



การสกัดโปรตีนไฮโดรไลเซตจากถั่วลายเสือโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงและการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมจากพืชสำหรับผู้บริโภคเจนเนอเรชั่น Z

HIGH-PRESSURE ASSISTED ENZYMATIC EXTRACTION OF TIGER PEANUTS PROTEIN
HYDROLYSATES AND PRODUCT DEVELOPMENT OF PLANT-BASED MILK FOR
GENERATION Z CONSUMERS

นิชานันท์ แก้วนวลพันธุ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2567

การสกัดโปรตีนไฮโดรไลเซตจากถั่วลายเสือโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วย
ความดันสูงและการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมจากพืชสำหรับผู้บริโภคเจนเอเรชั่น Z



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและการเป็นผู้ประกอบการ
คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

HIGH-PRESSURE ASSISTED ENZYMATIC EXTRACTION OF TIGER PEANUTS PROTEIN
HYDROLYSATES AND PRODUCT DEVELOPMENT OF PLANT-BASED MILK FOR
GENERATION Z CONSUMERS



NICHANAN KAEWNUALPAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Food Innovation and Entrepreneurship)

Faculty of Agricultural Product Innovation and Technology, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การสกัดโปรตีนไฮโดรไลเซตจากถั่วลายเสือโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วย

ความดันสูงและการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมจากพืชสำหรับผู้บริโภคเจนเอเรชั่น Z

ของ

นิชานันท์ แก้วนวลพันธุ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและการเป็นผู้ประกอบการ
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิฐ ธรรมวิถี) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธีรา วัฒนกุล)

..... ที่ปรึกษาร่วม กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ อธิธิโสภณกุล) (ดร.สิริฉัตร ชนะดัง)

ชื่อเรื่อง	การสกัดโปรตีนไฮโดรไลเซตจากถั่วลายเสือโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงและการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมจากพืชสำหรับผู้บริโภคเจนเอช Z
ผู้วิจัย	นิชานันท์ แก้วนวลพันธุ์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิสิฐ ธรรมวิทย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธิรวัฒน์ อธิธิโสภณกุล

ปัจจุบันผู้บริโภค Gen Z สนใจผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชมากขึ้น อย่างไรก็ตามพืชโปรตีนส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ถั่วลายเสือเป็นพืชโปรตีนที่มีความจำเพาะทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาทัศนคติของผู้บริโภค Gen Z ต่อผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช จากการเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างจำนวน 200 คนโดยใช้แบบสอบถาม พบว่าผู้บริโภคสนใจในผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช แต่มีความกังวลเรื่องปริมาณสารอาหาร รสชาติและราคา และจากการศึกษาอิทธิพลของการแปรรูปที่มีต่อสมบัติของถั่วลายเสือ โดยสิ่งทดลอง 3 รูปแบบคือ ถั่วดิบ (RAW_PEA) ถั่วคั่ว (ROS_PEA) และถั่ว autoclave (CLAV_PEA) พบว่า ROS_PEA มีโปรตีนสูง ไขมันต่ำ มีค่า 42.84 และ 6.74 g/100g ตามลำดับ การแปรรูปทำให้ปริมาณกรดอะมิโนลดลงเล็กน้อย เช่นค่า leucine ของ ROS_PEA และ CLAV_PEA ลดลงที่ 1.56 และ 10.94% ตามลำดับ และการคั่วทำให้การขยายตัวของโฟมและการละลายเพิ่มขึ้น 91.42 และ 42.03% ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ทำให้ ROS_PEA มีคุณสมบัติที่ดี ดังนั้นจึงนำ ROS_PEA มาศึกษาในเรื่องของอิทธิพลของการใช้แรงดันสูงร่วมกับเอนไซม์ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ โดยใช้เอนไซม์ปาเปน (Enzyme) ที่ความเข้มข้น 0, 0.05 และ 0.2% และการใช้แรงดันสูง (HPP) ที่ 0, 100, 200 และ 300 MPa พบว่าสิ่งทดลองควบคุม (Enzyme 0%/HPP 0 MPa) มีสมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ต่ำ เช่นการละลาย การขยายตัวของโฟม และโปรตีน แต่เมื่อมีการเติมเอนไซม์และเพิ่มแรงดันทำให้ค่าการละลายสูงขึ้น 2.1 เท่า โดยที่สิ่งทดลองที่ใช้เอนไซม์ 0.2% และ HPP 300 MPa ช่วยให้โปรตีนสามารถสร้างโฟมได้ดี และโปรตีนสูงขึ้น 47.47% กล่าวได้ว่าการใช้เอนไซม์ 0.2% ร่วมกับ HPP 300 MPa มีผลทำให้สมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของผงโปรตีนเพิ่มขึ้น เมื่อนำผงโปรตีนที่ได้มาพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยมีสิ่งทดลองจำนวน 5 สิ่งทดลอง พบว่า การผสมโปรตีนถั่วลายเสือกับโปรตีนถั่วเหลืองในสัดส่วน 50:50 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดในทุกคุณสมบัติ จากการเก็บรักษาเครื่องดื่มโปรตีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์และเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าในช่วงสัปดาห์แรกเครื่องดื่มยังคงคุณภาพดี โดยปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ในสัปดาห์ที่ 2 พบว่าการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เริ่มลดลง สรุปได้ว่าเครื่องดื่มโปรตีนสามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 1 สัปดาห์ และผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐานของ อย.

คำสำคัญ : ถั่วลายเสือ, โปรตีนทางเลือก, เครื่องดื่มโปรตีนจากพืช, แรงดันสูง, เอนไซม์

Title	HIGH-PRESSURE ASSISTED ENZYMATIC EXTRACTION OF TIGER PEANUTS PROTEIN HYDROLYSATES AND PRODUCT DEVELOPMENT OF PLANT-BASED MILK FOR GENERATION Z CONSUMERS
Author	NICHANAN KAEWNUALPAN
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2024
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Pisit Dhamvithee
Co Advisor	Assistant Professor Dr. Teerarat Itthisoponkul

Consumers, especially Gen Z, are increasingly interested in plant-based protein products. However, most plant proteins are imported, while tiger peanuts from Mae Hong Son Province, Thailand, offer a local alternative. This research explores Gen Z consumers' attitudes toward plant-based protein. A survey of 200 participants found that most consumers are interested in plant-based foods but concerns about nutritional content, taste, and price. The study examined the effects of processing on tiger peanuts using raw (RAW_PEA), roasted (ROS_PEA), and autoclaved (CLAV_PEA) methods. Roasting increased protein to 42.84 g/100g and reduced fat to 6.74 g/100g. However, amino acids like leucine slightly decreased (1.56% in ROS_PEA and 10.94% in CLAV_PEA). and roasting enhanced foam expansion and solubility by 91.42% and 42.03%, respectively. This improved the chemical and functional properties of ROS_PEA. Therefore, ROS_PEA was then studied for the development of a tiger peanut protein drink using high-pressure processing (HPP) at 0, 100, 200, and 300 MPa and papain enzyme (0%, 0.05%, and 0.2%). The control treatment (0% enzyme/0 MPa HPP) showed low properties, but enzyme addition and HPP increased solubility by 2.1-fold, and 0.2% enzyme with 300 MPa HPP improved foam and protein content by 47.47%. In conclusion, the treatment use of 0.2% enzyme combined with HPP at 300 MPa resulted in improved properties. In product development, a 50:50 blend of tiger peanut and soy protein received the highest preference scores. After pasteurization and storage at 4°C for two weeks, the drink maintained good quality in the first week, but microbial growth increased in the second week. In conclusion, the protein drink can be stored for up to one week and complies with FDA standards.

Keyword : Tiger Peanuts, Alternative proteins, Plant-based protein drinks, High pressure processing, Enzyme

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในหัวข้อ “การสกัดโปรตีนไฮโดรไลเซตจากถั่วลายเสือโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงและการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมจากพืชสำหรับผู้บริโภคเจเนอเรชัน Z” นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหลายท่าน ข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิสิฐฐ์ ธรรมวิณี และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อีรารัตน์ อธิธิโสภณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้า สำหรับการให้คำแนะนำ ความรู้ ความเข้าใจ และความอดทนในการให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยนี้ ความเมตตาและการสนับสนุนของอาจารย์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้าสามารถดำเนินการวิจัยจนสำเร็จได้

ขอขอบคุณคณะกรรมการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณทิพา เจริญไทยกิจ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วาสนี จันทน์นวล อาจารย์ ดร.สิริฉัตร ชนะดัง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธีรา วัฒนกุล ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์ในการปรับปรุงงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และกรรมการบริหารหลักสูตรสาขานวัตกรรมการอาหารและการเป็นผู้ประกอบการ คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลและทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีคุณค่าในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนวิจัยเงินรายได้คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อน ๆ สาขานวัตกรรมการอาหารและการเป็นผู้ประกอบการ รวมถึงบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ให้คำแนะนำที่ดีในการทำงานตลอดมา รวมถึงครอบครัวที่คอยให้การสนับสนุนทางการเงิน จิตใจและกำลังใจตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษา

สุดท้าย ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงหรือโดยอ้อมในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ข้าพเจ้าจะไม่สามารถสำเร็จการศึกษาครั้งนี้ได้หากปราศจากความช่วยเหลือจากทุกท่าน

ขอขอบพระคุณอย่างยิ่ง

นิชานันท์ แก้วนวลพันธุ์

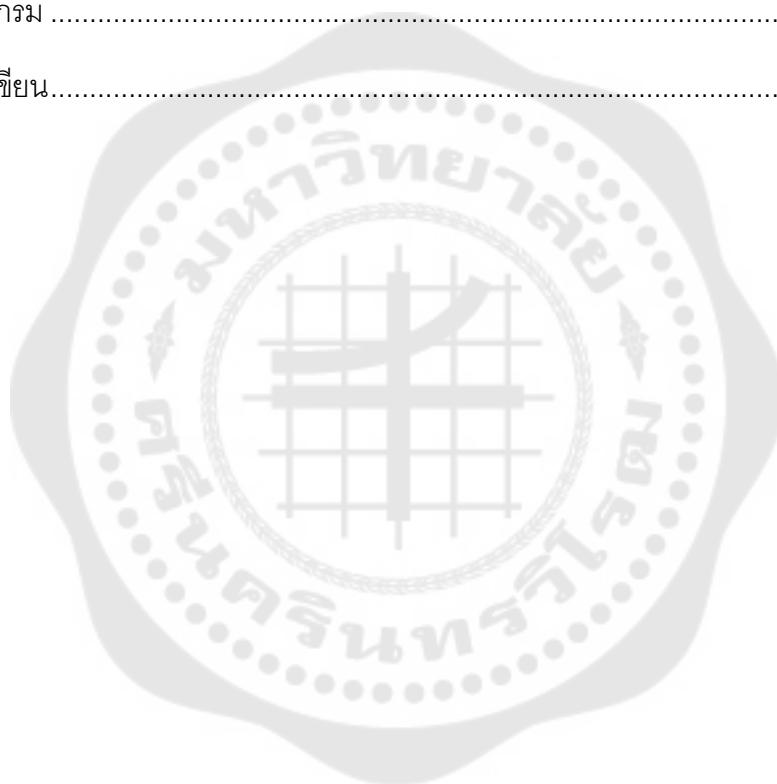
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 คำสำคัญ (Keywords).....	4
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.4 สมมติฐานการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2.....	1
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	1
2.1 ผู้บริโภคเจนเอชแซน Z (Generation Z consumer)	1
2.2 โปรตีนจากพืช (Plant-Based Protein)	7
2.3 ถั่วลายเสือ (Tiger Peanut)	9
2.4 โปรตีน (Protein)	10
2.4.1 กรดอะมิโน (amino acid)	11

2.5 การฆ่าเชื้อในอาหารด้วยความดันสูง (High pressure process ; HPP)	13
2.5.1 ผลของความดันสูงที่มีต่อคุณภาพของอาหาร.....	14
2.6 เอนไซม์ (Enzyme)	16
2.6.1 เอนไซม์โปรติเอส (Protease)	17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3.....	7
วิธีดำเนินการวิจัย	7
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์.....	7
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	7
3.2.1 ศึกษาพฤติกรรมและทัศนคติของกลุ่มเป้าหมาย.....	21
3.2.1.1 การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคด้วยวิธีการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ(Qualitative research)	21
3.2.1.2 การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคและผู้ซื้อด้วยวิธีการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative research)	21
3.2.2 ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อสมบัติของถั่วลายเสือ	23
3.2.2.1 เตรียมวัตถุดิบถั่วลันเตา.....	23
3.2.2.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของผงกากถั่วลายเสือ	24
3.2.2.3 ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของผงกากถั่วลายเสือ	25
3.2.3 ศึกษาอิทธิพลของการใช้แรงดันสูง (high pressure processing) ร่วมกับเอนไซม์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีกายภาพ จุลินทรีย์ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์.....	26
3.2.3.1 การเตรียมโปรตีนถั่วลายเสือไอโซเลท	26
3.2.3.2 การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ของโปรตีนถั่วลายเสือไอโซเลท (TPI)	26

3.2.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วลายเสือ	28
3.2.3.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ.....	29
3.2.3.5 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ.....	30
3.2.3.6 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีน	30
3.2.3.7 ศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของเครื่องดื่มโปรตีนทางด้านเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์.....	31
3.2.3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	31
บทที่ 4.....	21
ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	21
4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมและทัศนคติของกลุ่มเป้าหมาย	21
4.1.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคด้วยวิธีการเก็บข้อมูลเชิง คุณภาพ(Qualitative research)	21
4.1.2 การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคและผู้ซื้อด้วยวิธีการเก็บข้อมูล เชิงปริมาณ (Quantitative research).....	36
4.2 ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อสมบัติของถั่วลายเสือ	51
4.2.1 สมบัติทางเคมีของผงถั่ว	51
4.2.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของผงถั่ว	53
4.3 ศึกษาอิทธิพลของการใช้แรงดันสูง (high pressure processing) ร่วมกับเ็นไซม์ เพื่อ พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ และวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์.....	56
4.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วลายเสือ	57
4.3.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ.....	63
4.3.3 ศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของเครื่องดื่มโปรตีนทางด้านกายภาพและ จุลินทรีย์	65

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	34
5.1 ศึกษาพฤติกรรมและทัศนคติของกลุ่มเป้าหมาย	34
5.2 ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อสมบัติของถั่วลายเสือ	34
5.3 ศึกษาอิทธิพลของการใช้แรงดันสูง (high pressure processing) ร่วมกับเ็นไซม์ เพื่อ พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ 70	
บรรณานุกรม	71
ประวัติผู้เขียน.....	78



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วลิสงดิบเทียบกับถั่วลายเสือ.....	9
ตาราง 2 การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ของโปรตีนถั่วลายเสือไอโซเลท	27
ตาราง 3 สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิต	29
ตาราง 4 สูตรที่ใช้ในการศึกษา	30
ตาราง 5 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ.....	21
ตาราง 6 ทศนคติต่อสุขภาพที่ดี.....	34
ตาราง 7 ผลิตภัณฑ์ plant-based protein	35
ตาราง 8 ผลิตภัณฑ์เวย์โปรตีน	36
ตาราง 9 จำนวนและร้อยละข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม.....	37
ตาราง 10 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามการให้ความสำคัญกับสุขภาพ	38
ตาราง 11 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามการให้ความสำคัญกับอาหารและเครื่องดื่มที่รับประทาน	40
ตาราง 12 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามพฤติกรรมการรับประทานอาหารจากพืช หรือ Plant-based Protein.....	41
ตาราง 13 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามทัศนคติต่อการรับประทานอาหารจากพืช หรือ Plant-based Protein.....	42
ตาราง 14 ทศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ด้านผลิตภัณฑ์	44
ตาราง 15 ทศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ด้านราคา	45
ตาราง 16 ทศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายและการส่งเสริมการขาย	46

ตาราง 17 ทศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ด้านความยั่งยืน ของอาหาร.....	47
ตาราง 18 สมบัติทางเคมีของผงถั่ว.....	52
ตาราง 19 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นของผงถั่ว.....	53
ตาราง 20 สมบัติเชิงหน้าที่ของผงถั่ว.....	56
ตาราง 21 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วลายเสือ.....	58
ตาราง 22 สมบัติทางเคมีและกายภาพของโปรตีนถั่วลายเสือ.....	60
ตาราง 23 การประเมินทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วลายเสือโดยใช้ 9-point hedonic scale	64
ตาราง 24 คุณภาพด้านกายภาพของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วลายเสือในระหว่างการเก็บรักษา	66
ตาราง 25 คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วลายเสือในระหว่างการเก็บรักษา.....	34

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กราฟแสดงจำนวนประชากรไทยจำแนกตามอายุและเพศในปี 2022	1
ภาพประกอบ 2 กระบวนการทำงานของการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง	13
ภาพประกอบ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเพศและการดูแลสุขภาพของผู้บริโภค.....	48
ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอาชีพและการดูแลสุขภาพของผู้บริโภค	48
ภาพประกอบ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเพศและความคิดเห็นต่ออาหารจากพืชที่วางขายใน ท้องตลาดของผู้บริโภค.....	49
ภาพประกอบ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอาชีพและความคิดเห็นต่ออาหารจากพืชที่วางขายใน ท้องตลาดของผู้บริโภค.....	49
ภาพประกอบ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเพศและปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารจากพืชของ ผู้บริโภค.....	50
ภาพประกอบ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอาชีพและปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารจากพืชของ ผู้บริโภค.....	50
ภาพประกอบ 9 เปรียบเทียบสมบัติของโปรตีน การละลาย และสมบัติการเกิดโฟมของโปรตีนถั่ว ลายเหลืองที่เติมและไม่เติม enzyme ($p<0.05$) (statistical significance) โดยแบ่งเป็น 4 กราฟดังนี้	61
ภาพประกอบ 10 เปรียบเทียบสมบัติของโปรตีน การละลาย และสมบัติการเกิดโฟมของโปรตีนถั่ว ลายเหลืองที่ได้รับแรงดันและไม่ได้รับแรงดัน ($p<0.05$) (statistical significance) โดยแบ่งเป็น 3 กราฟดังนี้.....	62
ภาพประกอบ 11 การประเมินความพอดีของเครื่องตีโปรตีนถั่วลายเหลืองโดยใช้ Just About Right scale	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 ทำให้ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับเรื่องของสุขภาพมากขึ้น และมีการเลือกรับประทานอาหารที่สด สะอาด ปลอดภัย ตลอดจนลดการบริโภคเนื้อสัตว์ลง เนื่องจากมองว่าเนื้อสัตว์อาจเป็นต้นมาของการแพร่ระบาดของเชื้อหลายชนิด ทั้งโรคจากสัตว์สู่สัตว์ และโรคจากสัตว์สู่มนุษย์ อันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเจ็บป่วย (Villiers, Cheng, & Truter, 2024) แม้ว่าจะยังไม่พบรายงานว่ามีอาหารใดที่จะมีความเฉพาะเจาะจงในการป้องกันหรือรักษาโรค COVID-19 ได้ก็ตาม แต่การรับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพและเน้นพืชเป็นหลักอาจส่งผลต่อสุขภาพโดยรวมและความสามารถในการฟื้นตัวได้

โปรตีนจากพืช (plant-based protein) ถูกมองว่าเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสภาพแวดล้อม การรับประทานอาหารที่มีพืชเป็นหลักสามารถช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อาหารที่มีพืชเป็นหลักซึ่งลดการพึ่งพาผลิตภัณฑ์จากสัตว์ สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้

ในปี พ.ศ. 2562 ตลาดอาหารจากพืชในประเทศไทยมีมูลค่าประมาณ 28,000 ล้านบาท และมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 20 ผลิตภัณฑ์หลักที่จำหน่ายในตลาดยังคงเน้นไปที่อาหารเจและมังสวิรัต ในขณะที่อาหารจากพืชที่นำเข้าหรือผลิตในประเทศยังมีสัดส่วนไม่มากนัก รายงานพบว่า 20% ของคนไทยเป็นกลุ่มฟлексิตาเรียน (Flexitarian) โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่เน้นการรักษาสุขภาพ 65% และกลุ่มที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก 20%

ตลาดอาหารจากพืชในประเทศไทยยังคงเป็นตลาดใหม่ที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว การเติบโตนี้ไม่เพียงได้รับแรงกระตุ้นจากกระแสรักสุขภาพ แต่ยังมาจากผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับสวัสดิภาพสัตว์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นอีกกลุ่มที่มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนเทรนด์อาหารจากพืชในประเทศ

การผลิตอาหารจากสัตว์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าผลิตภัณฑ์จากพืช โดยเฉพาะในแง่ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การผลิตเนื้อจากพืชไม่เพียงแต่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังช่วยลดการเกิดโลกร้อนอีกด้วย เพราะกระบวนการผลิตเนื้อจากพืชปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าการผลิตเนื้อสัตว์ถึง 30-90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้การเลือกบริโภคเนื้อจากพืชเป็นทางเลือกที่ช่วยสนับสนุนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม.

ตลาดอาหารจากพืช (plant-based) กำลังได้รับความสนใจและเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในประเทศไทยที่มีแนวโน้มการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีสตาร์ทอัพหลายแห่งที่หันมาผลิตอาหารจากพืชและเปิดร้านอาหารแนว vegan เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับสุขภาพ จากการคาดการณ์ของศูนย์วิจัยกรุงไทย คอมพาส ตลาดอาหารจากพืชในประเทศไทยจะเติบโตเฉลี่ย 10% ต่อปี และคาดว่าจะมีมูลค่าถึง 45,000 ล้านบาทในปี 2567 (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2563)

คนรุ่นใหม่กลุ่ม generation z มีจำนวนประชากรทั้งหมดกว่า 2.5 พันล้านคน นับเป็นกว่าหนึ่งในสามของประชากรโลกทั้งหมด สำหรับประเทศไทย ประเมินการณ์ว่ามีจำนวนประชากร generation z ราว ๆ เกือบ 13 ล้านคนที่กำลังจะเข้าสู่วัยทำงานและจะเป็นกำลังหลักในตลาดแรงงานของประเทศถึง 20% คนกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เริ่มหันมาสนใจรับประทานอาหารที่ยั่งยืน ดีต่อสุขภาพ เช่นอาหารมังสวิรัต รวมถึงการดูแลสุขภาพ การดูแลรูปร่าง (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2563) ความต้องการทางโภชนาการของกลุ่ม generation z เป็นไปเพื่อเสริมพัฒนาการทางร่างกายที่สำคัญ ดังนั้น สารอาหารหลักที่ร่างกายของคนกลุ่มนี้ต้องการ คือ โปรตีนและแคลเซียมที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของกระดูกและกล้ามเนื้อ วิตามิน เกลือแร่ อาหารที่ให้พลังงาน และธาตุเหล็ก ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับคน generation z จึงควรเป็นอาหารที่มาจากวัตถุดิบใหม่ๆ วัตถุดิบธรรมชาติ มีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ มีคุณค่าทางอาหารสูง ป้องกันอาการภูมิแพ้ บำรุงสมอง บรรเทาความเครียด รวมถึงใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Sustainable materials & recyclability) ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะได้รับความสนใจจากคน generation z เป็นพิเศษ

Plant-based protein เป็นส่วนหนึ่งของโปรตีนทางเลือก (alternative protein) ที่ผลิตจากพืชที่มีโปรตีนสูง เช่น ถั่ว เห็ด สาหร่าย ข้าวโอ๊ต และอัลมอนต์ โดยมีการพัฒนารสชาติ กลิ่น และสีสันทให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากสัตว์ วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตมักต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลันเตา และพืชอื่นๆ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนตลาดโปรตีนจากพืชที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังมีข้อสงสัยเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพ การแปรรูป และการใช้ประโยชน์จากพืชโปรตีนในประเทศไทยไม่มากนัก ซึ่งหากมีข้อมูลดังกล่าวจะเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้วัตถุดิบในประเทศมาใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่ส่งเสริมสุขภาพเพิ่มมากขึ้น รวมถึงเป็นการลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ

การเตรียมโปรตีนถั่วที่มีจำหน่ายทั่วไปยังคงมีแบ่งในปริมาณมาก มีรายงานว่าแบ่งที่ผ่านการบำบัดด้วยแรงดันจะยังคงรักษาโครงสร้างได้ในระดับที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การบำบัด

ด้วยความร้อน ดังนั้นจึงอาจมีความทนทานต่อการย่อยได้ดีกว่าแบ่งที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน (Sim & Moraru, 2020; Stute et al., 1996) แบ่งที่มีความทนทานต่อการย่อยได้ดีมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากมาย เช่น การลดการตอบสนองของอินซูลินและระดับน้ำตาลในเลือด และการปรับปรุงสุขภาพของจุลินทรีย์ในลำไส้ ซึ่งคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากพืชตระกูลถั่ว เช่น การให้ความชุ่มชื้น การเกิดเจล และอิมัลซิฟิเคชัน ทำให้โปรตีนจากพืชตระกูลถั่วเหมาะสำหรับการใช้งานทางอุตสาหกรรม ปฏิกริยาระหว่างโปรตีนและน้ำส่งผลให้ความชุ่มชื้นมีบทบาทสำคัญในคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน เช่น การก่อเจล การบวม และความสามารถในการกักเก็บน้ำ ในขณะที่ขอบเขตของความชุ่มชื้นจะควบคุมคุณสมบัติเหล่านี้ นักวิจัยพบว่าการแปรรูปโดยใช้แรงดันสูง (high pressure processing:HPP) ที่เกินช่วงที่กำหนดจะไปขัดขวางปฏิกิริยาที่ไม่ชอบน้ำในแกนโปรตีน และเผยให้เห็นกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำและกลุ่มซัลไฟไฮดริล (SH) ซึ่งจะช่วยลดความสามารถในการละลายของโปรตีน (Garcia-Mora et al., 2016; Martínez-Monteagudo & Balasubramaniam, 2016; Yin, Tang, Wen, Yang, & Li, 2008) ผลกระทบของ HPP จึงเป็นที่สนใจ

เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง (HPP) เป็นเทคโนโลยีแปรรูปอาหารแบบไม่ใช้ความร้อนซึ่งสามารถใช้เป็นทางเลือกแทนการพาสเจอร์ไรส์ด้วยความร้อนได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสและโภชนาการที่เป็นอันตรายต่ออาหารที่เกิดจากความร้อน (Rastogi, Raghavarao, Balasubramaniam, Niranjan, & Knorr, 2007) แรงดัน (200 – 600 MPa) ที่ใช้ในการบำบัด HPP ทั้งหมดจะไม่ทำลายพันธะโควาเลนต์ แต่เปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลไปสู่สถานะปริมาตรที่ลดลง ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนมีความเสถียร และการหยุดของปฏิกิริยาที่ไม่ชอบน้ำและไฟฟ้าสถิต (Mozhaev, Heremans, Frank, Masson, & Balny, 1996) ด้วยเหตุนี้ HPP จึงสามารถกระตุ้นให้เกิดการปรับเปลี่ยนโครงสร้างและการทำงานของโพลีเมอร์อาหาร ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีเนื้อสัมผัสที่เป็นเอกลักษณ์และมีคุณภาพสูง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาพฤติกรรมและทัศนคติของผู้บริโภค generation z ที่มีต่อผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช สมบัติ การแปรรูปแรงดันสูงร่วมกับเอ็นไซม์ แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ และการศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

1.2 คำสำคัญ (Keywords)

แรงดันสูง, เอนไซม์, โปรตีนทางเลือก, เครื่องต้มโปรตีนจากพืช, และถั่วลายเสือ

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาพฤติกรรมและทัศนคติของกลุ่มผู้บริโภค generation z ที่มีต่อการบริโภค ผลิตภัณฑ์ plant based protein

1.3.2 ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อสมบัติของถั่วลายเสือ

1.3.3 ศึกษาอิทธิพลของการใช้แรงดันสูง (high pressure processing) ร่วมกับเอนไซม์ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องต้มโปรตีนจากถั่วลายเสือ วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

1.4 สมมติฐานการวิจัย

1.4.1 การใช้กระบวนการแปรรูปโดยใช้แรงดันสูงร่วมกับเอนไซม์ จะทำให้โปรตีนมีความเข้มข้นมากขึ้น

1.4.2 การใช้กระบวนการแปรรูปโดยใช้แรงดันสูงร่วมกับเอนไซม์ จะทำให้ลดสารก่อภูมิแพ้ในถั่วลายเสือได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากการแปรรูปด้วย HPP ร่วมกับเอนไซม์

