่างละ 1 หยด จะได้สารละลายสีชมพูม่วง วางขวดชมพู่ลงในชุดกลั่นเสียบท่อพลาสติกที่ต่อจากคอนเด็นเซอร์ลงในกรดบอริก เพื่อดักจับแก๊สแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้

2.3 เปิดเครื่องเพื่อเติมน้ำกลั่นและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดย่อย สารละลายในหลอดย่อยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ

2.4 เปิดไอน้ำและตั้งเวลาในการกลั่น เวลาที่ใช้การกลั่นขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง

3. การไตเตรท

3.1 นำขวดชมพู่ที่บรรจุสารละลายที่กลั่นแล้ว มาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริก 1 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูม่วง

3.2 บันทึกปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (\%)} = \frac{(A-B)\times N\times 14}{W\times 1000}\times 100$$

หมายเหตุ A = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

B = ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรท Blank

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

นำค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โปรตีน จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน (\%)} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (\%)} \times 5.71$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณโปรตีนของตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาตรที่ใช้ไตเตรท (ml)	% ไนโตรเจน	% โปรตีน	ค่าเฉลี่ย
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	4.0216	3.3	1.11	6.34	6.32
	4.1692	3.3	1.07	6.10	
	4.0316	3.4	1.14	6.51	
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	4.1342	4.6	1.52	8.68	8.74
	4.0590	4.4	1.48	8.45	
	4.1131	4.8	1.59	9.08	
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	4.1196	6.2	2.07	11.82	11.76
	4.1165	6.3	2.11	12.04	
	4.1033	6.0	2.01	11.43	

หมายเหตุ ปริมาณของสารละลายไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรท Blank = 0.1 ml

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. ชุดสกัดซอกซ์เล็ต (Soxhlet apparatus) พร้อมทิมเบิล (Thimble) และบีกเกอร์ไขมัน
3. ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven)
4. โถความชื้น (Desiccator)
5. ที่คีบ (Tong)
6. Boiling chip จำนวน 2 เม็ด

วิธีวิเคราะห์

1. อบบีกเกอร์ไขมันพร้อมกับ Boiling chip ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง และชั่งบันทึกน้ำหนัก (w1)
2. ชั่งตัวอย่างที่อบไล่ความชื้นแล้ว 2-3 กรัม ชั่งบันทึกน้ำหนัก (w) ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ทิมเบิล (Extraction thimble)
3. ตวงตัวทำละลายปิโตเลียมอีเทอร์จำนวน 140 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ไขมันต่อทิมเบิลใส่ตัวอย่างและบีกเกอร์ไขมันเข้ากับเครื่องสกัดไขมันทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง
4. เมื่อครบเวลากำหนด (3 ชั่วโมง) นำบีกเกอร์ไขมันไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 30 นาที เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์
5. นำบีกเกอร์ไขมันใส่ในโถดูดความชื้น เพื่อรอให้เย็น ก่อนนำบีกเกอร์ไขมันไปชั่งน้ำหนัก (w2)
6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมันในตัวอย่าง} = \frac{w2-w1}{w}\times 100$$

หมายเหตุ: W = น้ำหนักตัวอย่าง
W1 = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันก่อนสกัด
W2 = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมันหลังสกัด

ตารางที่ ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	W1	W	W2	% ไขมัน	ค่าเฉลี่ย
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	140.5354	3.0309	140.6910	5.13	5.28
	144.5721	2.9685	144.7287	5.27	
	142.0198	3.0567	142.1865	5.45	
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	147.0705	3.0712	147.2179	4.79	4.41
	142.2867	3.0321	142.2012	4.25	
	142.0852	3.0149	142.2120	4.20	
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	141.2197	3.0214	141,.3154	3.16	3.26
	146.0385	3.0125	144.1385	3.32	
	142.2285	3.0256	144.3282	3.29	

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

วิเคราะห์โดยวิธีการคำนวณจากสูตรเมื่อทราบค่า เปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์เถ้า เปอร์เซ็นต์โปรตีน และเปอร์เซ็นต์ไขมัน

