ผลของการใช้โปรตีนสกัดจากถั่วลันเตา ถั่วแระ ถั่วปากอ้าต่อคุณลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากขนุนอ่อน

พิมชนก รุ่งไหรัญ[1] ปาริสุทธิ์ เฉลิมชัยวัฒน์[2] สุจิตตา เรืองรัศมี[3*]

Received : February 21,2025
Revised : May 21, 2025
Accepted : May 31, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมโปรตีนไอโซเลต (Protein Isolate) ที่สกัดจากถั่วลันเตา (Green Pea Protein Isolate: GPPI) ถั่วแระ (Pigeon Pea Protein Isolate: PPI) และถั่วปากอ้า (Fava Bean Protein Isolate: FBPI) โดยเน้นการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการให้ใกล้เคียงกับไส้กรอกเนื้อสัตว์ จากการทดลองพบว่า ขนุนอ่อนมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงเทียบเท่ากับกรดแอสคอร์บิก 193.56 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 3.76 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติทางโภชนาการที่ดี ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพพบว่า ไส้กรอกที่เสริมโปรตีนจากถั่วแระมีค่าความสว่าง (L^*) สูงสุด 53.11 และมีค่าความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Chewiness) ที่เหมาะสม ส่วนไส้กรอกแพลนต์เบสที่เสริมโปรตีนจากถั่วปากอ้ามีความชื้นสูงสุด ($p<0.05$) ร้อยละ 69.02 และมีเนื้อสัมผัสที่แน่นและยืดหยุ่นดี ในขณะที่ไส้กรอกแพลนต์เบสที่เสริมโปรตีนจากถั่วลันเตามีความชื้นและโปรตีนปานกลาง แต่มีเนื้อสัมผัสที่เบาและเคี้ยวง่ายกว่า จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าไส้กรอกแพลนต์เบสที่เสริมโปรตีนจากถั่วลันเตาได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p\geq0.05$) ในขณะที่ไส้กรอกแพลนต์เบสที่เสริมโปรตีนจากถั่วปากอ้า ได้รับคะแนนสูงในด้านกลิ่น ($p<0.05$) แต่อาจต้องปรับปรุงด้านลักษณะปรากฏและสี สำหรับไส้กรอกแพลนต์เบสที่ผลิตจากโปรตีนถั่วแระมีค่าคะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสอยู่ในระดับพอใจเล็กน้อย ดังนั้นโปรตีนสกัดจากถั่วลันเตามีศักยภาพสูงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อน เนื่องจากให้เนื้อสัมผัสที่เหมาะสมและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้โปรตีนจากพืชเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกที่มีคุณภาพและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

คำสำคัญ: ขนุนอ่อน โปรตีนไอโซเลต สารต้านอนุมูลอิสระ ไส้กรอกแพลนต์เบส

[1] *นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: pimchanok.rung@ku.th*

[2] *รองศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: fagrpsch@ku.ac.th*

[3] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: agrstrm@ku.ac.th*

** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: agrstrm@ku.ac.th*

EFFECTS OF GREEN PEA, PIGEON BEAN, AND FAVA BEAN PROTEIN ISOLATES ON THE PHYSICAL CHARACTERISTICS AND NUTRITIONAL VALUE OF JACKFRUIT SAUSAGE PRODUCTS

Pimchanok Runghairun[1] Parisut Chalermchaiwat[2] Sujitta Raungrusmee[3*]

Abstract

This study was aimed to develop and evaluate the physical and chemical properties as well as nutritional value of plant-based sausage products made from young jackfruit, supplemented with protein isolates extracted from green peas (Green Pea Protein Isolate: GPPI), and pigeon peas (Pigeon Pea Protein Isolate: PPI), and fava beans (Fava Bean Protein Isolate: FBPI). The primary focus was on improving texture and nutritional value to be similar to meat sausages. The experimental results were indicated that young jackfruit exhibits high antioxidant potential, comparable to 193.56 milligram of ascorbic acid per 100 grams and contains a total phenolic content of 3.76 milligram per gram/gram, highlighting its nutritional benefits. The analysis of physical properties were revealed that plant-based sausages supplemented with pigeon pea protein exhibited the highest lightness (L^*) value of 53.11 and had appropriate hardness and chewiness. The plant-based sausages supplemented with fava bean protein had the highest moisture content ($p<0.05$) at 69.02%, with a firm and elastic texture. Meanwhile, the plant-based sausages supplemented with green pea protein demonstrated moderate moisture and protein content but had a lighter and more easily chewable texture. Consumer acceptance testing was indicated that the plant-based sausages supplemented with green pea protein received the highest overall acceptability scores for taste, texture, and overall preference, with no significant difference from the control formulation ($p\geq0.05$). In contrast, the plant-based sausages with fava bean protein supplementation were highly scored for aroma ($p<0.05$) but requiring improvements in appearance and color. The plant-based sausages supplemented with pigeon pea protein isolated received sensory acceptance scores at a slightly satisfactory level. Therefore, green pea protein isolate showed strong potential for the development of plant-based sausages that were made from young jackfruit, as it provided an optimal texture and high nutritional value. The current study has been highlighted the feasibility of utilizing plant-based proteins in the development of high-quality, consumer-accepted alternative food products.