1.5.2 ได้แนวทางการประยุกต์ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วลายเสือในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากพืช

1.5.3 เพิ่มมูลค่าและการใช้ประโยชน์ให้กับถั่วลายเสือ

1.5.4 ลดการนำเข้าวัตถุดิบภายในประเทศ

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 Gen Z (Generation Z)

กลุ่มคนที่เกิดในช่วงปีประมาณ 1997 ถึง 2012 (บางแหล่งอาจขยายขอบเขตออกไปเป็นปี 2015 หรือเล็กน้อยก่อนปี 1997 ขึ้นอยู่กับการนิยามของแต่ละองค์กรหรือการศึกษา) กลุ่มคนนี้มักถูกมองว่าเป็น คนรุ่นดิจิทัล หรือ คนรุ่นออนไลน์ เนื่องจากพวกเขาเติบโตขึ้นมาพร้อมกับเทคโนโลยีดิจิทัล เช่น สมาร์ทโฟน, อินเทอร์เน็ต, โซเชียลมีเดีย และเครื่องมือดิจิทัลต่างๆ ที่มีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของพวกเขา (Dolot, 2018)

1.6.2 Plant-based protein

โปรตีนจากพืช โปรตีนที่มาจากแหล่งพืช ซึ่งประกอบไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการซ่อมแซมเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย โดยโปรตีนจากพืชมีแหล่งที่มาได้หลากหลาย เช่น ถั่ว, เมล็ดพืช, ธัญพืช, ผัก และผลไม้บางชนิด (Aschemann-Witzel, Gantziis, Fraga, & Perez-Cueto, 2021)

1.6.3 High Pressure Processing (HPP)

กระบวนการประมวลผลด้วยความดันสูง เป็นเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารที่ใช้การบีบอัดด้วยความดันสูงเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร โดยไม่ต้องใช้ความร้อนสูง ซึ่งช่วยรักษาคูณค่าทางโภชนาการ, รสชาติ, สี และความสดของอาหารได้ดีกว่ากระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อน (Balasubramaniam & Farkas, 2008)

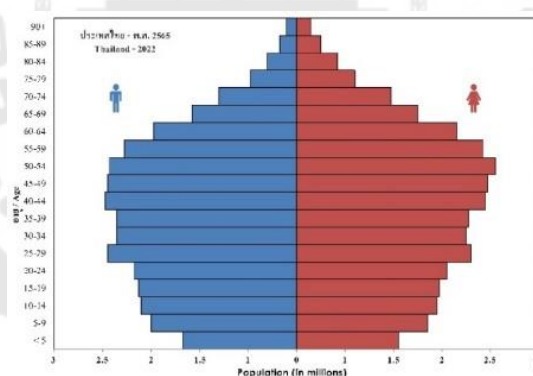


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผู้บริโภคเจเนอเรชัน Z (Generation Z consumer)

Generation Z consumer หรือ Gen Z เป็นผู้ที่เกิดในช่วง พ.ศ. 2540 – 2555 (ช่วงอายุ 11 – 26 ปี) เป็นกลุ่มคนรุ่นใหม่ที่มีผลต่อระบบเศรษฐกิจในอนาคต เนื่องจากจะเป็นกลุ่มผู้บริโภคหลัก ส่วนใหญ่เป็นประชากรกลุ่มที่กำลังจะก้าวเข้าสู่วัยทำงาน โดยทั่วไปจะเกิดมาพร้อมอินเทอร์เน็ตและเทคโนโลยีต่างๆ เริ่มเรียนรู้และเข้าถึงเทคโนโลยีดิจิทัลในระดับอายุที่ต่ำกว่ากลุ่มอื่น วิธีการดำเนินชีวิตผูกพันอยู่กับกิจกรรมออนไลน์ ชื่นชอบการท่องเที่ยวเพื่อค้นหาประสบการณ์ใหม่ๆ อาหารเป็นรูปแบบหนึ่งของการแสดงออกถึงความเป็นตัวตนของคน Gen Z มีแบรนด์สื่อถึงตัวตน แต่คน Gen Z ไม่ยึดติดในแบรนด์ มี Loyalty ต่ำ มีใจเปิดกว้างรับวัตถุดิบและอาหารใหม่ๆ และพร้อมที่จะหยุดสนับสนุนแบรนด์หรือสินค้าที่ขาดจริยธรรมทางธุรกิจ มีความเป็นปัจเจกสูงกว่ายุคก่อน ให้ความสำคัญกับความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อมและเพื่อนมนุษย์ สิ่งมีชีวิตต่างๆ และอนาคตของโลก จึงเกิดเป็นกลุ่มเฉพาะในการเลือกบริโภค เช่น อาหารออร์แกนิกและอาหารธรรมชาติ (Dolot, 2018)



ภาพประกอบ 1 กราฟแสดงจำนวนประชากรไทยจำแนกตามอายุและเพศในปี 2022

ที่มา : (การเคหะแห่งชาติ, 2566)

ในกระแสด้านสุขภาพพบว่าคนรุ่นใหม่อย่างกลุ่ม Gen Z ให้ความสนใจเรื่องสุขภาพเป็นอย่างมาก และจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ช่วงปลายปี 2019 ทำให้คนเริ่มดูแลสุขภาพกันมากขึ้น เพื่อระวังและป้องกันการติดเชื้อ รวมถึงเสริมสร้างสุขภาพให้แข็งแรงขึ้นจากการออกกำลังกายและการรับประทานอาหาร โดยมีผลสำรวจจำนวนคนออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาของไทย พบว่ามีประมาณ 12.9 ล้านคน ซึ่งมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับผลสำรวจ

ครั้งก่อน รายได้ของผู้บริโภคและการรับรู้ข่าวสารเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพทำได้ง่ายผ่านโซเชียลมีเดียต่างๆ (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2563)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับกลุ่มคน Gen Z เน้นไปที่การสร้างประสบการณ์และความประทับใจให้กับลูกค้าทุกครั้งที่ได้ใช้สินค้าหรือบริการ การสร้างคุณค่าในใจผู้บริโภค มีราคาที่เหมาะสมกับคุณค่าควรจะได้รับ และมีการสื่อสารถึงคุณค่าของสิ่งคุณค่าที่จะได้รับในการซื้อ/บริโภคสินค้า สามารถเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงสินค้า ในช่องทางที่เป็นการผสมผสานออนไลน์และออฟไลน์ (Omni Channel) หรือมีการติดต่อสื่อสารกับลูกค้าที่หลากหลายช่องทางการเชื่อมโยงช่องทางต่างๆ รวมให้เป็นหนึ่งเดียว โดยผสมผสานช่องทางการสื่อสารเหล่านั้นทั้งออนไลน์และการขายหน้าร้าน เพื่อสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับลูกค้าเพื่อให้ลูกค้าได้รับข้อมูล ได้เห็นหรือทดลองสินค้า รวมถึงสะดวกในการเข้าถึงสถานที่จำหน่าย โดยใช้เทคโนโลยีที่มีการเชื่อมต่อข้อมูลของทุก Platform รวมถึงพัฒนาแบรนด์ให้เป็นสาวก โดยการให้ความรู้เพื่อให้ผู้ใช้ได้เริ่มซื้อและรักสินค้า จนเลือกสินค้าเป็นแบรนด์โปรด จะทำให้เกิดการซื้อซ้ำบอกต่อและปกป้อง (Passion) สินค้าหรือแบรนด์ เสมือนเป็นเกราะป้องกันธุรกิจ (อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร, 2563)

ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับคน Gen Z ควรเป็นอาหารที่มาจากวัตถุดิบใหม่ๆ วัตถุดิบธรรมชาติอาหารจากวัตถุดิบเกษตรอินทรีย์ มีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ มีคุณค่าทางอาหารสูง ช่วยเสริมสร้างสุขภาพองค์รวม รวมถึงใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Sustainable materials & recyclability) ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะดังนี้จะได้รับความสนใจจากคน Gen Z เป็นพิเศษ

2.2 โปรตีนจากพืช (Plant-Based Protein)

โปรตีนจากพืช หมายถึงโปรตีนที่ได้มาจากแหล่งพืช เช่น ผัก พืชตระกูลถั่ว ธัญพืช ถั่ว เมล็ดพืช และผลไม้ ซึ่งต่างจากโปรตีนจากสัตว์จากเนื้อสัตว์ นม หรือไข่ แหล่งโปรตีนจากพืชมักบริโภคโดยบุคคลที่รับประทานอาหารจากพืชเป็นหลัก รวมถึงผู้ที่เปี่ยมพลังชีวิตและวีแกน แต่แหล่งโปรตีนจากพืชก็ถูกใช้โดยผู้ที่ต้องการลดการบริโภคผลิตภัณฑ์จากสัตว์ด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น คำนึงถึงสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และจริยธรรม โปรตีนจากพืชมีแหล่งที่มาหลากหลาย การจัดแหล่งที่มาของโปรตีนจากพืชยังไม่มีระบบที่ชัดเจน กำหนดตามหลักพฤกษศาสตร์ออกได้เป็น 5 กลุ่มดังต่อไปนี้

โปรตีนจากพืชสามารถแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มตามแหล่งที่มาของพืชแต่ละชนิด ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและเป็นทางเลือกที่ดีในการเสริมสร้างโปรตีนในอาหาร ดังนี้

ก. โปรตีนจากธัญพืช (Cereal)

โปรตีนในกลุ่มนี้มาจากพืชในตระกูลหญ้าที่สามารถบริโภคได้ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวฟ่าง ข้าวบาร์เลย์ โดยใน 100 กรัมของอาหารไทยที่บริโภคได้ เช่น ข้าวเจ้า หอมมะลิ (6.5 กรัมโปรตีน), ข้าวเหนียว (6.3 กรัมโปรตีน), ข้าวฟ่าง (9.8 กรัมโปรตีน), ข้าวโพดต้ม (4.3 กรัมโปรตีน), ข้าวบาร์เลย์ (8.3 กรัมโปรตีน), ข้าวสาลี (12.0 กรัมโปรตีน).

ข. โปรตีนจากถั่ว (Legume)

โปรตีนจากถั่วสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- ถั่วฝักเมล็ดไม่กลม (Bean) เช่น ถั่วดำ ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง
- ถั่วฝักเมล็ดกลม (Pea) เช่น ถั่วลูกไก่ ถั่วพุ่ม
- ถั่วเมล็ดแบน เช่น ถั่วเลนทิล (Lentil)

นอกจากนี้ยังมีการแบ่งกลุ่มเพิ่มเติม ได้แก่ ถั่วน้ำมัน (Oilseed Legume) เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และ ถั่วพัลส์ (Pulse) เช่น ถั่วเขียว ถั่วขาว ถั่วลูกไก่ ที่มีโปรตีนสูงแต่ไขมันต่ำ

ค. โปรตีนจากเมล็ดพืช (Seed) และนัท (Nut)

เมล็ดพืชและนัทต่างๆ ที่ให้โปรตีนสูง ได้แก่ เมล็ดทานตะวัน เมล็ดฟักทอง เมล็ดงา เมล็ดลินิน เมล็ดถั่วเหลือง และเมล็ดป๊อปปี โดยเมล็ดงาดำมีโปรตีนสูงถึง 20 กรัมใน 100 กรัม พร้อมทั้งอุดมด้วยกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ทริปโตเฟน และซีสเทอีน ส่วน นัท ที่ให้โปรตีนเช่น อัลมอนด์ กาแล็ค แมคาเดเมีย

ง. โปรตีนจากหญ้าที่ไม่ใช่ธัญพืช (Pseudo-cereal)

กลุ่มนี้ประกอบด้วยพืชที่ให้โปรตีนสูง เช่น บักวีท (Buckwheat), เลีย (Chia), ควินัว (Quinoa), และอะมารัน (Amaranth)

จ. โปรตีนจากพืชผัก (Vegetable Protein)

โปรตีนสีเขียวจากพืชผักต่างๆ เช่น บร็อกโคลี (Broccoli), เคลป์ (Kale), กะหล่ำดอก, มันฝรั่ง, สะตอ, ผักหวาน, ชะอม, ยอดแค, ยอดกระถิน, ชีเหล็ก, ใบมะรุม (Moringa), และใบชายา (Chaya)

การรับประทานโปรตีนจากพืชไม่เพียงแต่ดีต่อสุขภาพ แต่ยังเป็นทางเลือกที่ดีในการสนับสนุนการผลิตอาหารที่ยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย, 2561)

2.3 ถั่วลายเสือ (Tiger Peanut)

ถั่วลายเสือ (Tiger Peanut) หรือถั่วลิสงพันธุ์กาฬสินธุ์ 2 ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Arachis hypogaea* L. 2 เป็นพืชล้มลุกวงศ์ถั่ว อยู่ในวงศ์ Fabaceae หรือ Leguminosae มีลักษณะฝักยาวเปลือกบาง ลายบนเปลือกเป็นร่องลึกชัดเจน เมล็ดถั่วมีขนาดใหญ่ เยื่อหุ้มเมล็ดมีสีขาว และมีลายขีดสีม่วงคล้ายกับลายเสือโคร่ง จำนวน 2-4 เมล็ดต่อฝัก ขนาดใหญ่เต็มฝัก ตัวถั่วลายเสือ นั้นเป็นแหล่งใยอาหารเพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าการให้โภชนาการสูงดังตารางที่ 1

ตาราง 1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วลิสงดิบเทียบกับถั่วลายเสือ

โภชนาการหลัก	ถั่วลิสง	ถั่วลายเสือ	หน่วย
พลังงาน	518	599	กิโลแคลอรี
โปรตีน	29.70	24.2	กรัม
ไขมัน	38.70	45.9	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	7.96	22.3	กรัม
ใยอาหาร	9.7	7.5	กรัม
เกลือ	2.5	1.5	กรัม
แคลเซียม	20	39.5	มิลลิกรัม

ที่มา : (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย, 2561)

ถั่วลิสง (peanut) เช่น ถั่วลายเสือ (tiger strip peanut) ก็อาจมีผลทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการแพ้ได้เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะในเด็กตั้งแต่อายุ 2 ปี อาจเกิดลมพิษ ตาบวม คอบวม หายใจไม่ออก จนถึงเกิดภาวะการแพ้อย่างรุนแรง (anaphylaxis) แม้จะอายุมากขึ้นถึงวัยรุ่นก็ยังมีโอกาสแพ้ได้ถึงร้อยละ 40 รวมถึงถั่วลายเสือที่ได้รับการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ ก็อาจมีสารพิษ (toxin) จากจุลินทรีย์ปนเปื้อนด้วย (Ozias-Akins & Breiteneder, 2019)

ถั่วลายเสือหลังจากการสกัดน้ำมันแล้ว จะมีสัดส่วนของโปรตีนเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 50 โดยมีกรดอะมิโนถึง 20 ชนิด รวมทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ไลซีน (Lysine), เมไทโอนีน (Methionine) และทรีโอนีน (Threonine) ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีต่อร่างกาย โปรตีนจากถั่ว

ลิสยังมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์และไข่ไก่ ช่วยสนับสนุนการเติบโต และพัฒนาการของร่างกาย

การบริโภคโปรตีนจากถั่วลิสยังมีข้อได้เปรียบจากการได้รับใยอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์มากกว่าโปรตีนจากเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ โปรตีนจากถั่วลิสยังมีคุณสมบัติในการละลาย การเกิดโฟม การเกิดอิมัลชัน และการอุ้มน้ำที่ดี ซึ่งทำให้เหมาะสมในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว หรืออาหารทารก

ในแง่ของการย่อย โปรตีนจากถั่วลิสมีความสามารถในการย่อยได้ใกล้เคียงกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ทำให้เป็นแหล่งโปรตีนที่ดีและย่อยง่ายสำหรับผู้บริโภคทุกกลุ่ม

2.4 โปรตีน (Protein)

โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีอยู่ในพืชและสัตว์ โปรตีนสามารถพบได้ในทั้งเนื้อสัตว์ เครื่องในสัตว์ ธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี ถั่วเมล็ดแห้ง เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิส ถั่วแดง และอื่นๆ เช่น เห็ด สาหร่าย ส่วนในผักและผลไม้ไม่จัดว่าเป็นแหล่งอาหารที่ให้โปรตีน ความสำคัญของโปรตีนคือเสริมสร้างการเจริญเติบโตของร่างกาย ควบคุมความเป็นกรด – ด่างในเลือดและรักษาระดับความสมดุลของของเหลวภายในร่างกายให้อยู่ในภาวะที่ปกติอีกด้วย ทั้งนี้ร่างกายของคนมีโปรตีนอยู่ประมาณ 1 ใน 7 ของน้ำหนักตัว ตามปกติผู้ใหญ่ควรได้รับโปรตีน 1 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน และ 1 ใน 3 ควรเป็นโปรตีนจากเนื้อสัตว์ โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยปกติแล้วโปรตีนจะมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับในคาร์โบไฮเดรต และไขมัน แต่ในโปรตีนจะมีองค์ประกอบของธาตุที่เพิ่มเข้ามาคือไนโตรเจน และซัลเฟอร์ (สมปอง ธรรมศิริรักษ์, 2550) โปรตีนมีอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดและมีบทบาทสำคัญในกระบวนการต่างๆ ภายในร่างกาย โดยโปรตีนเป็นส่วนประกอบหลักของอวัยวะต่างๆ รวมทั้งโครงสร้างที่อ่อนนุ่ม เช่น กล้ามเนื้อ ผิวหนัง และอวัยวะภายใน ซึ่งโปรตีนมีความจำเป็นสำหรับสัตว์ตลอดชีวิต เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต การซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ และการฟื้นฟูสภาพร่างกายจากการบาดเจ็บหรือความเสียหายที่เกิดขึ้น โครงสร้างทางเคมีของโปรตีน โปรตีนเป็นสารที่ประกอบไปด้วยกรดอะมิโนจำนวนมากแต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bonds) ที่ต่อกันเป็นสายเพปไทด์ (peptide chain) โปรตีนบางชนิดที่มีกรดอะมิโนติดต่อกันเป็นสายยาวนั้นอาจพับไปพับมารวมเป็นกลุ่ม บางชนิดเป็นเกลียวหรือขดเป็นวงเพราะมีการเชื่อมระหว่างกรดอะมิโนด้วยกันโดยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds) จากการทำโปรตีนมีน้ำหนักโมเลกุลมากทำให้ไม่ดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กไปหล่อเลี้ยงร่างกายได้จึงต้อง

ผ่านการย่อยในกระเพาะและลำไส้เล็กด้วยเอนไซม์หลายชนิดจนได้กรดอะมิโนเสียก่อนจึงซึมผ่านผนังลำไส้เล็กไปเลี้ยงร่างกายได้

2.4.1 กรดอะมิโน (amino acid)

โปรตีนเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วยธาตุหลัก 4 ชนิด คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนและไนโตรเจนและบางชนิดประกอบด้วยซัลเฟอร์ ไอโอดีน เหล็ก และฟอสฟอรัส กรดอะมิโนมาตรฐานที่ทราบกันโดยทั่วไปมี 20 ชนิด ความสำคัญของกรดอะมิโนคือ ทำหน้าที่เป็นหน่วยโครงสร้างของโปรตีน (binding block) โปรตีนที่เกิดขึ้นอาจมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกรดอะมิโนแต่ละตัวในสายโพลีเพปไทด์ ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการส่งสัญญาณเคมีระหว่างเซลล์ เช่น การส่งสัญญาณประสาท โดยเฉพาะอนุพันธ์ของกรดอะมิโนไทโรซีน นอกจากนี้ การจำแนกประเภทของกรดอะมิโนตามหลักโภชนาการสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ กรดอะมิโนชนิดจำเป็น (essential amino acid) และกรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็น (non-essential amino acid) กรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาใช้ได้ต้องรับประทานอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ถั่วเหลือง ถั่วรำกายขาดกรดอะมิโนเหล่านี้เพียงชนิดเดียวทำให้ร่างกายไม่สังเคราะห์โปรตีนในการเจริญเติบโตได้ กรดอะมิโนชนิดจำเป็นเหล่านี้ได้แก่ไอโซลิวซีน (isoleucine) ลิวซีน (leucine) ไลซีน (lysine) เมทไธโอนีน (methionine) ฟีนีลอะลานีน (phenylalanine) ทรีโอนีน (threonine) ทริปโตเฟน (tryptophan) และแวลีน (valine) ในส่วนของกรดอะมิโนชนิดไม่จำเป็น (nonessential amino acid or dispensable amino acid) กรดอะมิโนที่ร่างกายสังเคราะห์ขึ้นได้ตามต้องการโดยไม่จำเป็นต้องได้มาจากการรับประทานอาหารก็ได้ แต่มีความจำเป็นในร่างกายเช่นเดียวกันกับชนิดแรก ยกตัวอย่างเช่น ไกลซีน (glycine) เกี่ยวข้องกับฮีโมโกลบินเม็ดเลือดแดง โพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีน (proline, hydroxy - proline) เกี่ยวข้องกับการสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวกับ (connective tissue) กลูตาเมต (glutamate) เกี่ยวข้องกับกระบวนการขับยูเรียออกจากร่างกาย และไทโรซีน (tyrosine) เกี่ยวข้องกับการสร้างฮอร์โมนไทรอกซีนของต่อมไทรอยด์ (Wilson, 2003)

การออกกำลังกายกระตุ้นให้ร่างกายมีการซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่สึกหรอ (Rebuilding) ซึ่งในระหว่างการออกกำลังกาย ร่างกายจะสูญเสียน้ำและอิเล็กโทรไลต์ รวมถึงการกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนที่ช่วยเร่งการเผาผลาญพลังงาน ทำให้เกิดการสลายไกลโคเจนและไขมันเป็นพลังงาน ฮอร์โมนเหล่านี้จะยังคงอยู่ในระดับสูงหลังการออกกำลังกาย ซึ่งส่งผลให้เซลล์กล้ามเนื้อถูกทำลาย หากไม่ได้รับสารอาหารในช่วงนี้จะทำให้กล้ามเนื้อเจ็บและสมรรถภาพร่างกายลดลง

ดังนั้นหลังการออกกำลังกาย ควรได้รับโปรตีน 20-40 กรัม และ leucine 3-4 กรัม เพื่อช่วยในการสร้างกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ คาร์โบไฮเดรตก็มีความสำคัญในการลดการทำลายมวลกล้ามเนื้อจากการกระตุ้นให้หลังอินซูลิน โดยเฉพาะหลังการฝึก weight training ควรได้รับทั้ง คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนทันทีเพื่อช่วยฟื้นฟูและเสริมสร้างกล้ามเนื้อ

โปรตีนมีประโยชน์หลายประการ เช่น ช่วยในการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอภายในร่างกาย นอกจากนี้ยังเป็นสารประกอบที่สำคัญ เช่น เอนไซม์ ฮอร์โมน ฮีโมโกลบิน สารภูมิคุ้มกัน และสารตั้งต้นของวิตามิน โปรตีนยังเป็นส่วนประกอบหลักของนม เล็บ และผิวหนัง และช่วยในการขนถ่ายสารอาหารจากผนังลำไส้เข้าสู่กระแสเลือด รวมถึงขนส่งไปทั่วร่างกาย อีกทั้งยังมีบทบาทในการควบคุมสมดุลน้ำภายนอกและภายในเซลล์เพื่อรักษาการทำงานของร่างกายให้สมดุล โปรตีนยังมีบทบาทในการรักษาสมดุลกรด-ด่างในเลือดโดยทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ซึ่งช่วยปรับสมดุลของปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกาย นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการติดเชื้อและทำลายสารพิษ โดยโปรตีนส่วนที่เป็นสารภูมิคุ้มกันจะช่วยในการป้องกันการติดเชื้อจากเชื้อโรคต่างๆ และเอนไซม์ในตับหลายชนิดที่เป็นโปรตีนจะทำหน้าที่ในการทำลายสารพิษที่ปนมากับอาหาร ในกรณีที่ร่างกายขาดแหล่งพลังงานจากอาหาร ร่างกายจะใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงาน โดยโปรตีน 1 กรัม สามารถให้พลังงานได้ 4 กิโลแคลอรี ซึ่งช่วยสนับสนุนการทำงานของร่างกายในช่วงที่ขาดพลังงานจากแหล่งอื่นๆ

เมื่อร่างกายขาดโปรตีน จะทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า "โรคขาดโปรตีน" ซึ่งมักพบรวมกับการขาดพลังงาน โดยเฉพาะในเด็กเล็ก อาการของโรคขาดโปรตีนจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปเป็นสองรูปแบบหลัก ได้แก่ ควาชิออร์คอร์ (Kwashiorkor) และ มาราสมัส (Marasmus) นอกจากนี้ ภาวะที่มีการสูญเสียโปรตีนเฉียบพลัน เช่น หลังการผ่าตัด กระดูกหัก ไฟลวก หรือในผู้ป่วยที่นอนอยู่บนเตียงเป็นเวลานาน โดยเฉพาะในผู้สูงอายุ ก็สามารถทำให้เกิดการขาดโปรตีนได้

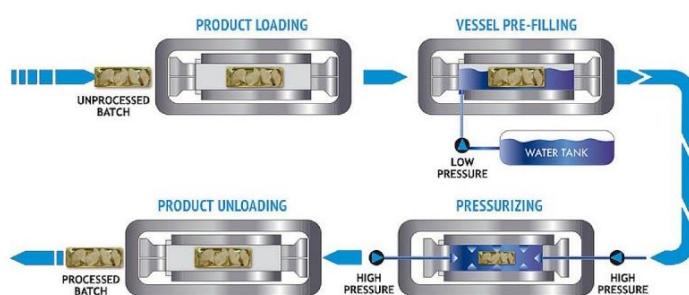
ในทางกลับกัน เมื่อร่างกายมีโปรตีนสะสมมากเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหาร เช่น ทำให้ท้องอืด ท้องร่วง หรือทำให้ตับและไตต้องทำงานหนักขึ้นในการขับโปรตีนส่วนเกินออกจากร่างกาย ซึ่งอาจทำให้สูญเสียน้ำจากการขับโปรตีนออกทางปัสสาวะ การบริโภคโปรตีนสูงจากเนื้อแดงหรือผลิตภัณฑ์นมที่มีไขมันสูงอาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ และการกินอาหารโปรตีนสูงบางชนิดอาจจำกัดการบริโภคคาร์โบไฮเดรต ส่งผลให้เกิดภาวะขาดสารอาหารและนำไปสู่อาการต่างๆ เช่น ลมหายใจเหม็น ปวดศีรษะ หรือท้องผูก (Li, Yin, Li, Woo Kim, & Wu, 2007)

2.5 การฆ่าเชื้อในอาหารด้วยความดันสูง (High pressure process ; HPP)

การแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง (High Pressure Processing, HPP) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ใช้ความร้อนในการแปรรูปอาหาร แต่ใช้ความดันสูงผ่านตัวกลางที่สามารถกระจายความดันได้อย่างสม่ำเสมอ เช่น น้ำหรือกลีเซอรอล เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ กระบวนการนี้สามารถรักษาคุณภาพรสชาติและความสดของอาหารได้ดี ข้อดีของกระบวนการนี้คือความสามารถในการเพิ่มความดันถึงระดับที่สูงมาก ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก (ประมาณ 3 องศาเซลเซียสต่อการเพิ่มความดัน 100 MPa) ทำให้อาหารไม่สูญเสียสารอาหารและคุณค่าทางโภชนาการเหมือนกระบวนการที่ใช้ความร้อน (Abera W/giorgis, 2019)

แม้ว่าอุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการแปรรูป แต่การลดความดันกลับสู่ระดับปกติจะทำให้อุณหภูมิของอาหารลดลงทันที การผลิตในกระบวนการนี้ใช้เวลาเพียง 30 นาที ทำให้เป็นทางเลือกที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพอาหาร อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยไม่ต้องใช้สารเคมีหรือความร้อนที่อาจทำลายสารอาหารหรือรสชาติของอาหาร (เทพอรุณรัตน์, 2546)

ทำให้เทคโนโลยี HPP จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับอุตสาหกรรมอาหารในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการรักษาคุณภาพของอาหารที่ต้องการความสดใหม่และรสชาติที่ดีเยี่ยม



ภาพประกอบ 2 กระบวนการทำงานของการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง

ที่มา : (Srinivas, Madhu, Srinivas, & Jain, 2018)