โดยคำนวณจากสูตร

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

ตารางที่ ก.9 ค่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

ตัวอย่าง	% คาร์โบไฮเดรต			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ	5.39	4.59	5.22	5.07
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 36 ชั่วโมง	3.24	3.5	3.48	3.41
เต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ 48 ชั่วโมง	1.49	1.74	0.41	1.21

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

ข.1 การวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total Polyphenol Content)

การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

1. สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก
   ชั่งกรดแกลลิก 0.0200 กรัม ละลายด้วยสารละลายอะซิติก อะซีโตน ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หรือ 400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
2. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต
   ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์

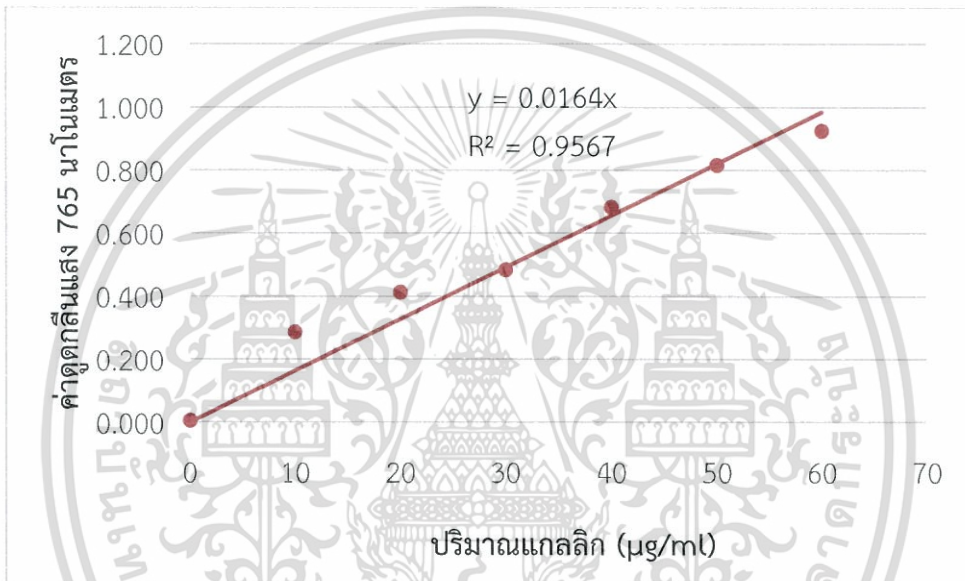
ตารางที่ ข.1 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

ปริมาตรของสารละลายกรดแกลลิก (ไมโครลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (ไมโครลิตร)
0	4000
25	3975
50	3950
75	3925
100	3900
125	3875
150	3850

ตารางที่ ข.2 ค่าการวิเคราะห์ปริมาณสารพอลีฟีนอลทั้งหมด การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ของสารละลายกรดแกลลิกมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแกลลิก (µg/ml)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	0.006	0.007	0.005	0.006
10	0.296	0.287	0.274	0.286
20	0.408	0.398	0.434	0.413
30	0.481	0.483	0.488	0.484
40	0.738	0.648	0.660	0.682
50	0.819	0.803	0.825	0.816
60	0.946	0.896	0.932	0.925



ภาพที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแกลลิก (µg/ml) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร

จากการนำความเข้มข้นของแกลลิก (µg/ml) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตรมาพรอตเป็นกราฟมาตรฐานจะได้สมการเส้นตรงออกมาคือ y = 0.0164x และจากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้มาแทนค่า y ในสมการเพื่อหาค่า x

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่าง

1. การเตรียมสารสกัดถั่วเหลือง น้ำนมถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลือง (Jiang และคณะ, 2013)