2.5.1 ผลของความดันสูงที่มีต่อคุณภาพของอาหาร

2.5.1.1 จุลินทรีย์ในอาหาร

ผลกระทบของความดันสูงต่อการเจริญเติบโตและการตายของจุลินทรีย์ โดยเมื่อจุลินทรีย์ได้รับความดันสูง เซลล์จุลินทรีย์จะถูกทำลาย โดยเฉพาะ cell membrane ที่จะเกิดการรั่วไหลของสารต่างๆ ทั้งจากภายในและภายนอกเซลล์ ส่งผลให้กระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญ เช่น การสังเคราะห์สารพันธุกรรมไม่สมบูรณ์และถูกทำลาย จึงทำให้เซลล์ไม่สามารถทำงานได้และตายในที่สุด

การทำลายจุลินทรีย์ด้วยความดันสูงนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ โดยแบคทีเรียแกรมลบและยีสต์จะถูกทำลายได้ง่ายกว่าแบคทีเรียแกรมบวกเมื่อได้รับความดันที่ 300 MPa ที่อุณหภูมิห้อง โดยสามารถจัดลำดับความต้านทานของจุลินทรีย์ได้จากง่ายไปยากตามลำดับ หากเป็นสปอร์ของจุลินทรีย์ ความดันที่ต่ำอาจกระตุ้นการงอกของสปอร์ ทำให้ไม่สามารถกำจัดได้ผล จึงจำเป็นต้องใช้ความดันที่สูงกว่าประมาณ 600 MPa ร่วมกับอุณหภูมิที่สูง (50-70°C) เพื่อให้สามารถทำลายสปอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เทพอรุณรัตน์, 2546)

2.5.1.2 โปรตีนและเอนไซม์

ผลกระทบของความดันต่อโครงสร้างโปรตีนและเอนไซม์ในระดับต่างๆ โดยการใช้ความดันในระดับต่ำ (ไม่เกิน 150 MPa) จะส่งผลให้พันธะ Noncovalent ซึ่งมีบทบาทสำคัญในโครงสร้างของโปรตีนและเอนไซม์ถูกทำลาย ทำให้โครงสร้างโปรตีนในชั้นที่สามและสี่เสียสภาพ แต่การเสียสภาพนี้สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ (Reversible denaturation) แม้จะต้องใช้เวลานานในการฟื้นฟูโครงสร้างที่เสียหาย ในขณะที่การใช้ความดันในระดับปานกลาง (150-300 MPa) จะทำลายพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิกในโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเสียสภาพแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible denaturation) ทำให้โปรตีนและเอนไซม์สูญเสียคุณสมบัติทางชีวเคมีและฟังก์ชันที่สำคัญต่อการทำงานของเซลล์และกระบวนการต่างๆ ในร่างกาย ขณะที่พันธะโควาเลนต์ในโครงสร้างขั้นปฐมภูมิของโปรตีนจะไม่ถูกทำลายโดยความดันในระดับนี้

ความแตกต่างในการตอบสนองของโปรตีนและเอนไซม์ต่อความดันในระดับต่างๆ ซึ่งเป็นข้อสำคัญในการพิจารณาการใช้เทคโนโลยีความดันสูงในการแปรรูปอาหารหรือกระบวนการอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโปรตีนและเอนไซม์ โดยต้องเลือกใช้ระดับความดันที่เหมาะสมตามลักษณะของโปรตีนและเอนไซม์ที่ต้องการรักษาหรือทำลาย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการรักษาคุณภาพหรือการฆ่าเชื้อ (Srinivas et al., 2018) การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน

เนื่องจากความดันส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ และโปรตีนเกิดการตกตะกอนจนเกิดเป็นเจลขึ้นได้

2.5.1.3 ไขมัน

ไขมันที่เป็นของเหลวจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งเมื่อได้รับความดันสูง ไขมันจะเกิดผลึกได้ง่ายขึ้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์ทำให้อุณหภูมิของจุดหลอมเหลวเพิ่มสูงขึ้น

2.5.1.4 คาร์โบไฮเดรต

เมื่อได้รับความดันสูง โครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตจะเปลี่ยนแปลง ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดเจลลดในซึ่ลดลง เมื่อแบ่งเกิดเจล อะไมโลสจะไม่หลุดออกจากเม็ดแป้งง่ายๆ ทำให้เจลที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายครีม (Creamy) ต่างจากเจลที่เกิดจากการให้ความร้อน เม็ดแป้งจะพองตัวได้ง่ายขึ้น ซึ่งช่วยให้เอนไซม์อะไมเลสย่อยแป้งได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดรสหวานมากขึ้น

2.5.1.5 วิตามินและเกลือแร่

ความทนทานของโมเลกุลวิตามินและเกลือแร่ต่อความดันสูงในช่วง 400-600 MPa ที่อุณหภูมิปานกลาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิตามินหลายชนิด เช่น วิตามินซี วิตามินเอ วิตามินอี ไนอะซิน ฟีนอล และแอนโทไซยานิน มีความคงทนและไม่ถูกทำลายภายใต้สภาวะนี้ ความทนทานนี้ทำให้การใช้เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง (HPP) สามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการของวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ไว้ได้ดี โดยไม่สูญเสียประสิทธิภาพเหมือนกับการใช้ความร้อน

ในทางตรงกันข้าม การใช้ความร้อนสูงสามารถทำลายวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระได้ เนื่องจากความร้อนสามารถทำลายโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเหล่านี้ได้ ซึ่งอาจทำให้สารอาหารสูญเสียคุณค่าไป การแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการรักษาคุณค่าสารอาหารที่บอบบางจากความร้อน เช่น วิตามินและฟีนอลต่างๆ

2.5.1.6 กลิ่นรส

การใช้ความดันสูงในกระบวนการแปรรูปอาหารมีผลดีในการรักษาคุณสมบัติของอาหาร เช่น สี รสชาติ และกลิ่น เนื่องจากความดันสูงจะไม่มีผลต่อพันธะโควาเลนต์ในโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของสารให้สี รสชาติ และกลิ่นในอาหาร เช่น ฟีนอล แอนโทไซยานิน และสารประกอบอื่นๆ ที่มีความสำคัญในการให้ลักษณะเฉพาะของอาหาร ความสามารถของความดันสูงในการรักษาพันธะโควาเลนต์นี้ทำให้อาหารสามารถคงลักษณะที่สดใหม่ไว้ได้ ดีกว่าการใช้ความร้อน เนื่องจากความร้อนสูงมักจะทำให้สารอาหารบางประเภทถูกทำลายหรือ

เปลี่ยนแปลงไป ทำให้กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงช่วยรักษากลิ่น รสชาติ และคุณภาพของอาหารไว้ได้เป็นอย่างดี ไม่เพียงแต่เพิ่มอายุการเก็บรักษา แต่ยังช่วยให้อาหารยังคงรสชาติที่สดใหม่และมีลักษณะที่น่ารับประทาน ซึ่งเหมาะสมกับผู้บริโภคที่ต้องการอาหารที่มีรสชาติและคุณภาพสูงโดยไม่ต้องพึ่งพาการใช้สารเคมีหรือกระบวนการความร้อนที่อาจมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของอาหาร

2.5.1.7 เนื้อสัมผัส

การใช้ความดันสูงในการแปรรูปเนื้อสัตว์ดิบจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างโปรตีนไมโอไฟบริลของกล้ามเนื้อ โดยช่องว่างระหว่างไมโอไฟบริลจะลดลง ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์มีความแน่นขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเนื่องจากความดันสูงทำให้โปรตีนเกิดการยุบตัวและมีการปรับโครงสร้างใหม่ที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อสัตว์

ในขณะเดียวกัน การให้ความร้อนแก่เนื้อสัตว์จนสุกจะช่วยให้โปรตีนในเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกครั้ง ซึ่งทำให้เนื้อสัตว์มีความนุ่มมากขึ้นและสูญเสียให้น้ำน้อยกว่าการไม่ใช้ความดันสูงก่อนการให้ความร้อน การใช้ความดันสูงรวมกับการให้ความร้อนช่วยรักษาความชุ่มชื้นและลดการสูญเสียจากเนื้อสัตว์ จึงทำให้เนื้อสัตว์มีความนุ่มและมีรสชาติที่ดีกว่า

ข้อดีของการใช้ความดันสูงในการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัตว์ ทั้งในแง่ของการรักษาเนื้อสัมผัสให้แน่นและการลดการสูญเสียเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งช่วยให้เนื้อสัตว์มีคุณภาพดีขึ้นและมีรสชาติที่ถูกใจผู้บริโภคมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อสัตว์และเพิ่มความสะดวกในการเตรียมอาหาร (P. Meinschmidt et al., 2017; Mozhaev et al., 1996; Stute et al., 1996)

2.6 เอนไซม์ (Enzyme)

เอนไซม์คือโปรตีนที่เสริมหรือเร่งปฏิกิริยาทางเคมี กระบวนการนี้เรียกว่าการเร่งปฏิกิริยา และเอนไซม์ซึ่งจะช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาเคมี ในปฏิกิริยาของเอนไซม์โมเลกุลที่อยู่จุดเริ่มต้นของปฏิกิริยาเรียกว่าซับสเตรต เอนไซม์จะเปลี่ยนซับสเตรตให้เป็นโมเลกุลต่างๆ ที่เรียกว่า ผลิตภัณฑ์ กระบวนการทั้งหมดในธรรมชาติต้องใช้เอนไซม์จึงจะเกิดในอัตราที่สำคัญ เอนไซม์ถูกเลือกสำหรับซับสเตรต ดังนั้นจึงกระตุ้นปฏิกิริยาเพียงไม่กี่อย่างจากความเป็นไปได้ต่างๆ มากมาย เช่นเดียวกับตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ (Van Oort, 2009) เอนไซม์สามารถจำแนกตามชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่เร่งปฏิกิริยา มีการจัดกลุ่มเอนไซม์ 6 กลุ่มดังนี้

EC 1 Oxidoreductases : เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน/ปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งโดยทั่วไปเกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอน

EC 2 Transferases : ถ่ายโอนหมู่ฟังก์ชัน (เช่น หมู่เมทิลหรือฟอสเฟต) ซึ่งโดยทั่วไปเกี่ยวข้องกับถ่ายโอนอนุมูล

EC 3 Hydrolases : เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพันธะต่างๆ ปฏิกิริยาไฮโดรเลสโดยทั่วไปเกี่ยวข้องกับการเติมหรือการกำจัดน้ำ

EC 4 Lyase: แยกพันธะต่างๆ ด้วยวิธีอื่นนอกเหนือจากไฮโดรไลซิสและออกซิเดชัน ปฏิกิริยานี้เกี่ยวข้องกับการแตกตัวหรือสร้างพันธะ C-C

EC 5 Isomerase: กระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของไอโซเมอร์เชิงซ้อนภายในโมเลกุลเดี่ยว และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปทรงหรือโครงสร้างของโมเลกุล

EC 6 Ligases: เชื่อมต่อสองโมเลกุลด้วยพันธะโควาเลนต์

2.6.1 เอนไซม์โปรติเอส (Protease)

เอนไซม์โปรติเอส (Protease) คือ เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีน ซึ่งพบได้มากมายในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ เอนไซม์กลุ่มนี้มีหลายชนิดที่แตกต่างกันในหลายลักษณะ เช่น ความจำเพาะของสับสเตรต (สารตั้งต้น) กลไกในการเร่งปฏิกิริยา ลักษณะของบริเวณที่ทำการเร่งปฏิกิริยา รวมไปถึงสารยับยั้งและสารที่ช่วยเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ เอนไซม์โปรติเอสยังแตกต่างกันในลำดับของกรดอะมิโนในโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล ช่วงของความเป็นกรด-ด่างที่สามารถทำงานได้ และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แต่ละชนิด (Abdel-Naeem & Mohamed, 2016) เอนไซม์โปรติเอส (EC 3.4.21.40) อยู่ในกลุ่มของ hydrolase ซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์พันธะเปปไทด์ โดยการสลายพันธะระหว่างกรดอะมิโนในโปรตีนหรือโพลีเปปไทด์ ทำให้โปรตีนหรือโพลีเมอร์ของกรดอะมิโนแตกตัวเป็นเปปไทด์ที่มีสายสั้นลง กระบวนการนี้เป็นส่วนสำคัญในระบบการย่อยสลายโปรตีนในร่างกาย ซึ่งช่วยให้กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายถูกปล่อยออกมาและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างและซ่อมแซมส่วนต่างๆ ของร่างกาย (Rovenský, Stančíková, Švík, Bauerová, & Jurčovičová, 2011) เอนไซม์โปรติเอสที่ได้รับความนิยมในการผลิตและใช้งานอย่างแพร่หลาย ได้แก่ เอนไซม์ปาเปน (Papain) ซึ่งได้จากยางมะละกอ และ เอนไซม์โบรมิเลน (Bromelain) ซึ่งได้จากสับปะรด ทั้งสองเอนไซม์นี้มีคุณสมบัติในการย่อยสลายโปรตีนและสามารถใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องสำอาง, การผลิตผลิตภัณฑ์ย่อยโปรตีน, รวมถึงการใช้ในยาและเครื่องสำอาง โดยเอนไซม์เหล่านี้มีคุณสมบัติในการสลายพันธะเปปไทด์ และช่วยในการย่อยโปรตีนให้เป็นโพลีเปปไทด์หรือกรดอะมิโนที่มีขนาดเล็กลง

2.6.1.1 ปาเปน หรือเอนไซม์ปาเปน (Papain)

ปาเปน (Papain) เป็นเอนไซม์โปรตีเอสที่พบมากในยางมะละกอ โดยสามารถพบได้ในส่วนของใบ ก้าน และผลดิบของมะละกอ โดยสายพันธุ์ที่สามารถผลิตนาเยางสดได้สูง ได้แก่ สายพันธุ์จำปาด้าและแขกดำ ปาเปนมีรหัส EC number คือ EC 3.4.22.2 และมีความสามารถในการย่อยสลายโปรตีนได้ดีในสภาวะที่เป็นกลางในช่วงพีเอช 6.0 – 7.5 เมื่อปาเปนเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโปรตีน จะทำให้โปรตีนหรือโพลีเปปไทด์ที่มีขนาดใหญ่แตกตัวเป็นโพลีเปปไทด์ขนาดเล็กและกรดอะมิโนอิสระจำนวนมาก ซึ่งเป็นประโยชน์ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร การผลิตเครื่องดื่ม และการผลิตผลิตภัณฑ์จากโปรตีนต่างๆ (Kristinsson, 2007) เอนไซม์ปาเปน (Papain) ได้รับการนำมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เนื่องจากคุณสมบัติในการย่อยโปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถใช้ในหลายกระบวนการผลิต เช่น การทำให้เครื่องดื่มใส การทำให้เนื้อสัตว์มีความนุ่ม การฟอกหนังให้นุ่ม ในด้านอาหาร เอนไซม์ปาเปนมีประโยชน์ในการ ย่อยสลายโปรตีน ที่อยู่ในอาหาร ซึ่งส่งผลให้ร่างกายสามารถดูดซึมกรดอะมิโนได้ดีขึ้น โดยทำให้โปรตีนแตกตัวเป็นกรดอะมิโนและโพลีเปปไทด์ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งช่วยให้การย่อยและการดูดซึมในระบบทางเดินอาหารมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Erdmann, Cheung, & Schröder, 2008)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ (P. Meinlschmidt et al., 2017) การย่อยด้วยเอนไซม์ที่ช่วยในการแปรรูปด้วยแรงดันสูง – แนวทางใหม่ในการลดการตอบสนองภูมิคุ้มกันของถั่วเหลือง พบว่าถั่วเหลือง (Glycine max (L.) MERR.) ได้รับการยอมรับว่าเป็นสารก่อภูมิแพ้ในอาหารที่มีศักยภาพซึ่งก่อให้เกิดอาการแพ้อาหารที่พบบ่อยที่สุดชนิดหนึ่งทั่วโลก ผลของกระบวนการแรงดันสูง (HPP) ก่อนและระหว่างการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์โดยใช้การเตรียมเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อระดับการไฮโดรไลซิส (DH) การกระจายน้ำหนักโมเลกุล (SDS-PAGE) และการตอบสนองภูมิคุ้มกันของ β -conglycinin (Gly m5) ของโปรตีนไอโซเลตจากถั่วเหลือง (SPI) ได้รับการศึกษา การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ดำเนินการที่ความดันบรรยากาศ (0.1 MPa) และ HPP (100–600 MPa) ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 15 นาที ความดันที่สูงกว่า 300 MPa จะทำให้ Gly m5 สลายตัวได้ดีขึ้น ซึ่งได้รับการยืนยันโดยการวิเคราะห์ SDS-PAGE และ LC-MS/MS การตอบสนองภูมิคุ้มกันของตัวอย่างได้รับการประเมินโดยวิธี ELISA แบบแซนด์วิชในหลอดทดลองโดยใช้แอนติบอดีโมโนโคลนอลต่อ Gly m5 ของหนู ขึ้นอยู่กับแอนติบอดีที่ทดสอบ ปฏิกิริยาภูมิคุ้มกันที่เหลืองจะถูกยับยั้ง

อย่างสมบูรณ์หรือลดลงอย่างมีนัยสำคัญถึง 99.5% โดยใช้ HPP ในระหว่างการไฮโดรไลซิสที่ 400 และ 500 MPa โดยอาศัยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก กลิ่นฉุนและกลิ่นเขียวที่เป็นลักษณะเฉพาะของ SPI ที่ยังไม่ได้แปรรูปสามารถลดลงได้โดยการไฮโดรไลซิสที่เพิ่มแรงดันที่ 400–500 MPa ไฮโดรไลเซตที่ได้จะมีความสามารถในการละลายโปรตีนที่ดีขึ้น กิจกรรมการเกิดฟองและความสามารถในการจับน้ำมันที่ดีขึ้น ซึ่งดีขึ้น 45%, 66% และ 210% ตามลำดับ HPP ก่อนและระหว่างการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ที่ 400–500 MPa ถือเป็นแนวทางใหม่สำหรับการผลิตส่วนผสมอาหารที่มีสารก่อภูมิแพ้ต่ำที่ผสมผสานรสชาติที่ดีและคุณสมบัติการทำงานที่เพิ่มขึ้น

การศึกษาเรื่องการบำบัดด้วยเอนไซม์ของโปรตีนถั่วเหลืองแยก: ผลกระทบต่อสารก่อภูมิแพ้ที่อาจเกิดขึ้น การทำงานทางเทคนิค และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ของ (Pia Meinschmidt, Sussmann, Schweiggert-Weisz, & Eisner, 2016) โดยการศึกษาขั้นนี้ศึกษาการลดสารก่อภูมิแพ้หลักในถั่วเหลืองด้วยเอนไซม์ในโปรตีนแยกจากถั่วเหลืองโดยใช้โปรตีเอสเกรดอาหารต่างๆ ในขณะที่ยังคงรักษาหรือปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและคุณสมบัติทางเทคโนโลยี การวิเคราะห์ SDS-PAGE แสดงให้เห็นว่าการไฮโดรไลซิสด้วย Alcalase, Pepsin และ Papain มีประสิทธิภาพสูงสุดในการย่อยสลายสารก่อภูมิแพ้หลักในถั่วเหลืองที่มีกิจกรรมการย่อยสลายโปรตีน 100%, 100% และ 95.9% ตามลำดับ ในระหว่างการไฮโดรไลซิส ระดับของการไฮโดรไลซิสเพิ่มขึ้น และ Alcalase แสดงระดับการไฮโดรไลซิสสูงสุด (13%) ในบรรดาโปรตีเอสที่ทดสอบ การวิเคราะห์ DSC ยืนยันการย่อยสลายของสารก่อภูมิแพ้หลักในถั่วเหลือง การทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ดำเนินการโดยคณะผู้เชี่ยวชาญ 10 คน พิจารณาถึงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยรวมที่ดีขึ้น รวมถึงความขมของไฮโดรไลเซตแต่ละชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Flavourzyme และ Papain น่าดึงดูดใจเนื่องจากรสขมที่เด่นชัดน้อยลงและโปรไฟล์ทางประสาทสัมผัสที่ดีขึ้น (กลิ่น รสชาติ ความรู้สึกในปาก) คุณสมบัติทางเทคนิคแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการละลายที่ดีที่ pH 7.0 และ 4.0 ความสามารถในการทำอิมัลชันสูงถึง 760 มล. g⁻¹ (Flavourzyme) เช่นเดียวกับการความสามารถในการจับน้ำมันที่ดีขึ้น ในขณะที่คุณสมบัติในการจับน้ำลดลงโดยทั่วไป พบว่ากิจกรรมการเกิดฟองเพิ่มขึ้นสำหรับโปรตีเอสทั้งหมดสูงถึง 3,582% (เปปซิน) ในขณะที่พบว่าความเสถียรของการเกิดฟองและความหนาแน่นลดลง ไฮโดรไลเซตอาจใช้เป็นส่วนผสมที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ได้เนื่องจากคุณสมบัติทางเทคนิคที่ได้รับการปรับปรุงและมีรสชาติที่น่าพึงพอใจ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1. ถั่วลายเสือ (Tiger Peanuts) จังหวัดแม่ฮ่องสอน
2. โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลต (Soy Protein Isolate)
3. เอนไซม์ปาเปน (Papain Enzyme) (Amano Enzyme Inc., Papain W-40, Japan)

3.1.2 สารเคมี

1. G024SH Sodium Hydroxide Solution 50%
2. G036HA Hydrochloric acid 35%

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) (France Etuves, XUE058, France)
2. เครื่องสกัดไขมัน (soxhlet extraction) (BUCHI, FatExtractor E-500, Vietnam)
3. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (kjeldahl) (BUCHI, KjelFlex K-360, France)
4. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)
5. เครื่องสกัดน้ำมัน (oil extraction) (Panyachemi, B01, Thailand)
6. เครื่องแปรรูปอาหารด้วยเทคโนโลยีความดันสูง (high pressure processing) (KFHPP, HPP300MPa, Chinese)
7. เครื่องวัดสี (colorimeter) (HunterLab, ColorFlex EZ Spectrophotometer, France)
8. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) (Eutech-Mettler, pH510/pH700)
9. เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) (Brookfield, DV2T)
10. อุปกรณ์และเครื่องแก้ว food grade
11. อุปกรณ์เครื่องครัว

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมและทัศนคติของกลุ่มผู้บริโภค generation z เพื่อนำไปสู่การออกแบบแนวคิดผลิตภัณฑ์ จากนั้นมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนให้ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค และศึกษาคุณภาพในด้านต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.2.1 ศึกษาพฤติกรรมและทัศนคติของกลุ่มเป้าหมาย

3.2.1.1 การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคด้วยวิธีการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ(Qualitative research)

การใช้เทคนิคการสัมภาษณ์แบบเชิงลึกรายบุคคล (In-depth interview) การค้นหาความต้องการเชิงลึกของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีนจากพืช ด้วยเทคนิคการสัมภาษณ์เชิงลึกรายบุคคล (In-depth interview) จะใช้คำถามปลายเปิดเพื่อให้ผู้ถูกสัมภาษณ์ได้มีโอกาสแสดงความคิดเห็น โดยมีหัวข้อคำถามเพื่อให้ทราบข้อมูลทั่วไป ทัศนคติ ประสิทธิภาพ และพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีนจากพืช ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อ และข้อเสนอแนะหรือสิ่งที่อยากให้ปรับปรุงเพิ่มเติม โดยเก็บข้อมูลจาก Gen Z ที่มีอายุตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป ที่พักอาศัยอยู่ในจังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 6-12 คน การเก็บข้อมูลใช้วิธีการสังเกตและจดบันทึกระหว่างการสนทนา และนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาวิเคราะห์ต่อไป

3.2.1.2 การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคและผู้ซื้อด้วยวิธีการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative research)

การศึกษาค้นหาความต้องการของผู้บริโภคและผู้ซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากพืช โดยผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการศึกษาประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1.การกำหนดขอบเขตของประชากรและขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร (Population) ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ กลุ่มคน Generation Z ที่มีอายุตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป ที่พักอาศัยอยู่ในจังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน

กลุ่มตัวอย่าง (Sampling) การกำหนดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย โดยผู้วิจัยใช้สูตรของ (Cochran, 1977) เพื่อกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยกำหนดสัดส่วนของประชากรที่ต้องการสุ่ม 15% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการคำนวณได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้เท่ากับ 196 ตัวอย่าง และสำรองเพื่อป้องกันความผิดพลาด 4 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงวิธีคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{จากสูตร } n = \frac{P(1-P)Z^2}{d^2}$$

กำหนดให้

n คือ จำนวนตัวอย่างที่ต้องการ

P คือ สัดส่วนของประชากรที่ผู้วิจัยต้องการสุ่ม (ในงานวิจัยนี้ กำหนด

สัดส่วนเป็น 0.15)

Z คือ ค่า Z ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.96

d คือ สัดส่วนค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้เกิดขึ้นได้ (ในงานวิจัยนี้กำหนดเป็น 0.05)

$$\text{แทนค่าในสูตร } n = \frac{P(1-P)Z^2}{d^2}$$

$$n = \frac{0.15(1-0.15)1.96^2}{0.05^2}$$

$$n = 196 \text{ ตัวอย่าง}$$

ดังนั้น จำนวนตัวอย่างที่ต้องการอย่างน้อย คือ 196 คน ทั้งนี้เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการตอบแบบสอบถามไม่ครบถ้วนสมบูรณ์และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำในการวิเคราะห์มากขึ้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 200 คน

2.การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยได้พัฒนาจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการใช้เทคนิคการสัมภาษณ์แบบเชิงลึกรายบุคคล (In-depth interview) ซึ่งขั้นตอนการสร้างแบบสอบถาม มี 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพโดยใช้เทคนิคการสัมภาษณ์เชิงลึกรายบุคคล (In-depth interview) เพื่อรวบรวมประเด็นสำคัญเกี่ยวกับความต้องการของผู้บริโภค และผู้ซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากพืช นำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาวิเคราะห์ต่อไป

2. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและข้อมูลเชิงคุณภาพและจัดทำแบบสอบถาม

3. นำแบบสอบถามไปเก็บรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างให้ครบตามจำนวนที่กำหนด จำนวน 200 ชุด

3.เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ แบบสอบถาม ซึ่งผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภค แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับ เพศ อายุ สถานภาพ อาชีพ รายได้ และระดับการศึกษา โดยลักษณะแบบสอบถามประกอบด้วยคำถามที่มีหลายคำตอบให้เลือก (Multiple Choices Question) จำนวน 3 ข้อ

ส่วนที่ 2 เป็นการสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากพืชของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วยคำถามที่มีหลายคำตอบให้เลือก (Multiple Choices Question) จำนวน 13 ข้อ

ส่วนที่ 3 เป็นการสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยและทัศนคติในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากพืชของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วยแบบสอบถามที่มีลักษณะมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ลักษณะเป็นแบบ Likert Scale มี 5 ระดับ และใช้ระดับการวัดข้อมูลประเภทอันตรภาคชั้น (Interval Scale) จำนวน 22 ข้อ ซึ่งมีการแบ่งเกณฑ์ให้คะแนน ได้แก่

มากที่สุด	เกณฑ์การให้คะแนน	5	คะแนน
มาก	เกณฑ์การให้คะแนน	4	คะแนน
ปานกลาง	เกณฑ์การให้คะแนน	3	คะแนน
น้อย	เกณฑ์การให้คะแนน	2	คะแนน
น้อยที่สุด	เกณฑ์การให้คะแนน	1	คะแนน

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะอื่นๆ เป็นคำถามปลายเปิด (Open Ending)

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) โดย เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการตอบแบบสอบถาม จากกลุ่มผู้บริโภค กลุ่มเป้าหมาย จำนวน 196 คน โดยการสุ่มตัวอย่างแบบสุ่มง่าย (Simple Random Sampling) จากการแจกแบบสอบถาม ผู้บริโภค กลุ่มเป้าหมาย จำนวน 196 ชุด และได้แบบสอบถามที่มีคำตอบสมบูรณ์

5. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS นำข้อมูลมาวิเคราะห์สถิติด้านโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป โดยวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) นำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากพืชต่อไป

3.2.2 ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อสมบัติของถั่วลายเสือ

3.2.2.1 เตรียมวัตถุดิบถั่วลิสงลายเสือ

ถั่วลายเสือ (Tiger Peanut) หรือถั่วลิสงพันธุ์กัฟสินธุ์ 2 จากจังหวัดแม่ฮ่องสอน อำเภอปาย โดยฤดูกาลเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม เก็บเกี่ยวตามอายุ ในช่วง

100-120 วันนับจากวันเพาะปลูก ทำการเตรียมถั่วลายเสือโดยการแกะออกจากฝัก และคัดเมล็ดเสียออก

ก.ผงกากถั่วลายเสือดิบ (RAW_PEA)

เมล็ดของถั่วลายเสือดิบ นำไปสกัดน้ำมันออกด้วยเครื่องสกัดน้ำมัน จะได้ น้ำมันและกากถั่วลายเสือ นำกากถั่วลายเสือมาปั่นให้เป็นผง จากนั้นร่อนด้วยตะแกรงร่อน 60 mesh เพื่อให้ได้ผงกากถั่วลายเสือดิบ (RAW_PEA)

ข.ผงกากถั่วลายเสือคั่ว (ROS_PEA)

เมล็ดถั่วลายเสือดิบ คั่วด้วยกระทะไฟฟ้า รุ่น Simplus 1.5L โดยใช้ไฟระดับที่ 2 เป็นเวลา 10 นาที นำไปสกัดน้ำมันออกด้วยเครื่องสกัดน้ำมัน จะได้น้ำมันกากถั่วลายเสือ นำกากถั่วลายเสือมาปั่นให้เป็นผง จากนั้นร่อนด้วยตะแกรงร่อน 60 mesh เพื่อให้ได้ผงกากถั่วลายเสือคั่ว (ROS_PEA)

ค.ผงกากถั่วลายเสือ autoclave (CLAV_PEA)

เมล็ดถั่วลายเสือดิบ ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนในเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศา เป็นเวลา 15 นาที นำไปสกัดน้ำมันออกด้วยเครื่องสกัดน้ำมันจะได้น้ำมันกากถั่วลายเสือ นำกากถั่วลายเสือมาปั่นให้เป็นผง จากนั้นร่อนด้วยตะแกรงร่อน 60 mesh เพื่อให้ได้ผงกากถั่วลายเสือ autoclave (CLAV_PEA)

3.2.2.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของผงกากถั่วลายเสือ

ก.ปริมาณความชื้น (Moisture content)

การหาปริมาณความชื้น ดัดแปลงจากวิธี (AOAC, 2000) โดยชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ลงใน moisture can ที่อบแห้ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน นำ moisture can ที่บรรจุตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อบตัวอย่างซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้งติดกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม) คำนวณหาปริมาณความชื้นและ Total solid ในสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

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

ข.ปริมาณไขมัน (Fat content)

การสกัดไขมันดำเนินการโดยใช้วิธีการสกัดแบบ Soxhlet (AOAC, 2000) โดยมี Hexane เป็นตัวทำละลาย หลังจากการระเหยของตัวทำละลาย เเรชิดิวถูกทำให้แห้งที่ 105°C จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ เนื้อหาได้มาจากความแตกต่างของน้ำหนักโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

ค.ปริมาณโปรตีน (Protein content)

การตรวจวัดโปรตีนด้วย Kjeldahl method (AOAC, 2000) The crude protein content was calculated using a conversion factor of 6.25 ตามสูตรด้านล่าง

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(HCl \text{ ตัวอย่าง} - HCl \text{ blank}) \times 1.4 \times 6.25}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ง.การวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็น (Essential amino acid)

วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนตามวิธีการของ (Kaspar et al., 2009) โดยใช้เครื่อง Amino acid Analyzer รุ่น Hitachi - LA8080 AminoSAAYA, Reagent ที่ใช้คือ Ninhydrin Solution และ Buffer for Amino acid Analyzer

3.2.2.3 ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของผงกากถั่วลายเสือ

ก.ค่าการละลาย (Solubility)

สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายโดยใช้วิธีของ (Saikia, Mahnot, & Mahanta, 2015) ตัวอย่าง 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร สารละลายถูกกวนเป็นเวลา 30 นาที สารละลายถูกกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้หลังจากการกรองปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ตะกอนที่ได้ทั้งหมดถูกนำไปอบแห้งเพื่อหาน้ำหนักตะกอนทั้งหมด ความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยคำนวณในสมการหาค่าการละลายในสมการนี้

$$\text{การละลาย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักตะกอนหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

ข.คุณสมบัติการเกิดโฟม (Foam properties)

การวิเคราะห์คุณสมบัติการเกิดโฟม (OUPPAMA & MAHAYOTHEE, 2022) เตรียมสารละลายตัวอย่าง 30 มิลลิลิตร (V0) โดยเตรียมตัวอย่างต่อน้ำ 3:30 w/v ใส่กระบอกตวงปริมาตร 50 มิลลิลิตร สารละลายถูกกวนที่ 20,000 rpm เป็นเวลา 1 นาทีด้วยเครื่องปั่นโฮมจีในเซอร์วัดปริมาตรทั้งหมดทันทีหลังกวน (A1) และปริมาตรหลังจากผ่านไป 30 นาที (A0) นำค่าที่ได้มีคำนวณค่าการขยายตัวของโฟม (Foam Expansion, FE) และค่าความคงตัวของโฟม (Foam Stability, FS) ในสมการ

$$\text{Foam Expansion (\%)} = \frac{A1 - V0}{V0} \times 100$$

$$\text{Foam Stability (\%)} = \frac{A0}{A1} \times 100$$

ค.คุณสมบัติของอิมัลชัน (Emulsion properties)

การวิเคราะห์คุณสมบัติของอิมัลชัน (Pearce & Kinsella, 1978) ตัวอย่าง 10 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ผสมสารละลายตัวอย่าง 15 มิลลิลิตร และน้ำมันถั่ว

เหลือง 5 มิลลิลิตร แล้วทำให้เป็นอิมัลชันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความเร็วสูงที่ 10,000 rpm เป็นเวลา 2 นาที อิมัลชัน 50 ไมโครลิตรถูกดูดจากด้านล่างและเจือจาง 100 เท่าด้วยสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) 0.1% (w/v) จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้มีค่านวนค่าดัชนีการออกฤทธิ์ของอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsion Activity Index, EAI) และค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion Stability Index, ESI) ในสมการ

$$EAI (\%) = 2(2.303) \frac{abs\ 0\ min \times 100}{\%protein \times 0.25 \times 10,000} \times 100$$

$$ESI (min) = \frac{abs\ 0\ min}{abs\ 0\ min - abs\ 10\ min} \times 100$$

ง.การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (Total antioxidant activity)

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH วิเคราะห์โดยใช้วิธีทดสอบของ (Katsube et al., 2004)

3.2.3 ศึกษาอิทธิพลของการใช้แรงดันสูง (high pressure processing) ร่วมกับเอนไซม์ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

3.2.3.1 การเตรียมโปรตีนถั่วลายเสือไอโซเลท

ขั้นตอนการสกัดโปรตีน ดัดแปลงจากวิธีของ (Pia Meinlschmidt et al., 2016; Wagner, Sorgentini, & Añón, 2000) โดยนำผงกากถั่วลายเสือหรือ ROS_PEA มากวนในน้ำอัลคาไลน์ หรือน้ำกลั่นที่ปรับ pH เป็น 8.0 (1:8 w/v) ด้วย 3 mol/L NaOH เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วย 3 mol/L HCl ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5600 rpm เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C จากนั้นนำโปรตีนที่ตกตะกอนมาทำให้เป็นกลางด้วย 3 mol/L NaOH แล้วนำไปทำแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อน ใช้อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง ปั่นให้เป็นผง ร่อนผงผ่านตะแกรง 60 mesh จะได้โปรตีนถั่วลายเสือไอโซเลท (TPI)

3.2.3.2 การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ของโปรตีนถั่วลายเสือไอโซเลท (TPI)

การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ของ (TPI) ดำเนินการกับเอนไซม์ปาเปน ดัดแปลงจากวิธีของ (P. Meinlschmidt et al., 2017; Pia Meinlschmidt et al., 2016) โดย TPI ถูกกระจายตัวใน น้ำกลั่น (5%, w/v) เป็นเวลา 1 นาที เตรียมเอนไซม์ปาเปนที่ E/S 0.05% และ 0.2% w/v เติมน้ำใน TPI ปรับ pH ให้เป็น 7.0 ด้วย 3 mol/L NaOH ที่อุณหภูมิ 80 °C หลังจากเติมเอนไซม์ของผสมจะถูกกวนเพื่อรักษอุณหภูมิและค่า pH ที่เหมาะสมของเอนไซม์ นำของผสมมาบรรจุใส่

ถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ โดยบรรจุสุญญากาศ นำไปอัดแรงดันที่ 100, 200 และ 300 MPa เป็นเวลา 15 นาทีที่อุณหภูมิ 50 °C

การจัดการความดันดำเนินการโดยใช้อุปกรณ์ HPP ระดับห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ KFHP รุ่น HPP300MPa บริษัท BaoTou KeFa High Pressure Technology จำกัด ประเทศจีน โดยมีภาชนะรับความดันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. และสูง 254 มม.

การเตรียมตัวอย่างควบคุม การกระจายตัวของ TPI หนึ่งชุดยังคงได้รับแรงดันที่ 100, 200 และ 300 MPa เป็นเวลา 15 นาที โดยไม่เติมเอนไซม์ (enzyme 0%) เพื่ออธิบายผลของความดันเพียงอย่างเดียว และการกระจายตัวของ TPI อีกหนึ่งชุด เอนไซม์ปาเปนที่ E/S 0.05% และ 0.2% w/v เติมลงใน TPI ปรับ pH ให้เป็น 7.0 ด้วย 3 mol/L NaOH ที่อุณหภูมิ 80 °C แต่ไม่นำไปอัดแรงดัน

หลังจากการบำบัดของ HPP ตัวอย่างทั้งหมดถูกทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ปั่นให้เป็นผง ร่อนผงผ่านตะแกรง 60 mesh

หมายเหตุ อ้างอิงการเลือกระดับแรงดันจากเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ใช้กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงจากสำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ฉบับวันที่ 5 กันยายน 2562 จากนั้นเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 2-4 °C ตาราง 2 การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ของโปรตีนถั่วลายเสือไอโซเลต

สิ่งทดลอง	High Pressure Processing	Enzyme
1	0	0%
2	100	0%
3	200	0%
4	300	0%
5	0	0.05%
6	100	0.05%
7	200	0.05%
8	300	0.05%
9	0	0.20%
10	100	0.20%
11	200	0.20%
12	300	0.20%

3.2.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วลายเสือ

ก. ค่าการละลาย

สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายโดยใช้วิธีของ (Saikia et al., 2015) ตัวอย่าง 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร สารละลายถูกกวนเป็นเวลา 30 นาที สารละลายถูกกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้หลังจากการกรองปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ตะกอนที่ได้ทั้งหมดถูกนำไปอบแห้งเพื่อหาน้ำหนักตะกอนทั้งหมด ความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยคำนวณในสมการหาค่าการละลายในสมการนี้

$$\text{การละลาย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักตะกอนแห้งอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

ข. สมบัติการเกิดโฟม

การวิเคราะห์คุณสมบัติการเกิดโฟม (OUPPAMA & MAHAYOTHEE, 2022) เตรียมสารละลายตัวอย่าง 30 มิลลิลิตร (V₀) โดยเตรียมตัวอย่างต่อน้ำ 3:30 w/v ใส่กระบอกตวงปริมาตร 50 มิลลิลิตร สารละลายถูกกวนที่ 20,000 rpm เป็นเวลา 1 นาทีด้วยเครื่องปั่นโฮโมจีไนเซอร์ วัดปริมาตรทั้งหมดทันทีหลังกวน (A₁) และปริมาตรหลังจากผ่านไป 30 นาที (A₀) นำค่าที่ได้มีคำนวณค่าการขยายตัวของโฟม (Foam Expansion, FE) และค่าความคงตัวของโฟม (Foam Stability, FS) ในสมการ

$$\text{Foam Expansion (\%)} = \frac{A_1 - V_0}{V_0} \times 100$$

$$\text{Foam Stability (\%)} = \frac{A_0}{A_1} \times 100$$

ค. สมบัติของอิมัลชัน

การวิเคราะห์คุณสมบัติของอิมัลชัน (Pearce & Kinsella, 1978) ตัวอย่าง 10 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ผสมสารละลายตัวอย่าง 15 มิลลิลิตร และน้ำมันถั่วเหลือง 5 มิลลิลิตร แล้วทำให้เป็นอิมัลชันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความเร็วสูงที่ 10,000 rpm เป็นเวลา 2 นาที อิมัลชัน 50 ไมโครลิตรถูกดูดจากด้านล่างและเจือจาง 100 เท่าด้วยสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) 0.1% (w/v) จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้มีคำนวณค่าดัชนีการออกฤทธิ์ของอิมัลชันไฟเออร์ (Emulsion Activity Index, EAI) และค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion Stability Index, ESI) ในสมการ

$$\text{EAI (\%)} = 2(2.303) \frac{\text{abs } 0 \text{ min} \times 100}{\% \text{protein} \times 0.25 \times 10,000} \times 100$$

$$ESI (min) = \frac{abs\ 0\ min}{abs\ 0\ min - abs\ 10\ min} \times 100$$

ง.ปริมาณโปรตีน

การตรวจวัดโปรตีนด้วย Kjeldahl method (AOAC, 2000) The crude protein content was calculated using a conversion factor of 6.25 ตามสูตรด้านล่าง

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(HCl\ \text{ตัวอย่าง} - HCl\ \text{blank}) \times 1.4 \times 6.25}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3.2.3.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ

ผลจากการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคในหัวข้อ 3.2.1 ทำให้ได้แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมจากถั่วลายเสือที่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภค generation z โดยใช้ข้อกำหนด Thai RDI ในเรื่องของค่าจำกัดความว่ามีโปรตีนสูง เงื่อนไข (ต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิง และต่อปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคที่แสดงบนฉลาก) คือมีสารอาหารนั้นอยู่ในปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 20 ของ Thai RDI ขึ้นไป โดยทางผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกสูตรจากการนำเอาวัตถุดิบธัญพืช ได้แก่ ถั่วลายเสือมาใช้เป็นส่วนประกอบ โดยอ้างอิงจากสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตในตารางที่ 3 และมีสูตรต่างๆ ดังตารางที่ 4

ตาราง 3 สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิต

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (กรัม)
น้ำนมข้าว	48.5
โปรตีนถั่วเหลือง	12
น้ำนมข้าวโอ๊ต	33.6
น้ำเชื่อม	5
สารให้ความคงตัว เช่น คาราจีแนน	0.15
เกลือ	0.2
กลินสังเคราะห์	0.5

ที่มา: ดัดแปลงจาก (เหมะธุฉิน, ริน, & เรืองทิพย์, 2023)

ตาราง 4 สูตรที่ใช้ในการศึกษา

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (กรัม)				
	สูตรที่ 1 (Control)	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
น้ำมันถั่วลายเสือ	94.65	78.65	78.65	78.65	78.65
โปรตีนถั่วลายเสือ	-	16	12	8	4
โปรตีนถั่วเหลืองไฮโซเลท	-	-	4	8	12
น้ำเชื่อม	5	5	5	5	5
สารให้ความคงตัว เช่น คาราจีแนน	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
เกลือ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

3.2.3.5 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ

ก. การเตรียมน้ำมันถั่วลายเสือ

นำถั่วลายเสือมาคัดแยกสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดเสียออก นำไปล้างทำความสะอาด จากนั้นนำถั่วไปแช่น้ำเป็นเวลา 16 ชั่วโมง เมื่อแช่น้ำครบ 16 ชั่วโมงแล้วนำมาล้างน้ำสะอาดอีกครั้ง จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยการนึ่ง 3 นาที นำถั่วที่ได้มาปั่นกับน้ำ โดยอัตราส่วนถั่วและน้ำเป็น 1:6 (w/w) กรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้น้ำมันจากถั่วลายเสือ

ข. การเตรียมเครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ

ตั้งน้ำมันถั่วลายเสือในหม้อให้เดือด ใส่ผงโปรตีนถั่วลายเสือและโปรตีนถั่วเหลืองลงไป จากนั้นเติมคาราจีแนนและเกลือ และเติมน้ำเชื่อมลงไป คนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ต้มจนอุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้ 15 วินาที บรรจุลงขวดแก้วที่ผ่านการต้มฆ่าเชื้อแล้ว ปิดฝาแล้วนำไปคว่ำในน้ำเย็น เพื่อให้เครื่องดื่มเย็นลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ได้ทันที

3.2.3.6 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีน

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบคือ นิสิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่มีการออกกำลังกายเป็นประจำ จำนวน 30 คน การทดสอบการยอมรับและความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) โดย 1 คือไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด โดยประเมินลักษณะปรากฏ (ความขุ่น/ใส), สี, รสชาติ (รสหวาน), กลิ่นรส (กลิ่นรสถั่ว), เนื้อสัมผัส (ความหนืด), และความชอบโดยรวม พร้อมกับการประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับทิศทางความพอดีของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ โดยใช้

สเกลวัดความพอดี (Just about right scale : JAR) สเกล 5 ระดับ เพื่อหาทิศทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ โดยประเมิน สี, กลิ่นรส (กลิ่นรสถั่ว), รสชาติ (รสหวานและขม), และเนื้อสัมผัส (ความหนืดและความรู้สึกภายในปาก/Body)

3.2.3.7 ศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของเครื่องดื่มโปรตีนทางด้านเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์

เก็บรักษาเครื่องดื่มโปรตีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิแช่เย็น (4-8°C) ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องดื่มโปรตีนด้านต่างๆ ทุกๆ 2 วันเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มโปรตีน ดังนี้

ก.คุณภาพทางกายภาพ

วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter

วิเคราะห์ความหนืด นำเครื่องดื่มโปรตีนปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer ที่อุณหภูมิไม่เกิน 8°C ด้วยหัววิเคราะห์แบบ UL adapter spindle โดยใช้ spindle 3 (เบอร์ 62) ที่ 25 rpm

ข.คุณภาพทางจุลินทรีย์

การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count, TPC) การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยใช้วิธีทดสอบของ FDA BAM online, 2001 (Chapter 3)

การวิเคราะห์จำนวนยีสต์และรา (Total yeasts and molds count, TYMC) การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยใช้วิธีทดสอบของ FDA BAM online, 2001 (Chapter 18)

3.2.3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับการทดสอบทางการภาพและเคมี และแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส และการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) โดยใช้คอมพิวเตอร์และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างโดยใช้ Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และระบุส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมและทัศนคติของกลุ่มเป้าหมาย

4.1.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคด้วยวิธีการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ(Qualitative research)

การศึกษานี้ศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคด้วยวิธีการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการสัมภาษณ์แบบเชิงลึกรายบุคคล (In-depth interview) เพื่อค้นหาความต้องการเชิงลึกของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีนจากพืช โดยมีหัวข้อคำถามเพื่อให้ทราบข้อมูลทั่วไป ทัศนคติ ประสิทธิภาพ และพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีนจากพืช ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อ และข้อเสนอแนะหรือสิ่งที่อยากให้ปรับปรุงเพิ่มเติม โดยเก็บข้อมูลจาก Gen Z ที่มีอายุตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป ที่ออกกำลังกายเป็นประจำ จำนวน 13 คน ตาราง 5 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ

ข้อมูลทั่วไป		จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ	ชาย	10	77.0
	หญิง	3	23.0
อายุ	20	1	8.0
	21	5	38.0
	22	5	38.0
	23	1	8.0
	24	1	8.0
จังหวัด	กรุงเทพฯ	6	46.0
	สมุทรปราการ	1	8.0
	ปทุมธานี	1	8.0
	นครนายก	4	31.0
	เชียงใหม่	1	8.0
อาชีพ	นักศึกษา	10	77.0
	พนักงานบริษัท	1	8.0
	เทรนเนอร์	1	8.0
	ว่างงาน	1	8.0

ในตารางที่ 6 ปัญหาสุขภาพและความกังวลด้านสุขภาพ ซึ่งปัญหาสุขภาพส่วนใหญ่ พบในกลุ่มคนที่ทำงานแล้ว โดยมีปัญหา เช่นปวดหลัง นอนไม่พอ ตื่นนอนแล้วไม่สดชื่น รับประทานข้าวไม่ตรงเวลา และไม่มีเวลาออกกำลังกายหรือดูแลสุขภาพ เนื่องจากหมดเวลาไปกับการทำงาน ซึ่งกลุ่มนักศึกษาจะมีเวลาในการดูแลสุขภาพมากกว่า ซึ่งส่วนใหญ่จะไม่ค่อยกังวลเรื่องสุขภาพ กลุ่มคนที่กังวลจะกังวลเรื่องของรูปร่าง ต้องการเพิ่มน้ำหนักหรือเพิ่มกล้ามเนื้อ

การดูแลสุขภาพส่วนใหญ่จะเน้นการออกกำลังกายและการควบคุมอาหาร โดยออกกำลังกาย 5-6 วันต่อสัปดาห์ ส่วนใหญ่เล่นฟิตเนส เวทเทรนนิ่ง เล่นกีฬา อย่างเช่น แบดมินตัน บาสเก็ตบอล วูวี่น้ำ วิ่ง เป็นต้น และนอกจากออกกำลังกาย ยังมีการควบคุมอาหารอีกด้วย โดยจะเน้นสารอาหารโปรตีน เช่น เน้นการรับประทานเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะไก่หรือการเพิ่มไข่ในเมนูอาหาร งดอาหารประเภทหวานหรืองดการรับประทานน้ำตาลที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย โดยปัจจัยในการเลือกซื้ออาหารส่วนใหญ่จะคำนึงถึงสารอาหารและแคลอรีก่อน โดยการรับประทานอาหารนั้นจะเน้นการรับประทานให้ครบ 3 มื้อ หากเป็นคนที่ต้องการเพิ่มน้ำหนัก จะใช้หลักการกินให้มากกว่าใช้

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเรื่องของทัศนคติ ประสพการณ์และพฤติกรรมการรับประทานอาหารจากพืช ผู้ตอบหลายคนมองว่าอาหารจากพืชเป็นอุตสาหกรรมใหม่ แปลกใหม่ น่าสนใจ น่าลอง เนื่องจากโปรตีนสูง แต่การดูดซึมของโปรตีนจากพืชยังไม่ได้เท่าผลิตภัณฑ์จากสัตว์ และรู้สึกไม่อร่อย ผิด รับประทานแล้วรับรู้ได้ว่าเป็นรสถั่ว โดยหากต้องการปรับปรุงอาหารจากพืช มีความคิดเห็นว่ารสชาติควรจะคล้ายผลิตภัณฑ์จากสัตว์และได้โปรตีนเทียบเท่า ซึ่งสอดคล้องกับผลในตารางที่ 7

ตาราง 6 ทศนคติต่อสุขภาพที่ดี

ทศนคติต่อสุขภาพที่ดี	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ความกังวลด้านสุขภาพ		
ไม่ค่อยกังวล	4	31.0
ต้องการเพิ่มน้ำหนัก/เพิ่มกล้ามเนื้อ	4	31.0
ต้องการลดน้ำหนัก	3	23.0
ต้องการพัฒนานาฏลีลาภาพ/ศัลยกรรม	2	15.0
ความถี่ในการออกกำลังกาย		
2 สัปดาห์ต่อครั้ง	2	15.0
3-4 วันต่อสัปดาห์	3	23.0
5-6 วันต่อสัปดาห์	7	54.0
ทุกวัน	1	8.0
การให้ความสำคัญกับอาหาร		
งดของหวาน/ของทอด	2	15.0
ลดไขมัน	3	23.0
เน้นโปรตีน	7	54.0
กินอาหารเสริมวิตามิน ไฟเบอร์	1	8.0
ปัจจัยในการเลือกซื้ออาหาร		
สารอาหาร แคลอรี	10	50.0
รูปลักษณะอาหารน่ารับประทาน	4	20.0
ราคา ความคุ้มค่า	6	30.0

จากตารางที่ 7 กลุ่มคนที่เคยรับประทานอาหารจากพืชมีประมาณ 62.0 สาเหตุที่เลิกรับประทานมีหลายสาเหตุ เช่น รับประทานแล้วไม่เห็นผล รู้สึกได้รับโปรตีนไม่เพียงพอ เนื่องจากโปรตีนดูดซึมช้า คิดเป็นร้อยละ 20.0 ไม่อร่อย รสชาติเผ็ดร้อน กลิ่นฉุนแรง คิดเป็นร้อยละ 50.0 และราคาสูง คิดเป็นร้อยละ 30.0 ทำให้หลายคนมีข้อเสนอแนะว่าหากเป็นเครื่องดื่มโปรตีน จะเลือกรับประทานเวย์โปรตีน เนื่องจากในราคาที่เท่ากันเวย์โปรตีนให้คุณภาพโปรตีนที่ดีกว่า ปริมาณที่มากกว่า จึงไม่มีความจำเป็นต้องหันไปรับประทานเครื่องดื่มจากพืช

ตาราง 7 ผลิตรภัณฑ์ plant-based protein

ผลิตรภัณฑ์ plant-based protein	จำนวน (คน)	ร้อยละ
รู้จักผลิตรภัณฑ์ plant-based หรือไม่		
รู้จัก	7	54.0
ไม่รู้จัก	6	46.0
เคยรับประทานผลิตรภัณฑ์ plant-based หรือไม่		
เคย	8	62.0
ไม่เคย	5	38.0
สาเหตุที่รับประทานผลิตรภัณฑ์ plant-based		
ต้องการโปรตีน	5	50.0
อยากลอง	5	50.0
สาเหตุที่ไม่รับประทานผลิตรภัณฑ์ plant-based ต่อ		
ปริมาณโปรตีนไม่ถึง	2	20.0
ไม่อร่อย	5	50.0
ราคาแพง	3	30.0

จากตารางที่ 8 ในเรื่องของรูปแบบผลิตรภัณฑ์โปรตีนขงดื่มที่สนใจ ผู้ตอบทั้งหมดมีความเห็นตรงกันคือสนใจรูปแบบผงขงดื่ม เนื่องจากสะดวกและพกพาง่าย คุ่มกว่ารูปแบบน้ำ และมีความสบายใจมากกว่า เนื่องจากผู้บริโภคมองว่ารูปแบบผงเป็นวัตถุดิบที่มีโปรตีนสูง แต่รูปแบบน้ำนั้นมีการเพิ่มส่วนผสมอื่นๆเพื่อให้เครื่องดื่มออกมารสชาติดี กลิ่นไม่แรง ทำให้เกิดความไม่สบายใจในส่วนผสมของเครื่องดื่มในรูปแบบน้ำ เนื่องจากไม่ทราบว่ามีส่วนผสมอะไรบ้าง และผ่านกระบวนการอะไรมาบ้าง และในความคิดเห็นต่อผลิตรภัณฑ์เครื่องดื่มในรูปแบบน้ำมีความเห็นเพิ่มเติมอีกว่า ขวดเครื่องดื่มที่ใช้แล้วทิ้งสร้างขยะมากกว่าเมื่อเทียบกับแก้วเวทที่สามารถใช้ซ้ำได้ ทำให้ผลิตรภัณฑ์รูปแบบน้ำมีราคาสูงกว่า ไม่คุ้มค่า คุณประโยชน์ไม่ดีเท่าผงโปรตีน ให้ค่าน้ำตาลสูง และเครื่องดื่มรูปแบบน้ำหมดอายุไวกว่ารูปแบบผง ทำให้ความคิดเห็นทั้งหมดสนใจที่รูปแบบผง แต่เครื่องดื่มในรูปแบบน้ำ มีข้อดีตรงที่เมื่อดื่มแล้วร่างกายสามารถนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์ได้เลย สะดวก ไม่ต้องเสียเวลาเตรียมเวทเอง

ตาราง 8 ผลิตรภัณฑ์เวย์โปรตีน

ผลิตรภัณฑ์เวย์โปรตีน	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เคยรับประทานผลิตรภัณฑ์เวย์โปรตีนหรือไม่		
เคย และยังรับประทานอยู่	9	69.0
เคย แต่เลิกรับประทานไปแล้ว	3	23.0
ไม่เคยรับประทาน	1	8.0
ปัจจัยที่ทำให้ตัดสินใจซื้อเวย์มารับประทาน		
ปริมาณสารอาหาร เช่นโปรตีน คาร์โบไฮเดรต	7	39.0
รูปแบบบรรจุภัณฑ์	1	6.0
แบรนด์ นวัตกรรม	3	17.0
มีมาตรฐาน ตรารับรองความปลอดภัย	5	28.0
ราคา ความคุ้มค่า	2	11.0
รูปแบบผลิตรภัณฑ์ที่สนใจ		
รูปแบบผง ชงดื่ม	13	100.0
รูปแบบน้ำ พร้อมดื่ม	0	0.0