นำถั่วเหลือง น้ำนมถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่ผ่านการทำแห้งแบบสุญญากาศแล้วมา 0.5 กรัม มาสกัดด้วยสารละลายอะซิดิก อะซิโตน (Acidic Acetone) 5 มิลลิลิตร (อะซิโตน : น้ำกลั่น : กรดอะซีติก = 70 : 29.5 : 0.5 v/v/v) กวนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนผสม (stirrer) นาน 10 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ 8000 rpm 10 นาที นำส่วนใสที่ได้เก็บไว้ แล้วนำตัวอย่างไปสกัดอีก 1 รอบ จะได้เป็นสารสกัดในปริมาณประมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้านสารต้านอนุมูลอิสระต่อไป

2. การตรวจสอบปริมาณสารประกอบพอลีฟีนอลทั้งหมดโดยใช้ Folin-ciocalteu Assay (Jiang และคณะ, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสารสกัดจากข้อ 1 มา 50 ไมโครลิตรใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารรีเอเจนต์ Folin-ciocalteu's reagent ปริมาณ 250 ไมโครลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต 750 ไมโครลิตร (7% น้ำหนักโดยปริมาตร) กวนผสมให้เข้ากันได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน จากนั้นทิ้งสารละลายที่ได้ไว้ที่ อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง แล้วจึงทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร TPC จะถูกแสดงผลในหน่วย GAE ในมิลลิกรัม/กรัมวัตถุดิบ โดยจะเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงกับกราฟมาตรฐานที่ทำได้โดยในใช้กรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆมาตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงแล้วพลอตกราฟ โดยกราฟมีค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิกเป็นแกน x และค่าดูดกลืนแสงเป็น y

ตารางที่ ข.3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
วัตถุดิบ	ถั่วเหลือง	0.432	0.441	0.442	0.438
การแช่น้ำ	ถั่วเหลืองปกติ	0.434	0.452	0.475	0.454
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองดิบ	0.382	0.365	0.378	0.375
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองดิบ	0.354	0.376	0.361	0.364
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองสุก	0.349	0.348	0.349	0.348
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองสุก	0.341	0.342	0.339	0.340
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลือง	0.275	0.332	0.269	0.292

ตารางที่ ข.4 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่เวลา 36 ชั่วโมง

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
วัตถุดิบ	ถั่วเหลือง	0.432	0.441	0.442	0.438
การเพาะงอก	ถั่วเหลืองงอก	0.641	0.652	0.623	0.639
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	0.606	0.612	0.621	0.613
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	0.412	0.418	0.422	0.417
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	0.364	0.371	0.356	0.364
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	0.351	0.348	0.362	0.354
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	0.333	0.324	0.331	0.329

ตารางที่ ข.5 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอกที่เวลา 48 ชั่วโมง

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร	ค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
วัตถุดิบ	ถั่วเหลือง	0.432	0.441	0.442	0.438
การเพาะงอก	ถั่วเหลืองงอก	0.952	0.961	0.964	0.959
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	0.754	0.729	0.758	0.747
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	0.623	0.625	0.626	0.625
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	0.556	0.559	0.560	0.558
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	0.535	0.564	0.523	0.541
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	0.498	0.496	0.494	0.496

การคำนวณปริมาณฟีนอลทั้งหมด

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร) = $[(A_{765} - B) / M] \times D$

โดยที่ A_{765} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

B คือ จุดตัดแกน Y ของกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

M คือ ค่าความชันของกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

D คือ ค่าการเจือจางตัวอย่าง

โดยผลจะแสดงในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ซึ่งในแต่ละการทดลองจะทำการทดลอง 3 ซ้ำและคิดเป็นค่าเฉลี่ย (± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากกราฟมาตรฐาน $Y = 0.0164X$; $R^2 = 0.9567$

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง วัตถุดิบ

ครั้งที่ 1 ปริมาตรสารตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร เท่ากับ 0.432

เมื่อนำไปแทนค่าในสูตร

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร) = $[(A_{765} - B) / M] \times D$

$= [(0.432 - 0) / 0.0164] \times 1$

สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คือ 26.3415 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ดังนั้น สารสกัดตัวอย่างมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คือ 52.6829 มิลลิกรัมแกลลิกต่อกรัม

ข.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH free radical scavenging activity ของเต้าหู้ถั่วเหลืองและเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก

การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอคซ์

1. สารละลายมาตรฐาน 6-hydroxly-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่งสารโทรลอคซ์ 0.025 กรัม ละลายด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น จะได้เป็นสารละลายมาตรฐานโทรลอคซ์ ที่มีความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หรือ 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2. สารละลาย 2,2-diphenyl-1-picryhydrazyl radical (DPPH)

ชั่งสาร DPPH 0.0078 กรัม ละลายด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตร เป็น 200 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย DPPH ที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์

ตารางที่ ข.6 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานโทรลอคซ์

ความเข้มข้น (µg/ml)	ปริมาณสารโทรลอคซ์ (ml)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
0	0.0	5.0
30	0.6	4.4
60	1.2	3.8
90	1.8	3.2
120	2.4	2.6
150	3.0	2.0
180	3.6	1.4
210	4.2	0.8

ตารางที่ ข.7 ค่าการวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ การวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรของสารละลายโทรลอคซ์มาตรฐาน

Trolox	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร				% การยับยั้ง
(µmol/ml)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	อนุมูลอิสระ
0.000	0.893	0.891	0.890	0.891	0
0.006	0.812	0.816	0.819	0.816	8
0.012	0.702	0.708	0.712	0.707	21
0.018	0.627	0.618	0.621	0.622	30
0.024	0.487	0.483	0.483	0.484	46
0.030	0.323	0.321	0.329	0.324	64
0.036	0.210	0.232	0.218	0.220	75
0.042	0.093	0.089	0.073	0.085	90

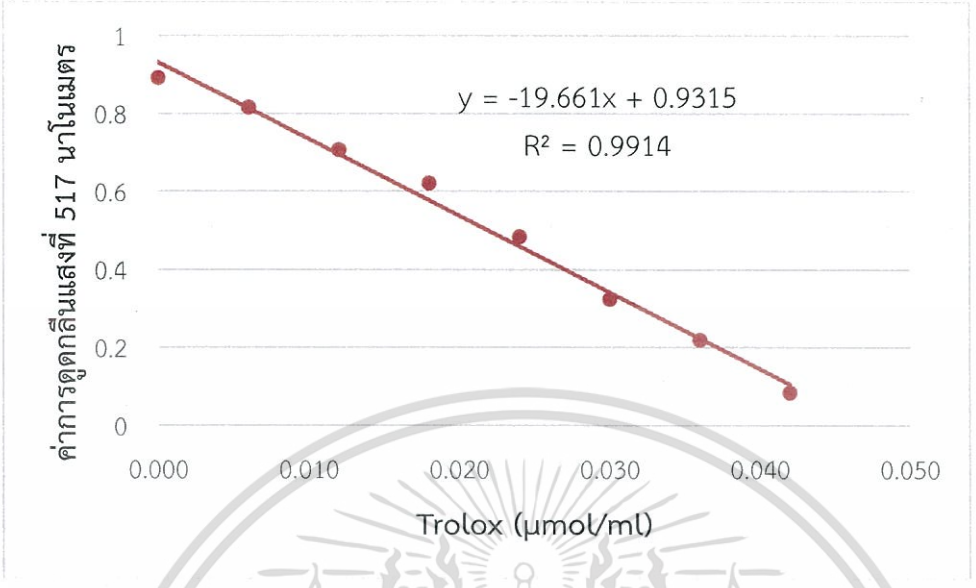
การคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง

$$\% \text{ Radical Scavenging} = [\ (AB\text{-}AA)\ /AB\ ] \times 100$$

เมื่อ AA = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AB = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH



ภาพที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโทรลอคซ์ (µg/ml) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH free radical scavenging activity ในตัวอย่าง (Xu และChang, 2007)