4.1.2 การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคและผู้ซื้อด้วยวิธีการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative research)

การศึกษาพฤติกรรมและทัศนคติของกลุ่มผู้บริโภค generation z จำนวน 200 คน เพื่อนำไปสู่การออกแบบแนวคิดผลิตรภัณฑ์ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามที่ผู้วิจัยได้พัฒนาจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการใช้เทคนิคการสัมภาษณ์แบบเชิงลึกรายบุคคล โดยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัว

ส่วนที่ 2 พฤติกรรมการบริโภคผลิตรภัณฑ์ plant-based protein

ส่วนที่ 3 ปัจจัยและทัศนคติในการเลือกซื้อผลิตรภัณฑ์ plant-based protein

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะอื่นๆ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

จากตารางที่ 9 เพศของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 152 คน คิดเป็นร้อยละ 76.0 เพศชาย จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 23.5 และ LGBTQ+ จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 0.5 กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียน/นักศึกษามากที่สุด คือ 126 คน คิดเป็นร้อยละ 63.0

รองลงมา คือ ลูกจ้างเอกชน/พนักงานบริษัท จำนวน 48 คน คิดเป็นร้อยละ 24.0 และส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในกรุงเทพและปริมณฑล จำนวน 145 คน คิดเป็นร้อยละ 72.5 และอาศัยอยู่ในภาคกลางจำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 8.0

ตาราง 9 จำนวนและร้อยละข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	47	23.5
หญิง	152	76.0
LGBTQ+	1	0.5
รวม	200	100.0
อาชีพ		
นักเรียน/นักศึกษา	126	63.0
ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว	7	3.5
ลูกจ้างเอกชน/พนักงานบริษัท	48	24.0
ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	7	3.5
ว่างงาน	12	6.0
รวม	200	100.0
จังหวัดที่พักอาศัย		
ภาคเหนือ	6	3.0
ภาคกลาง	16	8.0
กรุงเทพและปริมณฑล	145	72.5
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	4	2.0
ภาคตะวันออก	9	4.5
ภาคตะวันตก	13	6.5
ภาคใต้	7	3.5
รวม	200	100.0

ส่วนที่ 2 พฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากตารางที่ 10 การให้ความสำคัญกับสุขภาพของผู้ตอบจะเห็นว่าส่วนใหญ่ยังไม่มีปัญหาสุขภาพใดๆ จำนวน 115 คน คิดเป็นร้อยละ 57.5 รองลงมาคือยังไม่มีโรคแต่มีความเสี่ยง จำนวน 33 คน คิดเป็นร้อยละ 16.5 ความกังวลในเรื่องของสุขภาพของตัวเอง ส่วนใหญ่กังวลเรื่องสุขภาพตัวเองเป็นบางครั้ง จำนวน 88 คน คิดเป็นร้อยละ 44.0 รองลงมากังวลเฉพาะเรื่องรูปร่างของตัวเองอย่างเดียว จำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 26.5 และกังวลเรื่องสุขภาพเป็นอย่างมาก จำนวน 36 คน คิดเป็นร้อยละ 18.0 การดูแลสุขภาพของตัวเองส่วนใหญ่เลือกที่จะพักผ่อนให้เพียงพอ จำนวน 60 คน คิดเป็นร้อยละ 30.0 รองลงมาควบคุมการรับประทานอาหาร คือ จำนวน 54 คน คิดเป็นร้อยละ 27.0 และออกกำลังกาย จำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 26.5 แสดงให้เห็นว่าการให้ความสำคัญกับสุขภาพนั้น ถึงแม้ส่วนใหญ่จะยังไม่มีปัญหาสุขภาพใดๆ แต่มีความกังวลในเรื่องของสุขภาพ จึงได้มีการดูแลสุขภาพของตัวเองอยู่หลักๆ 3 แบบ คือพักผ่อนให้เพียงพอ การควบคุมการรับประทานอาหาร และการออกกำลังกาย

ตาราง 10 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามการให้ความสำคัญกับสุขภาพ

การให้ความสำคัญกับสุขภาพ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ปัญหาสุขภาพ		
ไม่มีปัญหาสุขภาพใดๆ	115	57.5
ยังไม่มีโรคแต่มีความเสี่ยง	33	16.5
ออฟฟิศซินโดรม	15	7.5
โรคเครียด	18	9.0
โรคอ้วน	8	4.0
อื่นๆ	11	5.5
รวม	200	100.0
ความกังวลในเรื่องของสุขภาพของตัวเอง		
ไม่มีความกังวลใดๆ	23	11.5
กังวลเรื่องสุขภาพเป็นบางครั้ง	88	44.0
กังวลเรื่องสุขภาพเป็นอย่างมาก	36	18.0
กังวลเฉพาะเรื่องรูปร่างของตัวเองอย่างเดียว	53	26.5
รวม	200	100.0

ตารางที่ 10 (ต่อ)

การให้ความสำคัญกับสุขภาพ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
การดูแลสุขภาพของตัวเอง		
ออกกำลังกาย	53	26.5
ควบคุมการรับประทานอาหาร	54	27.0
รับประทานอาหารเสริม	17	8.5
พักผ่อนให้เพียงพอ	60	30.0
ปรึกษาแพทย์/ผู้เชี่ยวชาญ	8	4.0
ไม่มี	8	4.0
รวม	200	200

จากตารางที่ 11 การให้ความสำคัญกับอาหารและเครื่องดื่มที่รับประทาน ส่วนใหญ่เลือกรับประทานอะไรก็ได้ ขึ้นอยู่กับรสชาติและความสะดวก จำนวน 86 คน คิดเป็นร้อยละ 43.0 รองลงมาคือรับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มที่จะไม่ทำลายสุขภาพเพิ่ม จำนวน 56 คน คิดเป็นร้อยละ 28.0 และเน้นโภชนาการและดีต่อสุขภาพ จำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 26.5 ในเรื่องของการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ ส่วนใหญ่เคยรับประทาน จำนวน 191 คน คิดเป็นร้อยละ 97.5 แบ่งเป็นที่ยังรับประทานอยู่ร้อยละ 53.0 และที่เลิกรับประทานแล้วร้อยละ 42.5 ความถี่ในการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ ส่วนใหญ่รับประทานเดือนละ 1-3 ครั้ง หรือคิดเป็นสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จำนวน 121 คน คิดเป็นร้อยละ 60.5 รองลงมาคือรับประทานมากกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์ จำนวน 55 คน คิดเป็นร้อยละ 27.5 จากตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าการให้ความสำคัญกับอาหารและเครื่องดื่มที่รับประทานของผู้ตอบส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับเรื่องของรสชาติและความสะดวก ซึ่งบางกลุ่มยังมีความเป็นห่วงเรื่องของสุขภาพจึงเลือกที่จะรับประทานอะไรก็ได้แต่เป็นอาหารหรือเครื่องดื่มที่จะไม่ทำลายสุขภาพเพิ่ม การให้ความสำคัญกับอาหารและเครื่องดื่มที่รับประทานจึงสัมพันธ์กับประสบการณ์การรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพที่คนเลือกที่จะรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพเป็นส่วนใหญ่ โดยอย่างน้อยจะรับประทานเดือนละ 1-3 ครั้ง

ตาราง 11 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามการให้ความสำคัญกับอาหารและเครื่องดื่มที่รับประทาน

การให้ความสำคัญกับอาหารและเครื่องดื่มที่รับประทาน	จำนวน (คน)	ร้อยละ
การให้ความสำคัญกับอาหารและเครื่องดื่มที่รับประทาน		
เน้นโภชนาการและดีต่อสุขภาพ	53	26.5
รับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มที่จะช่วยบรรเทาหรือรักษาโรคที่เป็นอยู่	5	2.5
รับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มที่จะไม่ทำลายสุขภาพเพิ่ม	56	28.0
รับประทานอะไรก็ได้ ขึ้นอยู่กับรสชาติและความสะดวก	86	43.0
รวม	200	100.0
ประสบการณ์การรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ		
เคย และยังรับประทานอยู่	106	53.0
เคย แต่เลิกรับประทานไปแล้ว	85	42.5
ไม่เคยรับประทาน	9	4.5
รวม	200	100.0
ความถี่ในการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ		
ทุกวัน	15	7.5
มากกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์	55	27.5
เดือนละ 1-3 ครั้ง	121	60.5
ปีละ 1-3 ครั้ง	4	2.0
ไม่รับประทาน	5	2.5
รวม	194	100.0

จากตารางที่ 12 พฤติกรรมการรับประทานอาหารจากพืช หรือ Plant-based Protein ส่วนใหญ่เคยรับประทานอาหารจากพืช จำนวน 156 คน คิดเป็นร้อยละ 78.0 แต่ส่วนใหญ่เลิกรับประทานไปแล้ว จำนวน 92 คน คิดเป็นร้อยละ 46.0 และยังรับประทานอยู่ จำนวน 64 คน คิดเป็นร้อยละ 32.0 ความถี่ในการรับประทานอาหารจากพืช ส่วนใหญ่จะเป็นการรับประทานตามเทศกาล เช่น เทศกาลเจ จำนวน 88 คน คิดเป็นร้อยละ 44.0 รองลงมาคือรับประทานอย่างน้อยเดือนละ 1-3 ครั้ง จำนวน 58 คน คิดเป็นร้อยละ 29.0 จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่ได้เคยลองรับประทานอาหารจากพืช แต่ส่วนใหญ่ก็เลิกรับประทานไปแล้วเช่นกัน

ตาราง 12 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามพฤติกรรมการรับประทาน
อาหารจากพืช หรือ Plant-based Protein

พฤติกรรมการรับประทานอาหารจากพืช	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ประสบการณ์การรับประทานอาหารจากพืช		
เคย และยังรับประทานอยู่	64	32.0
เคย แต่เลิกรับประทานไปแล้ว	92	46.0
ไม่เคยรับประทาน	44	22.0
รวม	200	100.0
ความถี่ในการรับประทานอาหารจากพืช		
ทุกวัน	10	5.0
มากกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์	22	11.0
เดือนละ 1-3 ครั้ง	58	29.0
ปีละ 1-3 ครั้ง	9	4.5
ตามเทศกาล (เจ)	88	44.0
ไม่รับประทาน	13	6.5
รวม	200	100.0

จากตารางที่ 13 จะแสดงให้เห็นว่าทัศนคติของผู้บริโภคส่วนใหญ่มองว่า
ผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชที่วางขายในท้องตลาดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดี มีประโยชน์ ช่วยลดความเสี่ยง
ต่อการเกิดโรคได้ ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชนั้นส่วนใหญ่ให้
ความสำคัญกับปริมาณสารอาหารที่จะได้รับ และราคา ความคุ้มค่า คนส่วนใหญ่มองว่าอาหาร
จากพืชมีรสชาติไม่อร่อยและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ รวมถึงราคาที่สูง ไม่คุ้มค่าที่จะจ่ายถึงแม้จะมี
ประโยชน์ แต่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับเรื่องของรสชาติมากกว่า ในเรื่องของคุณค่าทาง
โภชนาการนั้นผู้บริโภคมองว่ายังสามารถได้รับจากผลิตภัณฑ์จากสัตว์ได้ จึงไม่มีความจำเป็นต้อง
รับประทานผลิตภัณฑ์จากพืชที่มีประโยชน์เช่นเดียวกันแต่ไม่อร่อย

ซึ่งเมื่อลองมองพฤติกรรมในการรับประทานแล้วส่วนใหญ่เลือกรับประทาน
เพราะอยากลอง และมองว่ามีประโยชน์ แต่เมื่อลองแล้วเหตุผลที่ไม่รับประทานอาหารจากพืชต่อ
คือราคาแพง ไม่คุ้มค่า และไม่มีความจำเป็นจะต้องรับประทานอาหารจากพืช ดังนั้นหากต้องการ
ให้ผู้บริโภคซื้อผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชซ้ำอีกครั้งรวมถึงสิ่งกระตุ้นที่จะทำให้ผู้บริโภคกลับมา
รับประทานอาหารจากพืชอีกครั้ง จะเป็นเรื่องของรสชาติที่ดี และราคา ความคุ้มค่าของผลิตภัณฑ์

ตาราง 13 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามทัศนคติต่อการรับประทาน
อาหารจากพืช หรือ Plant-based Protein

ทัศนคติต่อการรับประทานอาหารจากพืช	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ความคิดเห็นต่ออาหารจากพืชที่วางขายในท้องตลาด		
ผลิตภัณฑ์มีประโยชน์ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆได้	90	45.0
ผลิตภัณฑ์จากพืช ช่วยลดโลกร้อน	26	13.0
รสชาติไม่อร่อย/กลิ่นไม่ดี	23	11.5
หาซื้อยาก/ช่องทางจำหน่ายน้อย	19	9.5
ผลิตภัณฑ์ไม่ให้ประโยชน์ตามที่กล่าวอ้าง	2	1.0
ราคาแพงไม่คุ้มค่า	37	18.5
อื่นๆ	3	1.5
รวม	200	100.0
เหตุผลในการรับประทานอาหารจากพืช		
อยากลอง	66	50.4
มีประโยชน์ ให้โปรตีนสูง	40	30.5
ช่วยเรื่องสิ่งแวดล้อม	4	3.1
ต้องการควบคุมน้ำหนัก/หุ่น	18	13.7
อื่นๆ	3	2.3
รวม	131	100.0
เหตุผลที่ไม่รับประทานอาหารจากพืช		
ไม่อร่อย	10	14.5
ราคาแพง	26	37.7
ไม่มีความจำเป็นต้องรับประทาน	30	43.5
อื่นๆ	3	4.3
รวม	69	100.0

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ทัศนคติต่อการรับประทานอาหารจากพืช	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารจากพืช		
ปริมาณสารอาหารที่จะได้รับ	63	31.5
ผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์เป็นออร์แกนิก รักโลก ช่วยลดโลกร้อน	23	11.5
รูปแบบบรรจุภัณฑ์	3	1.5
ราคา ความคุ้มค่า	53	26.5
รสชาติ	51	25.5
แบรนด์สินค้า	5	2.5
อยากลอง	2	1.0
รวม	200	100.0
ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารจากพืช ซ้ำอีกครั้ง		
รสชาติดี	85	42.5
ราคา ความคุ้มค่า	49	24.5
เห็นผลตามคำแนะนำ	35	17.5
ความสะดวกในการใช้งาน	20	10.0
มีโรคประจำตัวหรือมีความจำเป็นต้องรับประทาน	7	3.5
อื่นๆ	4	2.0
รวม	200	100.0

ส่วนที่ 3 ปัจจัยและทัศนคติในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ plant based protein ของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากตารางที่ 14 จะเห็นว่าผู้บริโภคเชื่อว่าการบริโภค Plant-based Protein ดีกว่าการบริโภคอาหารปกติทั่วไปในระดับปานกลางถึงมาก จำนวน 74 และ 77 คน คิดเป็นร้อยละ 37.0 และ 38.5 ตามลำดับ ผู้บริโภคเชื่อว่าการรับประทาน Plant-based Protein ช่วยให้มีความสุขที่ดีในระดับมาก จำนวน 99 คน คิดเป็นร้อยละ 49.5 ผู้บริโภคเชื่อว่าอาหาร Plant-based Protein มีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆในระดับมาก จำนวน 87 คน คิดเป็นร้อยละ 43.5 ผู้บริโภคเชื่อว่าอาหาร Plant-based Protein มีรสชาติที่ดีในระดับปานกลาง จำนวน 75 คน คิดเป็นร้อยละ 37.5 ผู้บริโภคเชื่อว่าอาหาร Plant-based Protein ให้คุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมในระดับมาก จำนวน 91 คน คิดเป็นร้อยละ 45.5 ผู้บริโภคเชื่อว่าอาหาร Plant-based

Protein ประกอบด้วยอาหารที่โปรตีนสูง ไขมันต่ำ ในระดับมาก จำนวน 108 คน คิดเป็นร้อยละ 54.0 ผู้บริโภคจะเลือกรับประทานอาหาร Plant-based Protein เพื่อสุขภาพของตนเองในระดับมาก จำนวน 93 คน คิดเป็นร้อยละ 46.5 จากกราฟจะเห็นได้ว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เชื่อว่า Plant-based Protein เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ดี มีประโยชน์ มีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสม ที่ผู้บริโภคจะเลือกรับประทานเพื่อสุขภาพของตนเอง แต่รสชาติอาจจะยังไม่ดีมากนัก ตาราง 14 ทรรศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ด้านผลิตภัณฑ์

ประเด็นความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น (จำนวนคน)				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
ท่านเชื่อว่าการรับประทาน Plant-based Protein ดีกว่าการทานอาหารปกติทั่วไป	32	77	74	17	0
ท่านเชื่อว่าการรับประทาน Plant-based Protein ช่วยให้มีสุขภาพที่ดี	41	99	51	8	1
ท่านเชื่อว่าการรับประทาน Plant-based Protein มีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ	37	87	66	10	0
ท่านเชื่อว่าอาหาร Plant-based Protein มีรสชาติที่ดี	22	55	75	45	3
ท่านเชื่อว่าอาหาร Plant-based Protein ให้คุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสม	46	91	56	6	1
ท่านเชื่อว่าอาหาร Plant-based Protein ประกอบด้วยอาหารที่โปรตีนสูง ไขมันต่ำ	45	108	39	7	1
ท่านจะเลือกรับประทานอาหาร Plant-based Protein เพื่อสุขภาพของตนเอง	50	93	43	10	4

จากตารางที่ 15 ทรรศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ด้านราคาจะเห็นว่าผู้บริโภคคิดว่าอาหาร Plant-based Protein เหมาะสมกับราคาคู่ค้ากับเงินที่ต้องจ่ายในระดับปานกลางถึงมาก จำนวน 82 และ 69 คน คิดเป็นร้อยละ 41.0 และ 34.5 ตามลำดับ ราคามีอิทธิพลในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคในระดับมากถึงมากที่สุด จำนวน 80 คน คิดเป็นร้อยละ 40.0 ผู้บริโภคเลือกซื้ออาหาร Plant-based Protein จากราคาที่สูง เพราะเชื่อว่าคุณภาพดีในระดับปานกลางถึงมาก จำนวน 73 และ 70 คน คิดเป็นร้อยละ 36.5 และ 35.0

ตามลำดับ ผู้บริโภคเลือกซื้ออาหาร Plant-based Protein จากราคาที่ถูกในระดับมาก จำนวน 80 คน คิดเป็นร้อยละ 40.0 จากตารางที่ 15 จะแสดงให้เห็นถึงทัศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ในด้านราคา ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสำคัญในเรื่องของราคามาก ราคามีอิทธิพลในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคมากถึงมากที่สุด ซึ่งผู้บริโภคเลือกที่จะซื้อผลิตภัณฑ์อาหาร Plant-based Protein ที่เป็นสินค้าที่คุณภาพดี คุ่มค่ากับราคา แต่ส่วนใหญ่แล้วจะเลือกราคาที่ถูกมากกว่า

ตาราง 15 ทัศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ด้านราคา

ประเด็นความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
ท่านคิดว่าอาหาร Plant-based Protein เหมาะสมกับราคา คุ่มค่ากับเงินที่ต้องจ่าย	29	69	82	18	2
ราคามีอิทธิพลในการตัดสินใจซื้อของท่านมากที่สุด	80	80	39	1	0
ท่านเลือกซื้ออาหาร Plant-based Protein จากราคาที่สูง เพราะเชื่อว่าคุณภาพดี	29	70	73	23	5
ท่านเลือกซื้ออาหาร Plant-based Protein จากราคาที่ถูก	27	80	63	26	4

จากตารางที่ 16 ทัศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายและการส่งเสริมการขาย จะเห็นว่าผู้บริโภคคิดว่าอาหาร Plant-based Protein สามารถหาซื้อได้สะดวกในระดับมาก จำนวน 73 คน คิดเป็นร้อยละ 36.5 ผู้บริโภคเลือกซื้ออาหาร Plant-based Protein เนื่องจากมีการลดราคาหรือมีโปรโมชั่นในระดับมาก จำนวน 82 คน คิดเป็นร้อยละ 41.0 ผู้บริโภคเลือกซื้ออาหาร Plant-based Protein เนื่องจากมีการโฆษณาในสื่อต่างๆในระดับมาก จำนวน 91 คน คิดเป็นร้อยละ 45.5 ผู้บริโภคจะแนะนำอาหาร Plant-based Protein ให้เพื่อน และคนรอบข้างในระดับมาก จำนวน 75 คน คิดเป็นร้อยละ 37.5 จากกราฟที่ 16 จะเห็นว่าในเรื่องของช่องทางการจัดจำหน่ายและการส่งเสริมการขายมีความสำคัญไม่ต่างกับราคาความคุ้มค่า ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่จะเลือกซื้ออาหาร Plant-based Protein จากการลดราคาหรือโปรโมชั่น และการโฆษณาในสื่อต่างๆ

ตาราง 16 ทศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายและการส่งเสริมการขาย

ประเด็นความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
ท่านคิดว่าอาหาร Plant-based Protein สามารถหาซื้อได้สะดวก	26	73	66	33	2
ท่านเลือกซื้ออาหาร Plant-based Protein เนื่องจากมีการลดราคาหรือมีโปรโมชั่น	44	82	51	17	6
ท่านเลือกซื้ออาหาร Plant-based Protein เนื่องจากมีการโฆษณาในสื่อต่างๆ	37	91	54	12	6
ท่านจะแนะนำอาหาร Plant-based Protein ให้เพื่อน และคนรอบข้าง	34	75	63	20	8

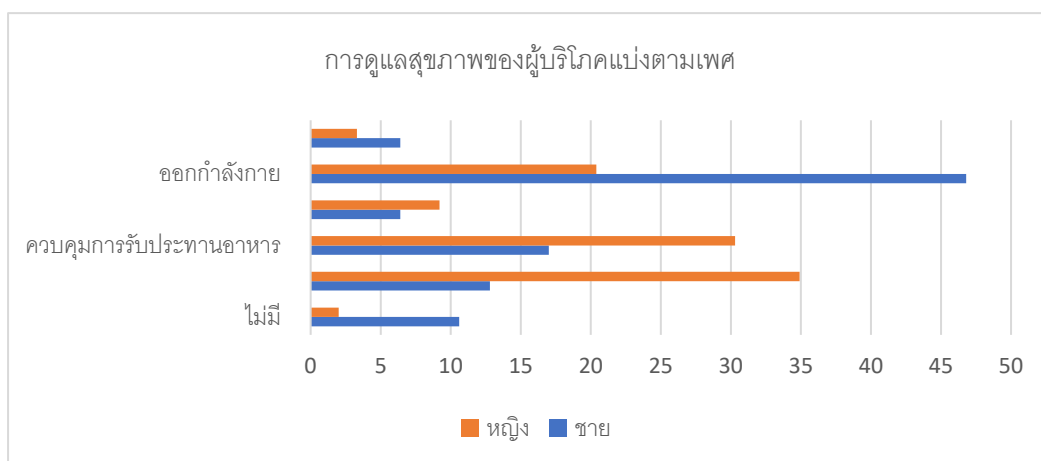
จากตารางที่ 17 จะเห็นว่าส่วนใหญ่ผู้บริโภคทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับธรรมชาติในระดับมากถึงมากที่สุด จำนวน 93 และ 71 คน คิดเป็นร้อยละ 46.5 และ 35.5 ตามลำดับ ผู้บริโภคส่วนใหญ่คิดว่าการมีส่วนร่วมกับการอาหารเพื่อความยั่งยืนนั้นดีในระดับมาก จำนวน 102 คน คิดเป็นร้อยละ 51.0 ผู้บริโภคส่วนใหญ่คิดว่าปัญหาสิ่งแวดล้อมมีผลต่อชีวิตของตนเองในระดับมากถึงมากที่สุด จำนวน 94 และ 82 คน คิดเป็นร้อยละ 47.0 และ 41.0 ตามลำดับ ผู้บริโภคเชื่อว่าการรับประทาน Plant-based Protein ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในระดับมาก จำนวน 89 คน คิดเป็นร้อยละ 44.5 ผู้บริโภคจะซื้ออาหาร Plant-based Protein เพื่อช่วยสนับสนุนความยั่งยืนในระดับมาก จำนวน 79 คน คิดเป็นร้อยละ 39.5 ผู้บริโภคส่วนใหญ่เชื่อว่าอาหาร Plant-based Protein ทำมาจากวัตถุดิบจากธรรมชาติ สะอาด ปลอดภัย ในระดับมาก จำนวน 92 คน คิดเป็นร้อยละ 46.0 ผู้บริโภคเชื่อว่าการรับประทาน Plant-based Protein ทำให้รู้สึกไม่ตกเทรนดีในระดับปานกลางถึงมาก จำนวน 59 และ 66 คน คิดเป็นร้อยละ 29.5 และ 33.0 ตามลำดับ

จากตารางที่ 17 ทศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ในเรื่องของความยั่งยืนของอาหาร จะเห็นว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับธรรมชาติ เช่น ภาวะโลกร้อน ทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงสัตว์ที่ลดจำนวนลงเป็นต้น และคิดว่าปัญหาสิ่งแวดล้อมมีผลต่อชีวิตของตนเองด้วยเช่นกัน ผู้บริโภคส่วนใหญ่เชื่อว่าการรับประทาน Plant-

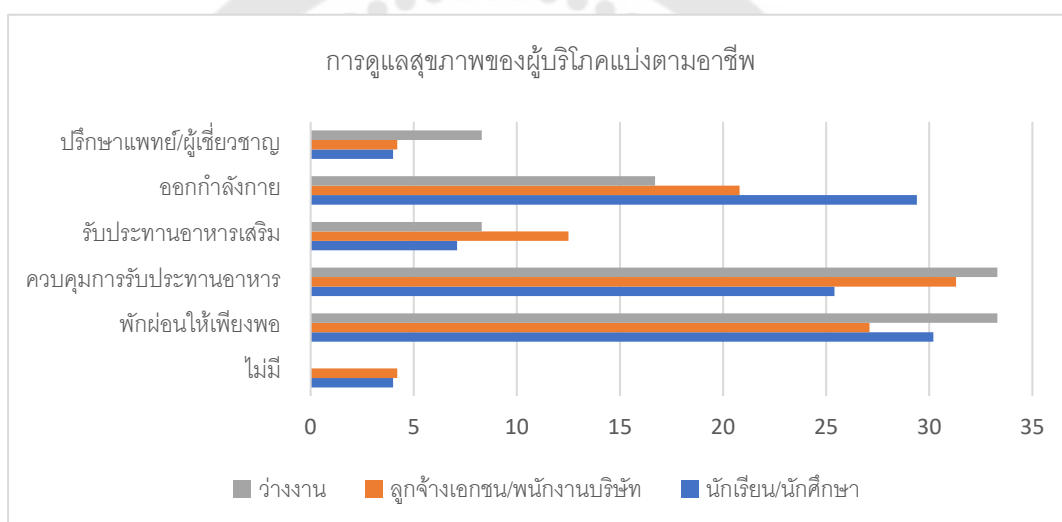
based Protein ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein เพื่อช่วยสนับสนุนความยั่งยืนอีกด้วย

ตาราง 17 ทศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ด้านความยั่งยืนของอาหาร

ประเด็นความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
ท่านทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับธรรมชาติ เช่น ภาวะโลกร้อน ทรัพยากรธรรมชาติ และ สัตว์ที่ลดจำนวนลง เป็นต้น	71	93	30	6	0
ท่านคิดว่าการมีส่วนร่วมกับอาหารเพื่อความยั่งยืนนั้นดี	65	102	30	3	0
ท่านคิดว่าปัญหาสิ่งแวดล้อมมีผลต่อชีวิตของท่าน	82	94	23	1	0
ท่านเชื่อว่าการรับประทาน Plant-based Protein ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม	42	89	55	12	2
ท่านจะซื้ออาหาร Plant-based Protein เพื่อช่วยสนับสนุนความยั่งยืน	39	79	66	11	5
ท่านเชื่อว่าอาหาร Plant-based Protein ทำมาจากวัตถุดิบจากธรรมชาติ สะอาด ปลอดภัย	55	92	48	3	2
ท่านเชื่อว่าการรับประทาน Plant-based Protein ทำให้รู้สึกไม่ตกเทรนด์	29	66	59	26	20

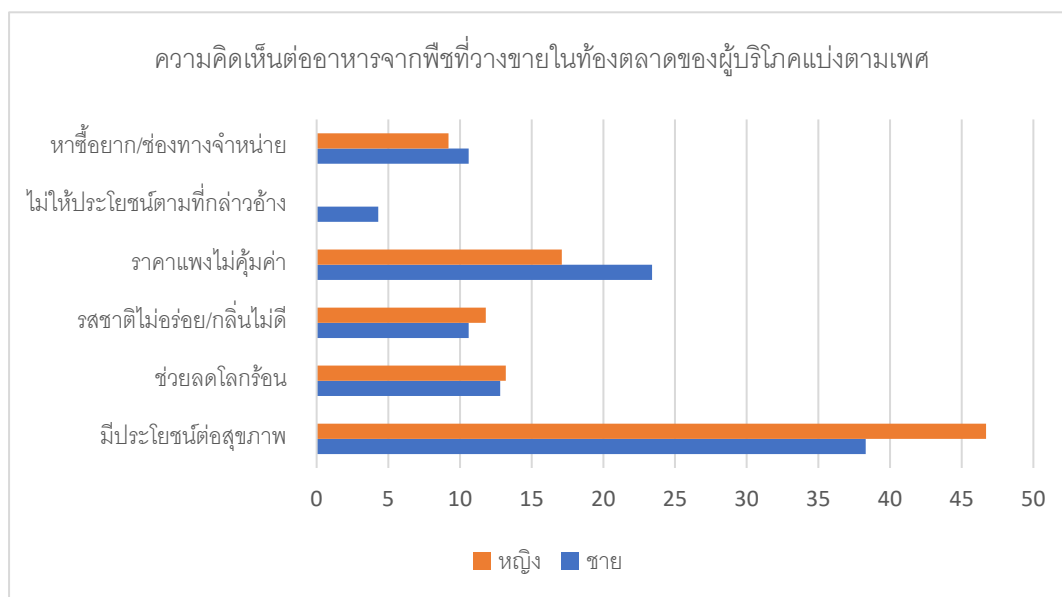


ภาพประกอบ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเพศและการดูแลสุขภาพของผู้บริโภค

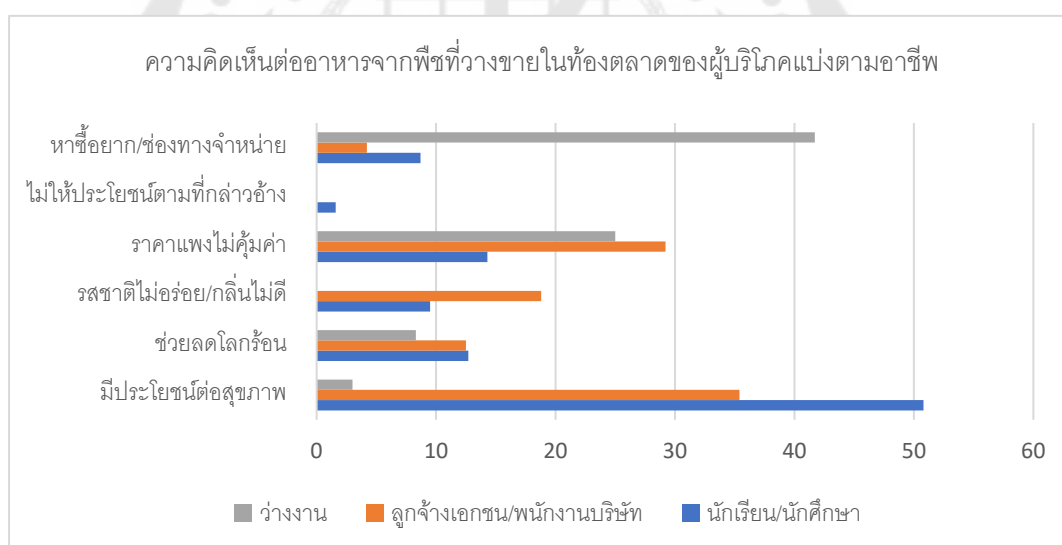


ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอาชีพและการดูแลสุขภาพของผู้บริโภค

ในเรื่องของการดูแลสุขภาพของผู้บริโภค จากภาพที่ 3 จะเห็นว่าการดูแลสุขภาพของเพศชายส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับการออกกำลังกาย คิดเป็นร้อยละ 46.8 ในขณะที่เพศหญิงจะให้ความสำคัญกับการพักผ่อนและการควบคุมอาหารมากกว่า คิดเป็นร้อยละ 34.9 และ 30.3 ตามลำดับ เมื่อมองในมุมของอาชีพจากภาพที่ 4 จะพบว่ากลุ่มนักเรียนนักศึกษาให้ความสำคัญกับการพักผ่อนให้เพียงพอและการออกกำลังกาย จำนวน 38 และ 37 คน คิดเป็นร้อยละ 30.2 และ 29.4 รองลงมาคือการควบคุมการรับประทานอาหาร จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 25.4 เช่นเดียวกับกลุ่มอาชีพพนักงานบริษัทและกลุ่มคนว่างงาน

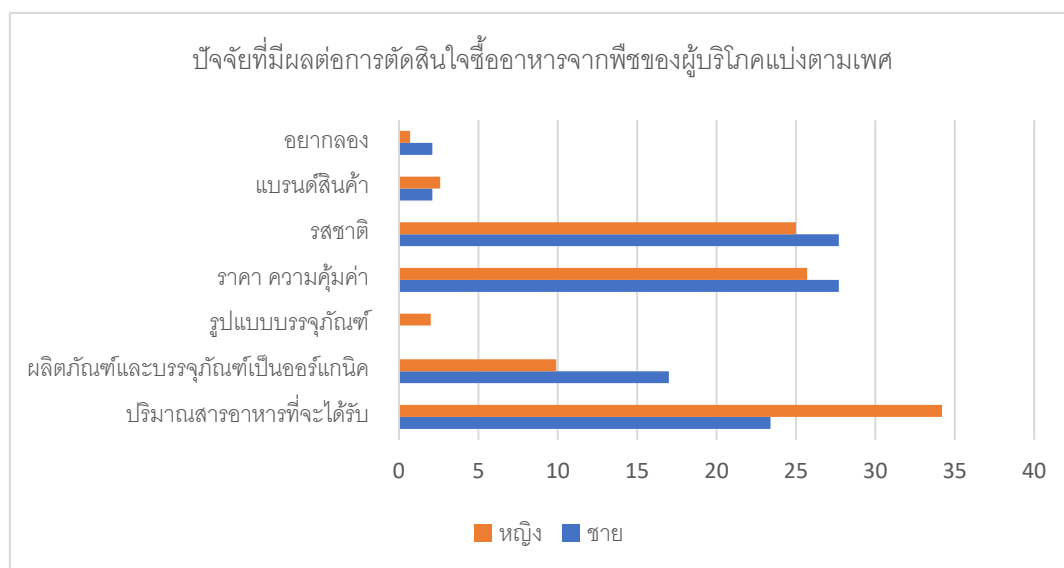


ภาพประกอบ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเพศและความคิดเห็นต่ออาหารจากพืชที่วางขายในท้องตลาดของผู้บริโภค

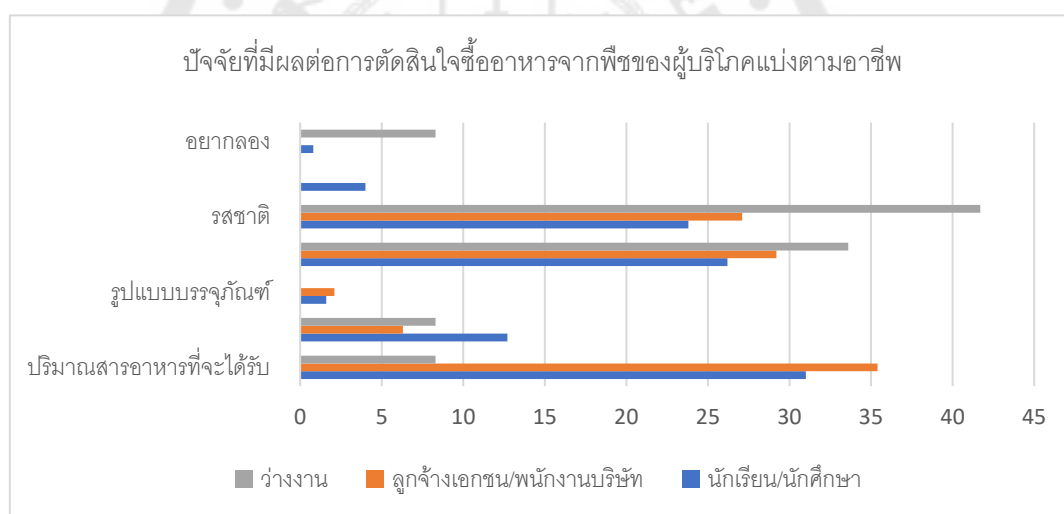


ภาพประกอบ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอาชีพและความคิดเห็นต่ออาหารจากพืชที่วางขายในท้องตลาดของผู้บริโภค

จากภาพที่ 5 และ 6 ในเรื่องของความคิดเห็นต่ออาหารจากพืชที่วางขายในท้องตลาดของผู้บริโภคจะเห็นว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่มองว่าผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชในท้องตลาดมีประโยชน์ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆได้ โดยเฉพาะในกลุ่มนักเรียน นักศึกษา และในกลุ่มผู้หญิง และความคิดเห็นรองลงมาคือราคาแพงไม่คุ้มค่า ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มพนักงานบริษัท และกลุ่มผู้ชาย



ภาพประกอบ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเพศและปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารจากพืชของผู้บริโภค



ภาพประกอบ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอาชีพและปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารจากพืชของผู้บริโภค

จากภาพที่ 7 จะเห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารจากพืชของผู้บริโภค GenZ เพศชายส่วนใหญ่เป็นเรื่องของราคา ความคุ้มค่า และรสชาติ ในขณะที่เพศหญิงมองเรื่องของปริมาณสารอาหารที่จะได้รับมากกว่า แต่เมื่อมองในกลุ่มอาชีพในภาพที่ 8 กลุ่มนักเรียนนักศึกษาและกลุ่มพนักงานบริษัท ปัจจัยหลักๆที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออาหารจากพืช คือ ปริมาณสารอาหารที่จะได้รับ ราคา ความคุ้มค่า และรสชาติ ที่มีคะแนนใกล้เคียงกัน ต่างกับกลุ่มคนว่างงานที่จะมองเรื่องของรสชาติและราคามากกว่า อาจเนื่องจากยังไม่มีรายได้ ทำให้ราคา ความคุ้มค่ามีผลต่อการตัดสินใจซื้อมากกว่ากลุ่มอาชีพอื่น

จากการสำรวจทัศนคติ พฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคของผู้บริโภค Gen Z พบว่าส่วนใหญ่รับรู้ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ทำให้ผู้บริโภคกลุ่มนี้มองหาทางเลือกที่ยั่งยืนและหันมาสนใจอาหารจากพืชมากขึ้นเพื่อช่วยลดผลกระทบเหล่านั้น ผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชจึงได้รับการยอมรับว่าเป็นทางเลือกที่ดีในการสนับสนุนความยั่งยืนและการรักษาสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์อาหารจากพืชของผู้บริโภค Gen Z ยังมีข้อจำกัดบางอย่าง โดยเฉพาะรสชาติ และราคา ความคุ้มค่า ที่ยังคงเป็นปัจจัยหลักที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ ถึงแม้ว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่จะมองว่าอาหารจากพืชมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรค แต่พวกเขาก็ยังคงให้ความสำคัญกับรสชาติเป็นอันดับแรก

เมื่อเข้าใจถึงความต้องการและปัญหาของผู้บริโภคแล้ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกและวิเคราะห์วัตถุดิบที่เหมาะสม โดยวัตถุดิบหลักคือ ถั่วลายเสือ (Tiger peanut) เนื่องจากถั่วลายเสือเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการทำผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น โปรตีนจากพืช

4.2 ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อสมบัติของถั่วลายเสือ

การวิเคราะห์วัตถุดิบถั่วลายเสือ โดยการเปรียบเทียบกระบวนการแปรรูปถั่วในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ถั่วดิบ, ถั่วคั่ว และถั่ว autoclave เพื่อหาวิธีการแปรรูปที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ทั้งในด้าน รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของผู้บริโภค

4.2.1 สมบัติทางเคมีของผงถั่ว

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผงถั่ว ปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันในตารางที่ 18 แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างการแปรรูป จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของผงถั่วที่ผ่านการแปรรูป 3 แบบคือ ผงถั่วสด (RAW_PEA), ผงถั่วคั่ว (ROS_PEA) และ ผงถั่ว autoclave (CLAV_PEA) พบว่าปริมาณโปรตีนของผงถั่วทั้ง 3 แบบมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ มีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 43.05 ± 0.17 , 42.84 ± 0.26 และ 44.79 ± 1.46 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า การ autoclave เป็นการแปรรูปที่ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการมากที่สุดในการรักษาคุณภาพทางโภชนาการของตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน พบว่า ROS_PEA มีปริมาณไขมันเหลือให้น้อยที่สุดหลังสกัดน้ำมัน โดยมีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 6.74 ± 0.25 รองลงมาคือ CLAV_PEA มีปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 7.93 ± 0.13 และ RAW_PEA มีปริมาณไขมันเหลือมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 9.07 ± 0.10 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างการคั่ว คุณหมุมิของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้น

จนสูงกว่า 100°C ซึ่งจะเข้าไปใกล้อุณหภูมิอากาศร้อนอย่างต่อเนื่อง แต่ขึ้นอยู่กับสภาวะของกระบวนการ การคายน้ำระหว่างการคั่วจะเกิดขึ้นทันทีที่ถึงอุณหภูมิการระเหยของน้ำ เนื่องจากปริมาณความชื้นของถั่วที่ใช้ในกระบวนการคั่วมีน้อยอยู่แล้ว เช่น ระหว่าง 4 ถึง 6 กรัม ต่อ 100 กรัม (w/w) อุณหภูมิการระเหยจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำหนักและความชื้นของตัวอย่างลงเมื่อเวลาผ่านไป (Shi et al., 2017) น้ำมันที่กักเก็บภายในเซลล์ของถั่วอาจไหลจากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง อย่างไรก็ตาม ในการคั่วการไหลของน้ำมันระหว่างเซลล์จะเพิ่มปริมาณของ substrate ที่พร้อมสำหรับการเกิด oxidation ของไขมัน (Perren & Escher, 2013) ในระหว่างการคั่ว โครงสร้างของถั่วมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงในการคั่วจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศร้อน เวลาในการคั่ว และการไหลของอากาศร้อน (Saklar, Ungan, & Katnas, 2003) อุณหภูมิการคั่วที่สูงขึ้นจะลดความคงตัวของไขมันอย่างเห็นได้ชัดโดยทั่วไปแล้วถั่วลิสงควรคั่วที่อุณหภูมิสูง เพื่อเพิ่มการก่อกวนของสารต้านอนุมูลอิสระและปรับปรุงเสถียรภาพในการเก็บรักษา (Perren & Escher, 2013)

ตาราง 18 สมบัติทางเคมีของผงถั่ว

ค่าคุณภาพ	RAW_PEA	ROS_PEA	CLAV_PEA
Protein	43.05±0.17 ^b	42.84±0.26 ^b	44.79±1.46 ^a
Fat	9.07±0.10 ^a	6.74±0.25 ^c	7.93±0.13 ^b

*p<0.05 (statistical significance)

Unit (g/100g)

จากตารางที่ 19 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็น จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในผงถั่ว พบว่า RAW_PEA และ ROS_PEA มีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นอย่าง Leucine, Isoleucine และ Valine ที่สูงกว่า CLAV_PEA ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งกรดอะมิโนดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่ม BCAA (Branched Chain Amino Acids) ที่จะช่วยเสริมสร้างกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะ Leucine ที่มีส่วนช่วยในการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์โปรตีนและลดอัตราการสลายของโปรตีนในการพักกล้ามเนื้อของมนุษย์ นอกจากนี้ ในระหว่างการฟื้นตัวจากการออกกำลังกายแบบ Endurance พบว่า BCAAs มีผลกระทบต่อการสร้างกล้ามเนื้อในกล้ามเนื้อของมนุษย์ (Blomstrand, Eliasson, Karlsson, & Köhnke, 2006) ดังนั้นจึงสามารถนำผงถั่วนี้ไปเป็นวัตถุดิบในอาหารหรือเครื่องดื่มที่ต้องการสมบัติดังกล่าวได้

การเปรียบเทียบค่า BCAA กับนมวัว ค่า Valine ใน RAW_PEA และ ROS_PEA มีค่า 4.1010 และ 4.0150 mg/g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่านมวัวที่มีประมาณ 1.1-1.2 g/100 ml

(1100-1200 mg/100 ml) โดยสูงกว่า 2.7-2.9 เท่า RAW_PEA และ ROS_PEA มี Isoleucine ที่ 3.2800 และ 3.2110 mg/g ตามลำดับ ซึ่งมากกว่านมวัวที่มีประมาณ 0.6-0.7 g/100 ml (600-700 mg/100 ml) ค่า Isoleucine ใน RAW_PEA สูงกว่านมวัวถึง 4-5 เท่า ซึ่งมีประโยชน์ในการช่วยในการสร้างกล้ามเนื้อและลดการสลายของกล้ามเนื้อ ค่า Leucine ใน RAW_PEA และ ROS_PEA สูงถึง 6.3860 และ 6.2730 mg/g ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่านมวัวที่มีประมาณ 1.3-1.5 g/100 ml (1300-1500 mg/100 ml) โดยสูงกว่า 2.0-2.4 เท่า Leucine เป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญที่สุดในการกระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อ ซึ่งผงถั่วลายเสือให้ค่า Leucine ที่สูงกว่าในนมวัวอย่างชัดเจน ทำให้ผงถั่วลายเสือเป็นแหล่ง BCAA ที่เหมาะสำหรับการสร้างและฟื้นฟูกล้ามเนื้อ (J.-E. Kim & Lee, 2021)

ตาราง 19 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นของผงถั่ว

กรดอะมิโนจำเป็น	RAW_PEA	ROS_PEA	CLAV_PEA
Threonine	2.6160 ^b	2.7060 ^a	2.5200 ^c
Valine	4.1010 ^a	4.0150 ^b	3.6650 ^c
Methionine	0.8710 ^a	0.9130 ^b	0.8570 ^c
Isoleucine	3.2800 ^a	3.2110 ^b	2.9220 ^c
Leucine	6.3860 ^a	6.2730 ^b	5.6740 ^c
Phenylalanine	5.1070 ^a	5.0310 ^b	4.5370 ^c
Tryptophan	ND	ND	ND
Lysine	3.3480 ^a	3.3100 ^b	2.8730 ^c
Histidine	2.2200 ^a	2.1780 ^b	1.9430 ^c

*p<0.05 (statistical significance).

Unit (mg/g)

4.2.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของผงถั่ว

สมบัติเชิงหน้าที่ เช่นความสามารถในการละลาย ความสามารถในการดูดซับน้ำ กิจกรรมอิมัลชัน ความคงตัวของอิมัลชัน และความสามารถในการเกิดโฟม มีความสำคัญมากในการแปรรูปและการกำหนดสูตรอาหาร และยังมีผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพการผลิต

ความสามารถในการดูดซับน้ำ จากการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำของผงถั่ว พบว่า ผงถั่วทั้ง 3 แบบมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดย

ROS_PEA จะมีค่าน้อยที่สุด ตามมาด้วย RAW_PEA และ CLAV_PEA คือ 32.73 ± 1.27 , 36.00 ± 1.27 และ 39.43 ± 1.97 ตามลำดับ

สมบัติการเกิดโฟม ความสามารถในการเกิดโฟม (Foam Expansion, FE) และความคงตัวของโฟม (Foam Stability, FS) ขึ้นอยู่กับสมบัติการขึ้นรูปฟิล์มของโปรตีนและความสามารถในการซึมผ่านของแก๊สเป็นหลัก (Wang, Guo, Zheng, Wang, & Zhan, 2017) จากการวิเคราะห์ FE และ FS ของผงถั่ว พบว่า CLAV_PEA มีความสามารถในการเกิดโฟมเท่ากับร้อยละ 5.36 ± 1.41 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด และ ROS_PEA มีความสามารถในการเกิดโฟมเท่ากับร้อยละ 14.72 ± 1.01 ซึ่งมีค่าสูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยทั่วไปแล้วโปรตีนที่ดูดซึมเร็วจะมีสมบัติการเกิดโฟมได้ดีกว่าโปรตีนที่ดูดซึมช้า (Schwenke, 1996) ในส่วนของความคงตัวของโฟมจากตารางที่ 20 พบว่า โฟมที่เกิดจาก CLAV_PEA มีค่า FS เท่ากับร้อยละ 97.81 ± 1.41 ซึ่งสูงที่สุด FE และ FS เป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดลักษณะเฉพาะของคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน ไขมันเป็นสาเหตุหลักของความไม่เสถียรของโฟมจากโปรตีนเข้มข้นและโปรตีนไฮโดรไลต์ จะเห็นได้ว่า ROS_PEA มีความสามารถในการเกิดโฟมเพิ่มขึ้นโฟมอย่างเห็นได้ชัด โดยเพิ่มขึ้นมา 91.35% เมื่อเทียบกับ RAW_PEA ซึ่งสมบัติการเกิดโฟมของโปรตีนเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนถึง $75-80^{\circ}\text{C}$ นอกจากนี้ ค่าความคงตัวของโฟม ถึงแม้ว่าค่าความคงตัวของ CLAV_PEA จะมีค่ามากที่สุด และ ROS_PEA มีค่าน้อยที่สุด แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความสามารถในการเกิดโฟมแล้ว CLAV_PEA เกิดโฟมได้น้อยที่สุดซึ่งทำให้มีค่าความคงตัวมากที่สุด ในขณะที่ ROS_PEA มีความสามารถในการเกิดโฟมมากที่สุด เมื่อโฟมยุบตัวจะสังเกตได้ชัดกว่า ทำให้ค่าความคงตัวเหลือน้อยที่สุด แต่ความคงตัวของ ROS_PEA มีค่าอยู่ที่ 92.78 ซึ่งถือเป็นค่าที่สูงเช่นกัน (Hutton & Campbell, 2006)

จากการวิเคราะห์อิมัลชันของผงถั่ว พบว่า RAW_PEA มีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน Emulsifying Activity Index (EAI) ดีที่สุด รองลงมาคือ ROS_PEA และ CLAV_PEA ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงสมบัติของ EAI อาจเกิดจากจำนวนของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำบนผิวโปรตีน ความสามารถในการไม่ชอบน้ำที่พื้นผิวสูงทำให้โปรตีนมีปฏิสัมพันธ์กับน้ำมันหรือไขมันได้ นำไปสู่การก่อตัวของฟิล์มโปรตีนที่แข็งแรง ซึ่งมีแนวโน้มที่จะกลายเป็น Emulsifiers ที่เหนือกว่า (Méx, 2008) ซึ่งสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญสองประการของโปรตีนในอาหาร คือสมบัติของโฟมและอิมัลชัน โดยการดูดซับบริเวณส่วนต่อประสานระหว่างอากาศกับน้ำ หรือน้ำมันกับน้ำ ดังนั้นจึงลดความตึงเครียดระหว่างผิวและให้การรักษาเสถียรภาพของฟิล์มส่วนต่อประสาน (Wierenga & Gruppen, 2010) คุณสมบัติการทำให้เป็นอิมัลชันและการเกิดโฟมของโปรตีนสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดย

ใช้กลยุทธ์การดัดแปลงทางเคมีที่เหมาะสม (Damodaran, 2005) ข้อจำกัดที่สำคัญของการดัดแปลงทางเคมีเพื่อปรับปรุงการทำงานของโปรตีนคือความปลอดภัยทางโภชนาการของโปรตีนอนุพันธ์ การดัดแปลงโดยใช้เอนไซม์เป็นแนวทางที่น่าสนใจในการปรับปรุงคุณสมบัติการเกิดโฟมและอิมัลชันของโปรตีน อย่างไรก็ตามการดัดแปลงที่ใช้งานได้จริงที่สุดคือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน การไฮโดรไลซิสแบบ 3d-enzymatic แบบจำกัดของโปรตีนโดยใช้โปรตีเอส หรือการที่โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือสูญเสียโครงสร้าง 3 มิติของมัน ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความร้อน, ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลง, หรือการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งลักษณะการทำงานของโปรตีเอสมีความเฉพาะเจาะจงและสามารถทำงานได้เฉพาะในตำแหน่งหรือส่วนที่จำกัดในโปรตีน อย่างไรก็ตาม โปรตีนที่ถูกไฮโดรไลซ์สูงจะผลิตอิมัลชันและโฟมที่มีความเสถียรต่ำ (S. Kim & Holtzapfle, 2006)

โปรตีนถั่วในเชิงพาณิชย์มีสมบัติในการเป็นอิมัลชันลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนที่ผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ โปรตีนในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่มีความสามารถในการละลายต่ำ ความสามารถในการไม่ชอบน้ำที่พื้นผิวค่อนข้างสูง การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยแรงดันสูงจะสามารถสลายมวลรวมที่ไม่ละลายน้ำขนาดใหญ่ในโปรตีนถั่วเชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งจะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นอย่างมากในความสามารถในการละลายของโปรตีน (Burger, Singh, Mayfield, Baumert, & Zhang, 2022)

สมบัติการละลาย (Solubility) จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย ของผงถั่วทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า ROS_PEA มีค่าการละลายที่ดีที่สุด ที่ 26.19% เนื่องจาก ROS_PEA มีปริมาณไขมันซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำเหลืออยู่น้อยที่สุด ทำให้มีค่าการละลายมากที่สุด

ค่า Total antioxidants activity ของ ROS_PEA สูง กว่า RAW_PEA และ CLAV_PEA เนื่องจากกระบวนการคั่วมีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงทางเคมีในถั่ว โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจากการคั่วอาจทำให้สารประกอบบางชนิดในถั่วเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น เช่น การเกิดสารใหม่ๆ ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แต่การนี้ไม่ทำให้ถั่วสูญเสียสารอาหารไปมากเท่ากับการคั่ว แต่ก็ไม่ได้ปลดปล่อยสารต้านอนุมูลอิสระออกมาได้เท่าการคั่ว ดังนั้น การคั่วจึงถือว่าเหมาะสมที่จะใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร รวมถึงเครื่องดื่มในการแปรรูปอาหาร

ตาราง 20 สมบัติเชิงหน้าที่ของผงถั่ว

สมบัติเชิงหน้าที่	RAW_PEA	ROS_PEA	CLAV_PEA	หน่วย
Water absorption capacity	36.00±1.27 ^b	32.73±1.27 ^c	39.43±1.97 ^a	g water g ⁻¹
Foam Expansion	7.69±1.03 ^b	14.72±1.01 ^a	5.36±1.41 ^b	g/100g
Foam Stability	93.66±0.68	92.78±4.27	97.81±1.41	g/100g
Emulsifying Activity Index	4.00±2.00	3.00±1.00	3.00±2.00	m ² g ⁻¹ 10 ⁻⁴
Emulsion Stability Index	5.52±0.58 ^a	3.22±0.47 ^b	1.57±0.80 ^b	g/100g
Solubility	18.44±0.64 ^b	26.19±0.72 ^a	18.59±1.22 ^b	g/100g
Total antioxidant activity (DPPH)	2562.45 ^b	3008.77 ^a	2005.25 ^c	mmoles TE

*p<0.05 (statistical significance)