1. นำถั่วเหลืองและน้ำนมถั่วเหลืองงอกที่ผ่านการทำแห้งแบบสุญญากาศแล้ว 0.5 กรัม มาสกัดด้วยสารละลายอะซิดิก อะซีโตน (Acidic Acetone) 5 มิลลิลิตร (อะซีโตน : น้ำกลั่น :กรดอะซีติก = 70 : 29.5 : 0.5 v/v/v) กวนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนผสม (Stirrer) นาน 10 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ 8000 rpm 10 นาที นำส่วนที่ได้เก็บไว้ แล้วนำตัวอย่างไปสกัดอีก 1 รอบ จะได้เป็นสารสกัดในปริมาณประมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้านสารต้านอนุมูลอิสระต่อไป
2. นำสารสกัดถั่วเหลืองจากข้อ 1 มา 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลาย DPPH (ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์) 3.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างไปคำนวณหาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายโทรลอคซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองปกติ

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
วัตถุดิบ	ถั่วเหลือง	0.541	0.539	0.542	0.540
การแช่น้ำ	ถั่วเหลืองบวมน้ำ	0.498	0.489	0.502	0.496
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองดิบ	0.701	0.712	0.723	0.712
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองดิบ	0.734	0.722	0.712	0.723
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองสุก	0.789	0.771	0.765	0.775
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองสุก	0.778	0.802	0.812	0.797
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลือง	0.842	0.823	0.814	0.826

ตารางที่ ข.9 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก ที่เวลา 36 ชั่วโมง

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
วัตถุดิบ	ถั่วเหลือง	0.541	0.539	0.542	0.540
การแช่น้ำ	ถั่วเหลืองงอก	0.422	0.418	0.423	0.421
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	0.483	0.471	0.474	0.476
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	0.578	0.565	0.566	0.570
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	0.679	0.681	0.666	0.675
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	0.732	0.754	0.720	0.735
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	0.725	0.765	0.758	0.749

ตารางที่ ข.10 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของกระบวนการผลิตเต้าหู้ถั่วเหลืองงอก ที่เวลา 48 ชั่วโมง

กระบวนการผลิต	ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
วัตถุดิบ	ถั่วเหลือง	0.541	0.539	0.542	0.540
การแช่น้ำ	ถั่วเหลืองงอก	0.312	0.343	0.354	0.336
การตีปั่น	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	0.343	0.354	0.365	0.354
การกรอง	น้ำนมถั่วเหลืองงอกดิบ	0.458	0.423	0.432	0.438
การให้ความร้อนครั้งที่ 1	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	0.487	0.456	0.467	0.470
การเติม GDL	น้ำนมถั่วเหลืองงอกสุก	0.512	0.524	0.534	0.523
การให้ความร้อนครั้งที่ 2	เต้าหู้ถั่วเหลืองงอก	0.645	0.612	0.623	0.627

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (ไมโครกรัมสมมูลของโทรลอคซ์ต่อมิลลิลิตร)

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (ไมโครกรัมสมมูลของโทรลอคซ์ต่อมิลลิลิตร) = $[(A_{517} - B) / M] \times 100$

โดยที่ A_{517} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

B คือ จุดตัดแกน Y ของกราฟมาตรฐานกรดโทรลอคซ์

M คือ ค่าความชันของกราฟมาตรฐานโทรลอคซ์

D คือ ค่าการเจือจางตัวอย่าง

โดยผลจะแสดงในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของโทรลอคซ์ต่อกรัมตัวอย่าง ซึ่งในแต่ละการทดลองจะทำการทดลอง 3 ซ้ำและคิดเป็นค่าเฉลี่ย (± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากกราฟมาตรฐาน $Y = -19.661x + 0.9315$; $R^2 = 0.9567$

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง วัตถุดิบ

ครั้งที่ 1 ปริมาตรสารตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร เท่ากับ

เมื่อนำไปแทนค่าในสูตร

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (ไมโครกรัมสมมูลของโทรลอคซ์ต่อมิลลิลิตร) = $[(A_{517} - B) / M] \times 100$

$= [(0.541 - 0.9315) / -19.661] \times 1$

สารสกัดตัวอย่างมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ คือ 1.9862 ไมโครกรัมสมมูลของโทรลอคซ์ต่อมิลลิลิตร

ดังนั้น สารสกัดตัวอย่างมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 7.9354 ไมโครโมลสมมูลของโทรลอคซ์ต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้