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผงถั่วดิบ, ถั่วคั่ว และถั่ว autoclave จะเห็นว่าผงถั่วคั่วมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีกว่าในหลายด้าน โดยเฉพาะสมบัติเชิงหน้าที่และโปรตีนที่อยู่ในรูปที่สามารถดูดซึมได้ดี โดยเฉพาะโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็น ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการซ่อมแซมเนื้อเยื่อในร่างกาย ในแง่ของไขมัน ถั่วคัวยังคงรักษาคุณสมบัติของไขมันดีไม่อิ่มตัว ซึ่งดีต่อสุขภาพหัวใจและหลอดเลือด โดยไขมันดีเหล่านี้จะไม่ถูกทำลายจากการคั่วในอุณหภูมิที่เหมาะสม หลังจากการวิเคราะห์ถั่วคั่วพบว่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูงและสมบัติเชิงหน้าที่ที่เหมาะสม การนำผงถั่วคั่วมาสกัดโปรตีนจึงเป็นกระบวนการที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับถั่วได้มากขึ้น และนำผงโปรตีนไปพัฒนาเป็นเครื่องดื่มโปรตีนสูงต่อไป ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภคที่มีความต้องการเสริมโปรตีนในอาหาร เช่น นักกีฬา, ผู้ที่ต้องการเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ หรือผู้ที่มีปัญหาด้านสุขภาพที่ต้องการโปรตีนเสริม

4.3 ศึกษาอิทธิพลของการใช้แรงดันสูง (high pressure processing) ร่วมกับเอ็นไซม์ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ และวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีกายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบถั่วดิบ, ถั่วคั่ว และถั่ว autoclave พบว่า ถั่วคั่วมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีและสมบัติเชิงหน้าที่ที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นผงโปรตีน ด้วยกระบวนการคั่วที่ช่วยให้โปรตีนในถั่วมีความเสถียรและดูดซึมได้ดี และนำผงโปรตีนจากถั่วคั่วไปพัฒนาเป็นเครื่องดื่มโปรตีนสูงสามารถตอบโจทย์ความต้องการโปรตีนจากแหล่งพืชในรูปแบบที่สะดวกและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ

4.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วลายเสือ

จากตารางที่ 21 ที่เอนไซม์ 0% ค่าการขยายตัวของโฟม (Foam Expansion, FE) อยู่ที่ 9.09 ± 1.56 ซึ่งไม่สูงมาก แต่เมื่อมีการเพิ่มแรงดันที่ 100, 200 และ 300 MPa ค่าของ FE ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การใช้เอนไซม์ที่ 0.05% ทำให้ค่าการขยายตัวของโฟมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จาก FE ที่ 12.10 ± 1.88 ที่ HPP 0 และเพิ่มขึ้นเป็น 14.93 ± 0.85 , 15.35 ± 1.22 และ 14.65 ± 1.57 เมื่อมีการใช้ HPP 100, 200, และ 300 MPa ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการขยายตัวที่ดีในทุกระดับของ HPP เมื่อใช้เอนไซม์ที่ 0.2% ค่าการขยายตัวของโฟมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ HPP 0 มีค่าเท่ากับ 8.59 ± 1.75 และ HPP 100 MPa มีค่าเท่ากับ 8.11 ± 3.01 แต่ที่ HPP 300 MPa เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าเท่ากับ 16.43 ± 2.11 ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่เอนไซม์มีผลต่อการปรับโครงสร้างของโปรตีนในโฟม ทำให้การขยายตัวเพิ่มขึ้นในระดับ HPP ที่สูงขึ้น จากตารางจะเห็นได้มากกว่าที่ HPP 100 และ 200 MPa โดยทั่วไปทำให้ค่าการขยายตัวของโฟมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกลุ่มที่ไม่มีเอนไซม์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า HPP ในระดับนี้อาจทำให้โครงสร้างของโฟมถูกบีบอัดและสูญเสียการขยายตัว แต่ที่ HPP 300 MPa กลับมีผลที่ดีในกลุ่มที่มีเอนไซม์ 0.05% และ 0.2% เช่น 14.65 ± 1.57 และ 16.43 ± 2.11 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า HPP ในระดับสูงสามารถกระตุ้นการขยายตัวของโฟมได้ในกรณีที่มีเอนไซม์

การเปรียบเทียบระหว่างเอนไซม์และ HPP เอนไซม์ที่ 0.05% ทำให้การขยายตัวของโฟมดีที่สุดในทุกระดับของ HPP โดยมีค่า FE อยู่ที่ 14.93 ± 0.85 , 15.35 ± 1.22 ที่ HPP 100 และ 200 MPa ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงสุดในกลุ่มเอนไซม์ที่ 0.05% ในเอนไซม์ที่ 0.2% แม้ว่าจะมีการขยายตัวของโฟมลดลงในระดับ HPP 0 และ HPP 100 MPa โดยมีค่าอยู่ที่ 8.59 ± 1.75 และ 8.11 ± 3.01 ตามลำดับ แต่กลับมีการขยายตัวที่ดีขึ้นมากใน HPP 300 MPa โดยมีค่าอยู่ที่ 16.43 ± 2.11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ในระดับนี้อาจต้องการ HPP ในระดับสูงถึงจะได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ในขณะที่ treatment ที่ไม่ใช้เอนไซม์ (0.0%) พบว่าเมื่อใช้ HPP 100, 200, และ 300 MPa ค่าการขยายตัวของโฟมจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า HPP อาจไม่เหมาะสมในการขยายโฟมในกรณีที่ไม่มีเอนไซม์

ความคงตัวของอิมัลชัน Emulsion Stability Index (ESI) เอนไซม์ที่ 0.05% และ 0.2% ช่วยเพิ่มค่า ESI โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ HPP ที่สูงขึ้น โดยที่ ESI ที่ HPP 300 MPa เอนไซม์ 0.05% จะสูงถึง 2.02 ± 0.12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ช่วยเพิ่มความเสถียรของอิมัลชันในสถานการณ์ที่ใช้แรงดันสูง การใช้เอนไซม์ 0.2% ทำให้ ESI ที่ HPP 200 สูงสุดที่ 2.30 ± 1.04 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้นสามารถเพิ่มความเสถียรของอิมัลชันได้มากขึ้นเมื่อใช้แรงดันสูง

การใช้ HPP ส่งผลให้ ESI เพิ่มขึ้นใน treatment ที่ไม่มีเอนไซม์ จาก 0.50 ± 0.37 ที่ HPP 0 เป็น 0.72 ± 0.04 ที่ HPP 300

ค่าการละลาย (solubility) ในการใช้เอนไซม์ที่ 0.05% และ 0.2% ส่งผลให้ค่าการละลายสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ treatment ที่ไม่ใช้เอนไซม์ โดยเฉพาะการใช้เอนไซม์ในปริมาณ 0.2% ซึ่งเพิ่มค่า solubility สูงสุด การเพิ่มของค่าการละลายนี้แสดงถึงการย่อยสลายหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนที่ช่วยให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายได้ดีขึ้น ซึ่งอาจมีผลดีต่อการสร้างอิมัลชันที่มีเสถียรภาพ ผลของการใช้ HPP ทำให้ค่าการละลายลดลงใน treatment ที่ไม่ใช้เอนไซม์ จากตารางจะเห็นว่าที่ HPP 100 และ 200 MPa ค่าการละลายลดลงจาก 22.83 ± 2.66 เหลือ 11.13 ± 1.54 แต่เมื่อมีการใช้เอนไซม์ การเพิ่ม HPP สามารถเพิ่มค่าการละลายได้ โดยเฉพาะในกลุ่มเอนไซม์ 0.05% และ 0.2%.

ตาราง 21 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วลายเสือ

สิ่ง ทดลอง	Enzyme	HPP	Foam Expansion (%)	Foam Stability (%)	Emulsifying Activity Index ($\text{mg}^{-1} \times 10^{-4}$)	Emulsion Stability Index (%)	Solubility (%)
1	0	0	9.09 ± 1.56^d	98.21 ± 1.52^b	5.00 ± 4.00	0.50 ± 0.37^{cde}	24.73 ± 2.59^e
2	0	100	0.023 ± 0.21^g	99.78 ± 2.36^a	4.00 ± 2.00	0.61 ± 0.04^{de}	22.83 ± 2.66^{ef}
3	0	200	0.22 ± 0.58^g	99.78 ± 1.05^a	3.00 ± 1.00	0.62 ± 0.44^{de}	11.13 ± 1.54^g
4	0	300	0.58 ± 0.54^g	96.15 ± 1.56^d	3.00 ± 2.00	0.72 ± 0.04^{de}	21.05 ± 0.88^f
5	0.05	0	12.10 ± 1.88^c	98.63 ± 0.35^b	2.00 ± 1.00	1.26 ± 0.09^c	49.85 ± 1.36^{ab}
6	0.05	100	14.93 ± 0.85^b	96.31 ± 2.09^d	2.00 ± 3.00	0.82 ± 0.03^{cde}	32.65 ± 2.14^d
7	0.05	200	15.35 ± 1.22^b	95.58 ± 4.63^h	4.00 ± 2.00	0.64 ± 0.11^{de}	37.77 ± 1.55^c
8	0.05	300	14.65 ± 1.57^b	94.68 ± 3.15^f	1.00 ± 3.00	2.02 ± 0.12^b	31.04 ± 0.79^d
9	0.2	0	8.59 ± 1.75^{de}	97.67 ± 1.89^c	6.00 ± 5.00	0.22 ± 0.19^{de}	49.13 ± 1.39^{ab}
10	0.2	100	8.11 ± 3.01^e	97.73 ± 2.48^c	3.00 ± 1.00	0.52 ± 0.04^e	48.02 ± 1.91^b
11	0.2	200	5.68 ± 0.95^f	96.13 ± 3.15^g	3.00 ± 4.00	2.30 ± 1.04^a	52.14 ± 1.17^a
12	0.2	300	16.43 ± 2.11^a	95.89 ± 2.74^e	3.00 ± 1.00	1.08 ± 0.39^{cd}	52.05 ± 0.94^a

* $p < 0.05$ (statistical significance).

จากตารางที่ 22 ปริมาณความชื้น (Moisture content) ในสิ่งทดลองที่ไม่เติมเอนไซม์ ค่า ความชื้นจะอยู่ในช่วง 5.01–6.37% โดยที่ HPP 100, 200, และ 300 MPa จะมีค่าความชื้นที่ต่ำกว่า HPP 0 (6.18%) แสดงให้เห็นว่า HPP มีผลในการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ ค่าความชื้นของสิ่งทดลองที่เติมเอนไซม์ 0.05% จะเพิ่มขึ้นจาก $7.17 \pm 0.02\%$ ที่ HPP 0 เป็น $9.22 \pm 0.13\%$ ที่ HPP 300 MPa ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์มีผลในการเพิ่มความชื้นในผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะเมื่อใช้แรงดันสูง เนื่องจากเอนไซม์ช่วยย่อยสลายสารประกอบในผลิตภัณฑ์ เช่น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของอาหารเปลี่ยนแปลง สามารถจับน้ำได้มากขึ้น เมื่อโครงสร้างมีความสามารถในการดูดซับน้ำมากขึ้น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นมากขึ้นตามไปด้วย (Minevich et al., 2015)

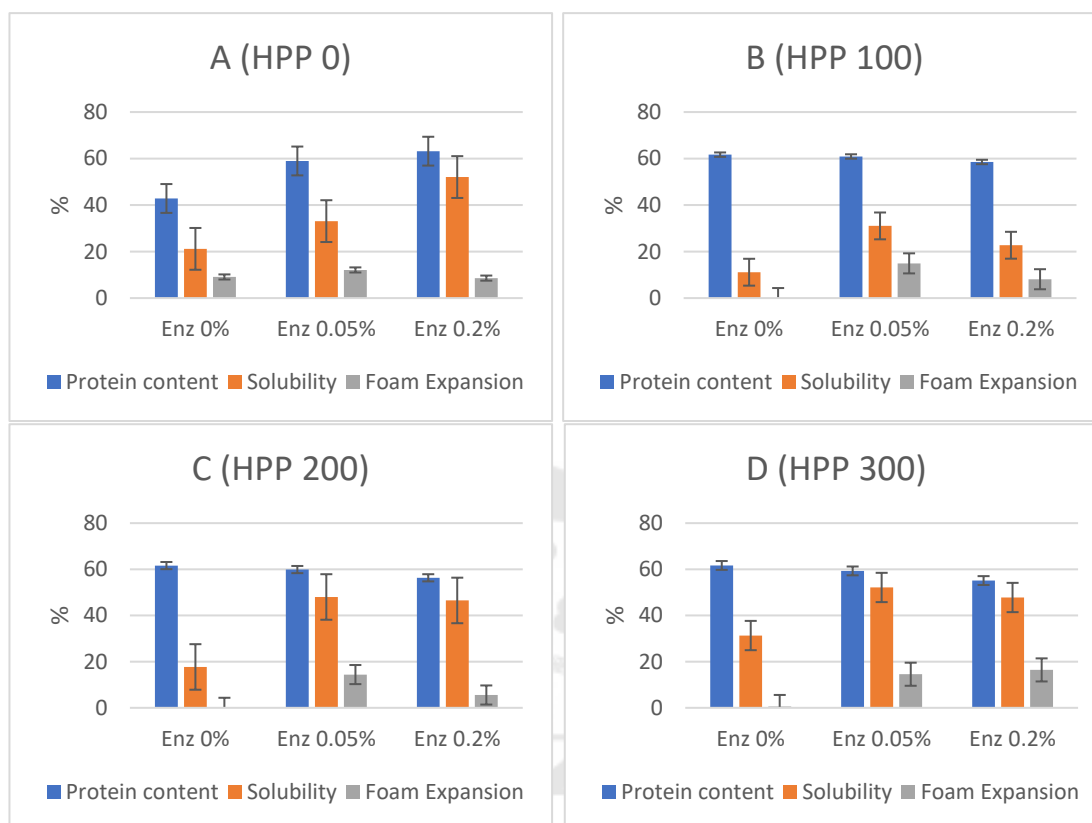
ปริมาณโปรตีน (Protein content) ของสิ่งทดลองที่ไม่เติมเอนไซม์ มีปริมาณสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบระหว่าง HPP 0 กับ HPP 100 จาก 42.84 ± 0.26 เพิ่มขึ้นเป็น 61.68 ± 1.02 แต่เมื่อเพิ่มแรงดันเป็น 200 และ 300 MPa จะเห็นว่าค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ($61.62 - 61.68\%$) แสดงให้เห็นว่า HPP ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนในผลิตภัณฑ์ได้ ปริมาณโปรตีนของสิ่งทดลองที่เติมเอนไซม์ 0.2% ลดลงจาก $63.18 \pm 0.98\%$ ที่ HPP 0 ไปเป็น 55.13 ± 2.49 ที่ HPP 300 MPa การลดลงนี้อาจเกิดจากการประมวลผลด้วยแรงดันสูง (HPP) ส่งผลให้มีการสูญเสียโปรตีนในรูปแบบต่างๆ หรือการที่เอนไซม์ทำให้โปรตีนบางส่วนถูกย่อยสลาย (Munir et al., 2019)

จากตารางจะสรุปได้ว่าผลของ HPP (High Pressure Processing) การใช้แรงดันในระดับต่างๆ จะช่วยลด ความชื้นและเพิ่มปริมาณโปรตีนของสิ่งทดลองที่ไม่เติมเอนไซม์ โดยที่ความชื้นจะเพิ่มขึ้นและปริมาณโปรตีนจะลดลงในสิ่งทดลองที่มีเอนไซม์ โดยเฉพาะในกลุ่มที่เติมเอนไซม์ 0.05% และ 0.2%

ตาราง 22 สมบัติทางเคมีและกายภาพของโปรตีนถั่วลายเสือ

สิ่งทดลอง	Enzyme	HPP	%Moisture content	%Protein content
1	0	0	6.18±0.24 ^g	42.84±0.26 ^{de}
2	0	100	5.01±1.36 ^h	61.68±1.02 ^b
3	0	200	6.37±0.21 ^g	61.62±0.25 ^b
4	0	300	5.85±0.28 ^g	61.68±0.37 ^b
5	0.05	0	7.17±0.02 ^f	58.97±0.45 ^{de}
6	0.05	100	8.16±0.16 ^e	60.89±0.48 ^{bc}
7	0.05	200	8.61±0.11 ^{de}	59.90±0.24 ^{cde}
8	0.05	300	9.22±0.13 ^c	59.31±2.46 ^{de}
9	0.2	0	18.45±0.49 ^a	63.18±0.98 ^a
10	0.2	100	10.02±0.68 ^b	58.53±0.49 ^e
11	0.2	200	8.96±0.57 ^{cd}	56.33±3.78 ^f
12	0.2	300	8.88±0.06 ^{cd}	55.13±2.49 ^{cd}

*p<0.05 (statistical significance)



ภาพประกอบ 9 เปรียบเทียบสมบัติของโปรตีน การละลาย และสมบัติการเกิดโฟมของโปรตีนถั่วลายเสื้อที่เติมและไม่เติม enzyme ($p < 0.05$) (statistical significance) โดยแบ่งเป็น 4 กราฟดังนี้

A : เปรียบเทียบเอนไซม์ 0%, 0.05% และ 0.2% ของโปรตีนถั่วลายเสื้อที่ไม่ได้รับแรงดัน

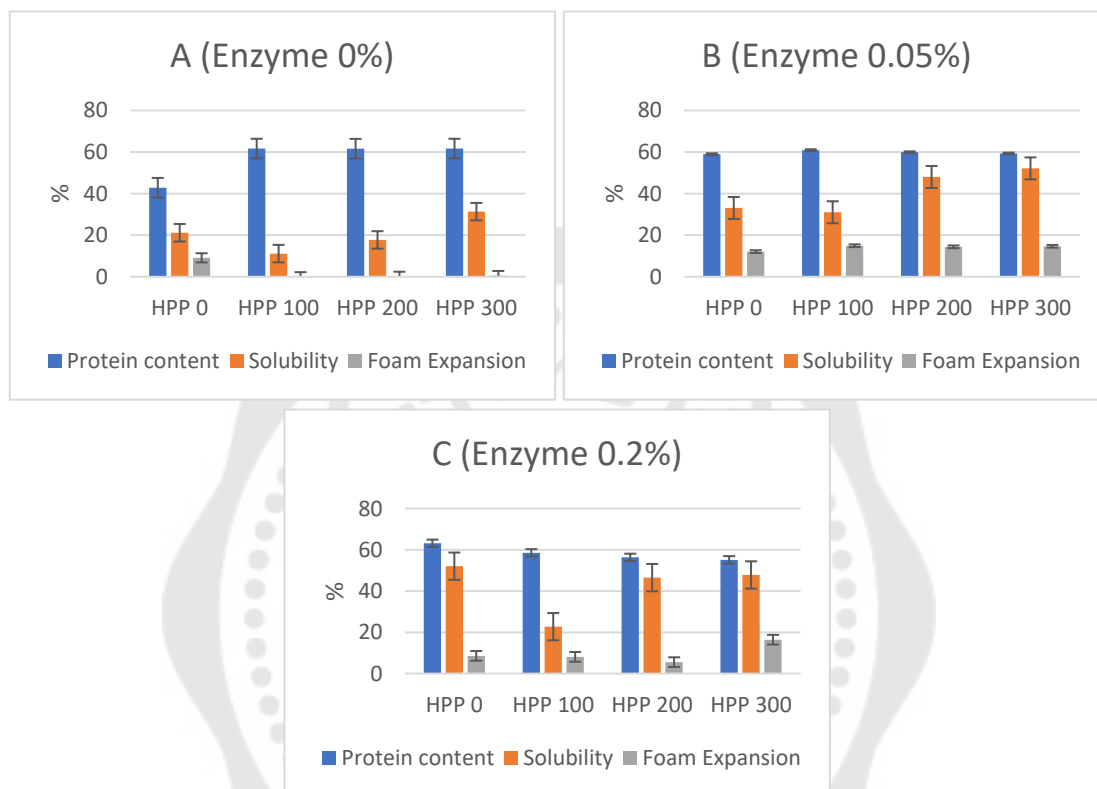
B : เปรียบเทียบเอนไซม์ 0%, 0.05% และ 0.2% ของโปรตีนถั่วลายเสื้อที่ได้รับแรงดันที่ 100 MPa

C : เปรียบเทียบเอนไซม์ 0%, 0.05% และ 0.2% ของโปรตีนถั่วลายเสื้อที่ได้รับแรงดันที่ 200 MPa

D : เปรียบเทียบเอนไซม์ 0%, 0.05% และ 0.2% ของโปรตีนถั่วลายเสื้อที่ได้รับแรงดันที่ 300 MPa

จากภาพที่ 9 จะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของปริมาณโปรตีนและค่าการละลายในแง่ของการใช้เอนไซม์ โดยการเพิ่มเอนไซม์จะช่วยเพิ่มการละลายของโปรตีน และยังช่วยให้ปริมาณโปรตีนคงที่หรือเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเอนไซม์ที่มีปริมาณมากเกินไปอาจทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองที่มีเอนไซม์ต่ำ (0.05%) เนื่องจากการแปรสภาพของโปรตีนที่เกิดขึ้น และค่าการละลายยังมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ Foam Expansion (FE) ในกรณีของเอนไซม์ที่ 0% และ 0.05% ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของโปรตีนและทำให้

โฟมสามารถขยายตัวได้ดีขึ้น ปริมาณโปรตีนและค่าการละลายส่งผลต่อค่าการขยายตัวของโฟม โดยจากกราฟจะเห็นว่าที่ค่าการละลายที่สูงจะสัมพันธ์กับค่าการขยายตัวของโฟมที่สูง เนื่องจากโปรตีนที่ละลายได้ดีช่วยให้โครงสร้างโฟมมีความยืดหยุ่นและสามารถขยายตัวได้ดี



ภาพประกอบ 10 เปรียบเทียบสมบัติของโปรตีน การละลาย และสมบัติการเกิดโฟมของโปรตีนถั่วลายเสื้อที่ได้รับแรงดันและไม่ได้รับแรงดัน ($p < 0.05$) (statistical significance) โดยแบ่งเป็น 3 กราฟดังนี้

A : เปรียบเทียบ HPP 0-300 MPa ของโปรตีนถั่วลายเสื้อที่ไม่เติมเอนไซม์

B : เปรียบเทียบ HPP 0-300 MPa ของโปรตีนถั่วลายเสื้อที่เติมเอนไซม์ 0.05%

C : เปรียบเทียบ HPP 0-300 MPa ของโปรตีนถั่วลายเสื้อที่เติมเอนไซม์ 0.2%

จากภาพที่ 10 จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นตามแรงดัน HPP ที่สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากการทำลายโครงสร้างโปรตีนที่ซับซ้อน ทำให้มีการปลดปล่อยโปรตีนออกมาในปริมาณมากขึ้น ที่ภาพ (A) enzyme 0% แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มแรงดันสามารถช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนได้ จากภาพ (B) และ (C) enzyme 0.05% และ 0.2% มีค่าที่สูงกว่า enzyme 0% และมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นตามแรงดัน HPP แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์สามารถช่วยเสริมแรงดัน HPP ในการเพิ่มขึ้นของโปรตีน

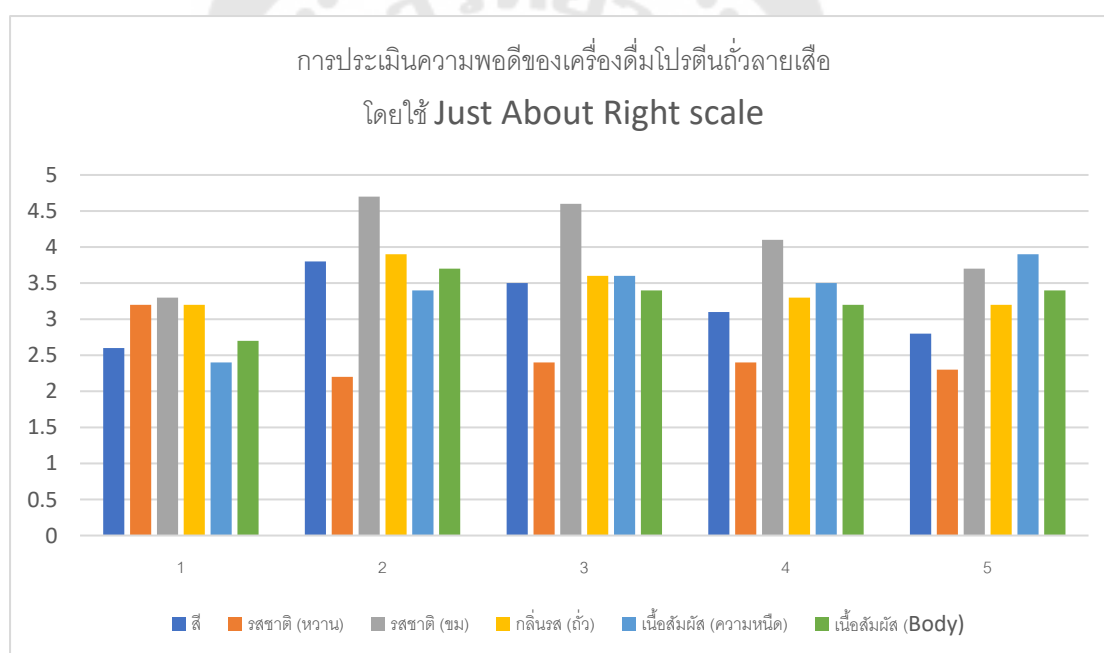
ค่าการละลายของโปรตีน จากกราฟจะเห็นได้ชัดว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามแรงดัน จากภาพ (A) ค่าการละลายเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการเพิ่มแรงดัน HPP และจากภาพ (B) และ (C) ค่าการละลายเพิ่มขึ้นไม่มากเมื่อเทียบกับ enzyme 0% ซึ่งหมายความว่าเอนไซม์สามารถช่วยให้โปรตีนละลายได้ดีกว่าและมีแรงดัน HPP เป็นตัวช่วย แรงดัน HPP ยังส่งผลต่อความสามารถในการขยายตัวของโฟม จะพบว่าจากภาพ (A) การขยายตัวของโฟมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มากเมื่อเทียบกับการใช้เอนไซม์ และจากภาพ (B) และ (C) มีการขยายตัวของโฟมสูงกว่ามากและเสถียรเมื่อเปรียบเทียบกับ enzyme 0% แสดงให้เห็นว่าเอนไซม์มีบทบาทสำคัญในการช่วยให้โปรตีนสร้างโฟมได้ดีขึ้น

4.3.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ

จากตารางที่ 23 การประเมินทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วลายเสือโดยใช้ 9-point hedonic scale โดย 1 คือไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด โดยประเมินลักษณะปรากฏ (ความขุ่น/ใส), สี, รสชาติ (รสหวาน), กลิ่นรส (กลิ่นรสถั่ว), เนื้อสัมผัส (ความหนืด), และความชอบโดยรวม โดยที่ สิ่งทดลองที่ 1 คือ ตัวควบคุม, สิ่งทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนระหว่างโปรตีนถั่วลายเสือ (TP) ต่อโปรตีนถั่วเหลือง (SPI) เป็น 100:0, สิ่งทดลองที่ 3 มีอัตราส่วนระหว่าง TP ต่อ SPI เป็น 75:25, สิ่งทดลองที่ 4 มีอัตราส่วนระหว่าง TP ต่อ SPI เป็น 50:50 และ สิ่งทดลองที่ 5 มีอัตราส่วนระหว่าง TP ต่อ SPI เป็น 25:75 จะพบว่า สิ่งทดลองที่ 1 เป็นตัวอย่างที่ได้รับความนิยมสูงสุดในทุกคุณสมบัติ โดยมีรสชาติถั่วที่ชัดเจน รสหวานที่พอเหมาะ และเนื้อสัมผัสที่ดี ต่อมาใน สิ่งทดลองที่ 2 มีคะแนนต่ำสุดในทุกคุณสมบัติ โดยเฉพาะในเรื่องของความชอบโดยรวม, ลักษณะปรากฏ, และกลิ่นรส (ถั่ว) ซึ่งสาเหตุอาจมาจากการใช้ โปรตีนถั่วลายเสือในสัดส่วนที่สูงเกินไป สิ่งทดลองที่ 3-5 ได้คะแนนในระดับปานกลาง โดย สิ่งทดลองที่ 4 ได้คะแนนสูงที่สุดในกลุ่มตัวอย่างที่ทำการทดสอบ อาจเนื่องจากการใช้โปรตีนถั่วลายเสือและโปรตีนถั่วเหลืองในสัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้รสชาติและเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับที่พอใจ ในภาพรวม สิ่งทดลองที่ 4 เป็นสูตรที่ดีที่สุดในกลุ่มนี้ ทั้งในเรื่องของรสชาติ, สี, ลักษณะภายนอก, และเนื้อสัมผัส.

ตาราง 23 การประเมินทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วลายเสือโดยใช้ 9-point hedonic scale

สิ่งทดลอง	คะแนนความชอบ					
	ความชอบโดยรวม	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ (หวาน)	กลิ่นรส (ถั่ว)	เนื้อสัมผัส (ความหนืด)
1	6.4±1.3	5.8±1.7	5.9±1.9	6.6±1.2	5.8±1.6	6.1±1.7
2	4.1±1.7	4.4±1.5	4.6±1.3	4.5±1.2	4.2±1.9	4.6±1.4
3	4.5±1.5	5.2±1.5	5.1±1.3	4.4±1.2	4.7±1.8	4.8±1.5
4	5.5±1.5	5.8±1.4	5.8±1.4	5.8±1.2	5.2±1.5	5.2±1.5
5	5.4±1.6	5.3±1.6	5.4±1.6	5.3±1.3	5.2±1.7	4.8±2.1



ภาพประกอบ 11 การประเมินความพอใจของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วลายเสือโดยใช้ Just About Right scale

จากภาพที่ 11 การประเมินทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วลายเสือโดยใช้ Just About Right scale เป็นการประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับทิศทางความพอใจของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ โดยใช้สเกลวัดความพอใจ (Just about right scale : JAR) สเกล 5 ระดับ เพื่อหาทิศทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ โดยประเมิน สี, กลิ่นรส (กลิ่นรสถั่ว), รสชาติ (รสหวานและขม), และเนื้อสัมผัส (ความหนืดและความรู้สึกภายในปาก/Body) จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่า ในด้านสี สิ่งทดลองที่ 1, 4 และ 5 เป็น

ผลิตภัณฑ์ที่ได้คะแนน "พอดี" (คะแนน 3) ซึ่งอาจจะถือว่าเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคหลายคนสามารถยอมรับได้ ส่วน สิ่งทดลองที่ 2 และ 3 มีสีที่เข้มขึ้นเล็กน้อย (คะแนน 4) ซึ่งอาจจะเหมาะสมกับผู้บริโภคที่ชอบสีที่เข้มมากกว่า ในด้านรสหวาน สิ่งทดลองที่ 1 และ 5 มีรสหวานที่พอดี (คะแนน 3) ซึ่งอาจเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภคที่ต้องการรสหวานที่ไม่มากหรือไม่น้อยเกินไป สิ่งทดลองที่ 2-4 มีรสหวานที่น้อยไปเล็กน้อย (คะแนน 2), ซึ่งอาจจะเหมาะสมกับผู้บริโภคที่ชอบรสหวานน้อยกว่า แต่สำหรับบางคนอาจจะรู้สึกว่ารสหวานไม่เพียงพอ ในด้านรสขม สิ่งทดลองที่ 1 ได้คะแนน 3 ซึ่งหมายความว่าผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีรสขมในระดับที่พอดี ไม่มากเกินไป ส่วน สิ่งทดลองที่ 2-5 มีรสขมที่เข้มขึ้นเล็กน้อย (คะแนน 4) ซึ่งอาจจะเหมาะสมกับผู้บริโภคที่ชอบรสขมมากขึ้น ในด้านรสชาติถั่ว สิ่งทดลองที่ 1, 4 และ 5 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติถั่วพอดิที่สุด (คะแนน 3) เหมาะสำหรับผู้ที่ชื่นชอบรสชาติถั่ว สิ่งทดลองที่ 2 และ 3 มีรสชาติถั่วที่เข้มข้นแต่ยังคงไม่ถึงระดับที่เด่นมากนัก (คะแนน 4) ในด้านความหนืด สิ่งทดลองที่ 2 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดพอดิ (คะแนน 3), เหมาะสำหรับผู้ที่ชอบเนื้อสัมผัสที่เบาและไม่หนืดเกินไป สิ่งทดลองที่ 3-5 มีความหนืดที่เพิ่มขึ้น (คะแนน 4) ซึ่งอาจจะเหมาะสมสำหรับผู้บริโภคที่ชอบผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสเต็มปากมากขึ้น ในส่วนของ เนื้อสัมผัส (Body) Treatment 2 มีความพอดิที่สุดในด้านเนื้อสัมผัสภายในปาก ซึ่งแสดงว่าเนื้อสัมผัส (Body) ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีความพอดิ ไม่หนักเกินไป ในขณะที่ Treatment 3-5 มีคะแนน 4 ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์มี Texture (Body) ที่หนาขึ้นและมีความเต็มปากมากขึ้น

4.3.3 ศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของเครื่องดื่มโปรตีนทางด้านกายภาพและจุลินทรีย์

เก็บรักษาเครื่องดื่มโปรตีนที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิแช่เย็น ($4-8^{\circ}\text{C}$) ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องดื่มโปรตีนด้านต่างๆ ทุกๆ 2 วันเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเครื่องดื่มโปรตีน

จากตารางที่ 24 ค่า pH ของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วลายเสือมีการเปลี่ยนแปลงจาก 6.61 ในวันที่ 1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจนถึงวันที่ 5 และลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 6.94 เป็น 6.79 ในวันที่ 6 การเพิ่มขึ้นของ pH ในช่วงแรกอาจเกิดจากการเกิดการย่อยสลายหรือกระบวนการทางเคมีภายในเครื่องดื่ม แต่ในวันที่ 6 ค่า pH ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรด ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อความเปลี่ยนแปลงของ pH ความหนืด (Viscosity) ที่ 25 rpm ของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วลายเสือเริ่มต้นที่ 72.00 cP ในวันที่ 1 และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทุกวันที่เก็บรักษา โดยเพิ่มไปถึง 115.20 cP ในวันที่ 3 และคงที่อยู่ที่ประมาณ 112.80–115.20 cP การเพิ่มขึ้นของความหนืดอาจเกิดจากการจับตัวของโปรตีนหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

อื่นๆของเครื่องต้มในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ความหนืดที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลจากการเกิด การตกตะกอนของโปรตีนที่มีความหนืดสูงขึ้นในเครื่องต้ม

ตาราง 24 คุณภาพด้านกายภาพของเครื่องต้มโปรตีนถั่วลายเสือในระหว่างการเก็บรักษา

ค่าคุณภาพ	วัน					
	1	2	3	4	5	6
pH	6.61±0.01 ^d	6.88±0.02 ^b	6.88±0.01 ^b	6.91±0.00 ^{ab}	6.94±0.04 ^a	6.79±0.05 ^c
Viscosity (25 rpm)**	72.00±1.00 ^e	96.00±1.00 ^d	115.20±0.10 ^a	115.20±0.10 ^a	112.80±0.10 ^b	106.80±0.10 ^c

*p<0.05 (statistical significance)

**หน่วย : cP

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count, TPC) แสดงให้เห็นในตารางที่ 25 ค่า TPC เริ่มต้นที่ 0.46×10^5 CFU/ml ในวันที่ 1 ซึ่งต่ำมากและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 2 ถึง 18.00×10^5 CFU/ml และสูงถึง 130.00×10^5 CFU/ml ในวันที่ 6 ค่า TPC ที่สูงในวันที่ 6 อาจบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ในเครื่องต้ม ซึ่งอาจทำให้คุณภาพของเครื่องต้มลดลง การเพิ่มขึ้นนี้อาจเกิดจากสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในเครื่องต้ม ซึ่งมาตรฐาน TPC สำหรับเครื่องต้มโปรตีนถั่วจะต้องไม่เกิน 100,000 CFU/ml หรือ 1×10^5 CFU/ml (colony forming units per milliliter) ตามที่กำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2543) หากค่า TPC สูงกว่านี้อาจบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพหรือความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 25 ค่า TPC มีค่า 46,000 CFU/ml (0.46×10^5 CFU/ml) ดังนั้น ค่า TPC ที่ 46,000 CFU/ml ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ตามมาตรฐานของ อย. และไม่เกินค่าที่กำหนดสำหรับการปนเปื้อนของจุลินทรีย์

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณยีสต์และเชื้อราทั้งหมด (Total Yeast and Mold Count, TYMC) ค่า TYMC คือ การวัดจำนวนของยีสต์และราในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่อาจมีผลต่อความเสี่ยงในการเสื่อมสภาพของอาหาร เป็นการประเมินว่าผลิตภัณฑ์มีการปนเปื้อนของยีสต์หรือราที่อาจทำให้เกิดการบูด เสีย หรือทำให้มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยค่า TYMC เริ่มต้นที่ 70.00 CFU/ml ในวันแรก และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเป็น 350.00 CFU/ml ในวันที่ 2 ก่อนที่จะลดลงมาที่ 52.00 CFU/ml ในวันที่ 3 แต่กลับเพิ่มขึ้นสูงถึง 2100.00 CFU/ml ในวันที่ 6 การเพิ่มขึ้น

ของ TYMC ในวันที่ 6 เป็นการบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตอย่างมากของยีสต์และราในเครื่องดื่ม ค่า TYMC ที่สูงในวันที่ 6 แสดงให้เห็นว่ามีการเจริญเติบโตของยีสต์และราในเครื่องดื่ม ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพและรสชาติของผลิตภัณฑ์ การเจริญเติบโตของยีสต์และราที่สูงขึ้นในวันสุดท้ายแสดงให้เห็นถึงความเสื่อมสภาพของเครื่องดื่มในระหว่างการเก็บรักษา

มาตรฐาน TYMC ของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วตามข้อกำหนดของอย. จะต้องไม่เกิน 100 CFU/ml (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2543) หากค่าเกินกว่านี้ จะบ่งชี้ถึงความเสี่ยงจากการเจริญเติบโตของเชื้อราและยีสต์ ซึ่งอาจมีผลต่อรสชาติ ความปลอดภัย หรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 25 ค่า TYMC มีค่า 70 CFU/ml ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานทั่วไป (≤ 100 CFU/ml) ซึ่งหมายความว่า ผลิตภัณฑ์นี้มีการปนเปื้อนของยีสต์และราในระดับที่สามารถยอมรับได้ตามข้อกำหนดในอุตสาหกรรม

ตาราง 25 คุณภาพด้านจุลินทรีย์ของเครื่องดื่มโปรตีนถั่วลายเสือในระหว่างการเก็บรักษา

ค่า	วัน					
คุณภาพ	1	2	3	4	5	6
TPC*	0.46 $\pm$ 1.00 ^f	18.00 $\pm$ 1.00 ^c	1.50 $\pm$ 1.00 ^e	82.00 $\pm$ 1.00 ^b	4.00 $\pm$ 1.00 ^d	130.00 $\pm$ 1.00 ^a
TYMC**	70.00 $\pm$ 1.00 ^d	350.00 $\pm$ 1.00 ^c	52.00 $\pm$ 1.00 ^e	350.00 $\pm$ 1.00 ^c	470.00 $\pm$ 1.00 ^b	2100.00 $\pm$ 1.00 ^a

*TPC : Total Plate Count (unit*10⁵)

**TYMC : Total Yeast and Mold Count

$p < 0.05$ (statistical significance)

Unit (colony/mL)

จากตารางที่ 24 และ 25 จะแสดงให้เห็นว่า วันที่ 1-3 เครื่องดื่มเริ่มต้นมีคุณภาพที่ดี ค่า pH ค่อนข้างคงที่ ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่า TPC และ TYMC ยังไม่สูงมาก โดยทั่วไปเครื่องดื่มสามารถเก็บรักษาได้ในช่วงนี้ เมื่อเข้าวันที่ 4-6 เครื่องดื่มเริ่มแสดงสัญญาณของการเสื่อมสภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในวันที่ 6 ที่ค่า TYMC สูงถึง 2100.00 CFU/ml และค่า TPC ก็สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งบ่งชี้ว่าเครื่องดื่มเริ่มมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์เริ่มลดลง และจุลินทรีย์เริ่มต้นของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานของ อย. และไม่เกินค่าที่กำหนดสำหรับการปนเปื้อนของจุลินทรีย์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 ศึกษาพฤติกรรมและทัศนคติของกลุ่มเป้าหมาย

ในปัจจุบันที่ผู้บริโภคให้ความสนใจเรื่องสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น ผู้บริโภค Gen Z โดยเฉพาะกลุ่มที่ใส่ใจต่อผลกระทบของการผลิตอาหารต่อธรรมชาติ ได้เริ่มหันมาสนใจผลิตภัณฑ์จากพืชเพื่อช่วยสนับสนุนความยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาหารที่ทำจากพืช เช่น Plant-based Protein (โปรตีนจากพืช) กำลังได้รับความนิยมมากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภคที่มีความตระหนักในเรื่องของสุขภาพและสิ่งแวดล้อม แม้จะมีการตระหนักถึงประโยชน์ที่มาจากการทานผลิตภัณฑ์เหล่านี้ แต่ก็ยังมีปัจจัยบางประการที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ซึ่งคือ ปริมาณสารอาหาร รสชาติ และราคา ที่ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ Plant-based Protein ของผู้บริโภค Gen Z ยังมีข้อจำกัดบางประการ โดยเฉพาะ รสชาติ และ ราคา ที่ยังคงเป็นปัจจัยหลักที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ แม้ว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่จะมองว่าอาหารจากพืชมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรค แต่พวกเขาก็ยังคงให้ความสำคัญกับรสชาติเป็นอันดับแรก นอกจากนี้ ราคายังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้ผู้บริโภครู้สึกว่าอาหารจากพืชมักจะมีราคาแพง และอาจจะไม่คุ้มค่าที่จะจ่าย

5.2 ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการแปรรูปที่มีต่อสมบัติของถั่วลายเสือ

ถั่วลายเสือจัดเป็นพืชโปรตีนที่มีความจำเพาะทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ถั่วลายเสือที่ผ่านการแปรรูปพบว่ามีโปรตีนสูง (42.84-44.79 กรัม/100กรัม) และมีไขมันต่ำ (6.74-9.07 กรัม/100กรัม) การคั่วและการนึ่งทำให้ปริมาณกรดอะมิโนลดลงเล็กน้อย เช่นค่า valine ของ ROS_PEA และ CLAV_PEA ลดลงจาก RAW_PEA ที่ 2.44 และ 12.20% ตามลำดับ ค่า leucine ของ ROS_PEA และ CLAV_PEA ลดลงจาก RAW_PEA ที่ 1.56 และ 10.94% หลังจากการคั่ว ความสามารถในการดูดซับน้ำและปริมาณไขมันลดลง 9.03 และ 25.69% ตามลำดับ ในขณะที่การขยายตัวของโฟมและความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น 91.42 และ 42.03% ตามลำดับ ซึ่งค่าที่เพิ่มขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นผลให้ถั่วลายเสือที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยการคั่ว มีองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารได้ และถือได้ว่าเป็นส่วนผสมที่มีประโยชน์สำหรับผู้บริโภค

5.3 ศึกษาอิทธิพลของการใช้แรงดันสูง (high pressure processing) ร่วมกับเอนไซม์ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนจากถั่วลายเสือ วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

การศึกษาค้นคว้าผลของการใช้เอนไซม์ร่วมกับแรงดันสูง (HPP) โดยมีการทดลองกับเอนไซม์ปาเปนในความเข้มข้นต่างๆ (0%, 0.05%, และ 0.2%) และแรงดันที่ระดับต่างๆ (0, 100, 200, 300 MPa) พบว่าการเพิ่มเอนไซม์ที่ 0.05% ช่วยให้การขยายตัวของโฟมเพิ่มขึ้นในทุกๆ ระดับของ HPP โดยเฉพาะที่ 100, 200 MPa ซึ่งแสดงผลการขยายตัวที่ดีที่สุด (14.93 ± 0.85 และ 15.35 ± 1.22) ขณะที่เอนไซม์ 0.2% ทำให้ค่าการขยายตัวของโฟมลดลงที่แรงดันต่ำ แต่เพิ่มขึ้นที่ HPP 300 MPa (16.43 ± 2.11) เอนไซม์ช่วยเพิ่มความเสถียรของอิมัลชัน โดยที่เอนไซม์ 0.05% และ 0.2% ส่งผลดีเมื่อใช้ HPP ที่ระดับสูง โดยค่า ESI เพิ่มขึ้นที่ HPP 300 MPa และ 200 MPa ตามลำดับ การใช้เอนไซม์ช่วยเพิ่มค่าการละลายของโปรตีน โดยเฉพาะในเอนไซม์ 0.2% และสามารถสร้างอิมัลชันที่เสถียรอีกด้วย HPP ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีเอนไซม์ ในขณะที่การใช้เอนไซม์ 0.2% พบว่ามีการลดลงของโปรตีนที่แรงดันสูง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้เอนไซม์ การใช้แรงดันสูง และการใช้เอนไซม์ร่วมกับแรงดันสูงช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วลายเสือได้ โดยเฉพาะการใช้เอนไซม์ 0.2% ร่วมกับการใช้แรงดันสูง 300 MPa

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การใช้โปรตีนถั่วลายเสือในสูตรต่างๆ พบว่า การผสมโปรตีนถั่วลายเสือกับโปรตีนถั่วเหลืองในสัดส่วนที่เหมาะสม (50:50) ได้รับคะแนนสูงสุดในทุกคุณสมบัติ เช่น รสชาติ สี และเนื้อสัมผัส การเก็บรักษาเครื่องดื่มที่อุณหภูมิแช่เย็นแสดงให้เห็นว่าในช่วง 1-3 วัน เครื่องดื่มยังคงคุณภาพดี แต่ในวันที่ 4-6 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เริ่มลดลง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์เริ่มลดลง และจุลินทรีย์เริ่มต้นของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานของ อย. และไม่เกินค่าที่กำหนดสำหรับการปนเปื้อนของจุลินทรีย์

บรรณานุกรม

- Abdel-Naeem, H. H. S., & Mohamed, H. M. H. (2016). Improving the physico-chemical and sensory characteristics of camel meat burger patties using ginger extract and papain. *Meat Science*, 118, 52-60.
- Abera W/giorgis, G. (2019). Review on high-pressure processing of foods. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1568725.
- AOAC. (2000). *Official Method of Analysis*: The Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Aschemann-Witzel, J., Gantriis, R. F., Fraga, P., & Perez-Cueto, F. J. A. (2021). Plant-based food and protein trend from a business perspective: markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. *Critical reviews in food science and nutrition*, 61(18), 3119-3128.
- Balasubramaniam, V. M., & Farkas, D. (2008). High-pressure Food Processing. *Food Science and Technology International*, 14(5), 413-418.
- Blomstrand, E., Eliasson, J., Karlsson, H. K. R., & Köhnke, R. (2006). Branched-Chain Amino Acids Activate Key Enzymes in Protein Synthesis after Physical Exercise*, †, **. *The Journal of Nutrition*, 136(1), 269S-273S.
- Burger, T. G., Singh, I., Mayfield, C., Baumert, J. L., & Zhang, Y. (2022). Comparison of physicochemical and emulsifying properties of commercial pea protein powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(6), 2506-2514.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques*. New York.
- Damodaran, S. (2005). Protein Stabilization of Emulsions and Foams. *Journal of food science*, 70(3), R54-R66.
- Dolot, A. (2018). The characteristics of Generation Z. *E-mentor*, 74(2), 44-50.
- Erdmann, K., Cheung, B. W. Y., & Schröder, H. (2008). The possible roles of food-derived bioactive peptides in reducing the risk of cardiovascular disease. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 19(10), 643-654.
- Garcia-Mora, P., Peñas, E., Frias, J., Zieliński, H., Wiczowski, W., Zielińska, D., &

- Martínez-Villaluenga, C. (2016). High-Pressure-Assisted Enzymatic Release of Peptides and Phenolics Increases Angiotensin Converting Enzyme I Inhibitory and Antioxidant Activities of Pinto Bean Hydrolysates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(8), 1730-1740.
- Hutton, C., & Campbell, A. (2006). Functional properties of a soy concentrate and soy isolate in simple systems. Nitrogen Solubility Index and water absorption. *Journal of food science*, 42, 454-456.
- Kaspar, H., Dettmer, K., Chan, Q., Daniels, S., Nimkar, S., Daviglus, M. L., . . . Oefner, P. J. (2009). Urinary amino acid analysis: A comparison of iTRAQ®-LC-MS/MS, GC-MS, and amino acid analyzer. *Journal of Chromatography B*, 877(20), 1838-1846.
- Katsube, T., Tabata, H., Ohta, Y., Yamasaki, Y., Anuurad, E., Shiwaku, K., & Yamane, Y. (2004). Screening for Antioxidant Activity in Edible Plant Products: Comparison of Low-Density Lipoprotein Oxidation Assay, DPPH Radical Scavenging Assay, and Folin—Ciocalteu Assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(8), 2391-2396.
- Kim, J.-E., & Lee, H.-G. (2021). Amino acids supplementation for the milk and milk protein production of dairy cows. *Animals*, 11(7), 2118.
- Kim, S., & Holtzaple, M. T. (2006). Effect of structural features on enzyme digestibility of corn stover. *Bioresource Technology*, 97(4), 583-591.
- Kristinsson, H. G. (2007). 10 - Aquatic food protein hydrolysates F. Shahidi *Maximising the Value of Marine By-Products* (pp. 229-248): Woodhead Publishing.
- Li, P., Yin, Y.-L., Li, D., Woo Kim, S., & Wu, G. (2007). Amino acids and immune function. *British Journal of Nutrition*, 98(2), 237-252.
- Martínez-Monteagudo, S. I., & Balasubramaniam, V. M. (2016). Fundamentals and Applications of High-Pressure Processing Technology V. M. Balasubramaniam, G. V. Barbosa-Cánovas, & H. L. M. Lelieveld *High Pressure Processing of Food: Principles, Technology and Applications* (pp. 3-17). New York, NY: Springer New York.
- Meinlschmidt, P., Brode, V., Sevenich, R., Ueberham, E., Schweiggert-Weisz, U.,

- Lehmann, J., . . . Eisner, P. (2017). High pressure processing assisted enzymatic hydrolysis – An innovative approach for the reduction of soy immunoreactivity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 40, 58-67.
- Meinlschmidt, P., Sussmann, D., Schweiggert-Weisz, U., & Eisner, P. (2016). Enzymatic treatment of soy protein isolates: effects on the potential allergenicity, technofunctionality, and sensory properties. *Food science & nutrition*, 4(1), 11-23.
- Méx, B. S. Q. (2008). Emulsifying properties of proteins. *Boletín de la Sociedad*, 2(2), 80.
- Minevich, J., Olson, M. A., Mannion, J. P., Boublik, J. H., McPherson, J. O., Lowery, R. P., . . . Jäger, R. (2015). Digestive enzymes reduce quality differences between plant and animal proteins: a double-blind crossover study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12(sup1), P26.
- Mozhaev, V. V., Heremans, K., Frank, J., Masson, P., & Balny, C. (1996). High pressure effects on protein structure and function. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 24(1), 81-91.
- Munir, M., Nadeem, M., Qureshi, T. M., Leong, T. S. H., Gamlath, C. J., Martin, G. J. O., & Ashokkumar, M. (2019). Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems — A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 57, 102192.
- OUPPAMA, C., & MAHAYOTHEE, B. (2022). *Influence of foam-mat drying on quality, bioactive compounds and sensory evaluation of melon powder*. Silpakorn University.
- Ozias-Akins, P., & Breiteneder, H. (2019). The functional biology of peanut allergens and possible links to their allergenicity. *Allergy*, 74(5), 888-898.
- Pearce, K. N., & Kinsella, J. E. (1978). Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(3), 716-723.
- Perren, R., & Escher, F. E. (2013). 8 - Impact of roasting on nut quality L. J. Harris *Improving the Safety and Quality of Nuts* (pp. 173-197): Woodhead Publishing.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Balasubramaniam, V. M., Niranjana, K., & Knorr, D.

- (2007). Opportunities and Challenges in High Pressure Processing of Foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 47(1), 69-112.
- Rovenský, J., Stančíková, M., Švík, K., Bauerová, K., & Jurčovičová, J. (2011). The effects of β -glucan isolated from *Pleurotus ostreatus* on methotrexate treatment in rats with adjuvant arthritis. *Rheumatology International*, 31(4), 507-511.
- Saikia, S., Mahnot, N. K., & Mahanta, C. L. (2015). Effect of Spray Drying of Four Fruit Juices on Physicochemical, Phytochemical and Antioxidant Properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1656-1664.
- Saklar, S., Ungan, S., & Katnas, S. (2003). Microstructural changes in hazelnuts during roasting. *Food Research International*, 36(1), 19-23.
- Schwenke, K. D. (1996). Food Proteins. Properties and Characterization. Edited by S. Nakai and H. W. Modler. IX and 544 pages, numerous figures and tables. VCH Publishers, New York, Weinheim, Cambridge 1996. Price: 188.– DM. *Food / Nahrung*, 40(6), 348-348.
- Shi, X., Davis, J. P., Xia, Z., Sandeep, K. P., Sanders, T. H., & Dean, L. O. (2017). Characterization of peanuts after dry roasting, oil roasting, and blister frying. *LWT*, 75, 520-528.
- Sim, S. Y. J., & Moraru, C. I. (2020). High-pressure processing of pea protein–starch mixed systems: Effect of starch on structure formation. *Journal of Food Process Engineering*, 43(2), e13352.
- Srinivas, M., Madhu, B., Srinivas, G., & Jain, S. (2018). High Pressure Processing of Foods: A Review. 467-476.
- Stute, R., Heilbronn, Klingler, R. W., Boguslawski, S., Eshtiaghi, M. N., & Knorr, D. (1996). Effects of High Pressures Treatment on Starches. *Starch - Stärke*, 48(11-12), 399-408.
- Van Oort, M. (2009). Enzymes in Food Technology – Introduction (pp. 1-17).
- Villiers, M., Cheng, J., & Truter, L. (2024). The Shift Towards Plant-Based Lifestyles: Factors Driving Young Consumers' Decisions to Choose Plant-Based Food Products. *Sustainability*, 16, 9022.

- Wagner, J. R., Sorgentini, D. A., & Añón, M. C. (2000). Relation between Solubility and Surface Hydrophobicity as an Indicator of Modifications during Preparation Processes of Commercial and Laboratory-Prepared Soy Protein Isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3159-3165.
- Wang, H., Guo, W., Zheng, C., Wang, D., & Zhan, H. (2017). Effect of Temperature on Foaming Ability and Foam Stability of Typical Surfactants Used for Foaming Agent. *Journal of Surfactants and Detergents*, 20(3), 615-622.
- Wierenga, P. A., & Gruppen, H. (2010). New views on foams from protein solutions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 15(5), 365-373.
- Wilson, R. P. (2003). 3 - Amino Acids and Proteins J. E. Halver & R. W. Hardy *Fish Nutrition (Third Edition)* (pp. 143-179). San Diego: Academic Press.
- Yin, S.-W., Tang, C.-H., Wen, Q.-B., Yang, X.-Q., & Li, L. (2008). Functional properties and in vitro trypsin digestibility of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolate: Effect of high-pressure treatment. *Food Chemistry*, 110(4), 938-945.
- การเคหะแห่งชาติ. (2566). รายงานข้อมูลประชากรและบ้าน ปี 2565: กองยุทธศาสตร์และสารสนเทศที่อยู่อาศัย ฝ่ายวิชาการและพัฒนานวัตกรรมเพื่อที่อยู่อาศัย.
- เทพอรุณรัตน์, ส. (2546). เทคโนโลยีการผลิตอาหารด้วยความดันสูง (High pressure processing). *วารสารกริทยาศาสตร์บริการ*, 51(163), 5.
- น้ำมันถั่วเหลืองในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท, (2543).
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2563). กระแสรักสุขภาพจากโควิด สร้างโอกาสธุรกิจ SME. *K SME Analysis*.
- สมปอง ธรรมศิริรักษ์. (2550). โครงสร้างและหน้าที่ของโปรตีน. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์).
- สำนักโภชนาการ กรมอนามัย. (2561). ตารางแสดงโภชนาการของอาหารไทย. กระทรวงสาธารณสุข.
- เหมะภูลิน, ศ., ริน, ส., & เรืองทิพย์, ร. (2023). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่ม น้ำมันถั่วเหลืองโดยวิธีปั่นผิวดอสนอง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 25(3), 75-86.
- อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเพื่อสถาบันอาหาร. (2563). กลยุทธ์การพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพและโภชนาการสมัย. โครงการพัฒนาศูนย์วิจัยและอุตสาหกรรมอาหารปีงบประมาณ พ.ศ. 2563.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Nichanan Kaewnualpan
วัน เดือน ปี เกิด	21 Nov 2000
สถานที่เกิด	Bangkok
วุฒิการศึกษา	Srinakharinwirot University
ที่อยู่ปัจจุบัน	1021/53 หมู่บ้านศรีเพชร แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160
ผลงานตีพิมพ์	No
รางวัลที่ได้รับ	No