Keywords: Young jackfruit, Protein isolate, Antioxidant, Plant-based sausage

---

[1] Student, Master of Science Program in Home Economics, Kasetsart University, e-mail: pimchanok.rung@ku.th

[2] Associate Professor, Department of Home Economics, Kasetsart University, e-mail: fagrpsch@ku.ac.th

[3] Assistant Professor, Department of Home Economics, Kasetsart University, e-mail: agrstrm@ku.ac.th

** Corresponding author, e-mail: agrstrm@ku.ac.th*

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการอาหารทางเลือกที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารทางเลือกจากพืชหรืออาหารแพลนต์เบส (Plant-based food) ซึ่งคาดว่าจะเติบโตในอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีมูลค่าตลาดทั่วโลกประมาณ 52.42 ล้านดอลลาร์สหรัฐในปีคริสต์ศักราช 2025 และคาดว่าตลาดจะเติบโตอีกร้อยละ 7.45 ต่อปี (Statista, 2025) ซึ่งส่งผลให้เกิดการค้นหาผลิตภัณฑ์ทางเลือกที่ยั่งยืน มีคุณค่าทางโภชนาการ และน่ารับประทานมากขึ้น (Boukid, 2021; Baune et al., 2022) เนื่องจากผู้บริโภคเริ่มตระหนักถึงผลกระทบของปศุสัตว์ต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และต้องการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตภาคปศุสัตว์มีสัดส่วนถึง 1 ใน 4 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมา (Menegat et al., 2022) นอกจากนี้ไส้กรอกแบบดั้งเดิมที่ทำจากเนื้อแดงมักมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ เนื่องจากมีปริมาณไขมันอิ่มตัวและโซเดียมสูง ซึ่งเกี่ยวข้องกับโรคหัวใจและโรคเรื้อรังอื่น ๆ องค์การวิจัยมะเร็งนานาชาติได้จัดให้เนื้อแดงนั้นเป็นอาหารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ โดยเฉพาะมะเร็งลำไส้ใหญ่ถึงร้อยละ 18 หากบริโภคเนื้อแดงแปรรูปเพียง 50 กรัมต่อวัน (Boada et al., 2016) ด้วยเหตุนี้ ไส้กรอกจากพืชหรือไส้กรอกแพลนต์เบส (Plant-based sausage) จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ โดยมีเป้าหมายที่จะเลียนแบบเนื้อสัมผัส รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อสัตว์ พร้อมลดความเสี่ยงด้านสุขภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Ettinger et al., 2022) โดยในปัจจุบันมีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้วยโปรตีนไอโซเลตจากพืช (Plant protein isolates) เนื่องด้วยโปรตีนไอโซเลตจากพืชมีความสามารถในการสร้างเจล การอุ้มน้ำ และการเกิดอิมัลชันที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหาร (Ma et al., 2022)

ขนุนอ่อน (*Artocarpus heterophyllus*) กำลังได้รับความนิยมในฐานะวัตถุดิบจากพืชที่สามารถใช้ทดแทนเนื้อสัตว์ได้ เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสเป็นเส้นใยคล้ายเนื้อสัตว์เมื่อนำไปปรุงสุก (Khan et al, 2023) นอกจากนี้ ขนุนอ่อนยังมีเส้นใยอาหารสูง ไขมันต่ำ และมีเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการผลิตมาก อย่างไรก็ตาม ขนุนอ่อนมีโปรตีนในปริมาณต่ำ ซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคที่มองหาอาหารจากพืชที่มีโปรตีนสูง ด้วยเหตุนี้ โปรตีนสกัดจากถั่วแบบเข้มข้นซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีโปรตีนสูง จึงถูกนำมาใช้ร่วมกับขนุนอ่อนเพื่อให้ได้คุณค่าทางโภชนาการที่สมดุลและมีคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่ดีของ Wijegunawardhana et al. (2021) มีการศึกษาที่ชี้ให้เห็นว่าเจลอิมัลชันที่ทำจากวัตถุดิบจากพืช เช่น โปรตีนถั่วลันเตา สามารถทดแทนไขมันสัตว์และคอลลาเจนในสูตรไส้กรอกได้อย่างประสบความสำเร็จ ซึ่งช่วยเพิ่มเนื้อสัมผัสและความสามารถในการกักเก็บน้ำ (Corrêa et al., 2023) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาเน้นการใช้โปรตีนพืชเพียงชนิดเดียว หรือใช้กระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนสูง เช่น การอัดรีด (Extrusion) ในการผลิตไส้กรอกจากพืช

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ โปรตีนไอโซเลตจากถั่ว 3 ชนิดที่สามารถเพาะปลูกได้ในประเทศไทยที่มีมีคุณสมบัติที่ดีในการช่วยการผลิตไส้กรอกแพลนต์เบสและสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้ โดยถั่วทั้งสามชนิดได้แก่ ถั่วลันเตา (GPPI; Green Pea Protein Isolate) ถั่วแระ (PPI ; Pigeon Pea Protein Isolate) และ ถั่วปากอ้า (FBPI; Fava Bean Protein Isolate) ร่วมกับขนุนอ่อน ซึ่งเป็นวัตถุดิบพื้นถิ่นที่มีเส้นใย

และความชุ่มชื้นสูง เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสที่มีทั้งคุณภาพด้านโภชนาการและความยอมรับทางประสาทสัมผัส

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในขนุนอ่อน
2. เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการทำไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อน
3. เพื่อศึกษาผลของการใช้โปรตีนสกัดจากถั่วลันเตา ถั่วแระ ถั่วปากอ้าต่อคุณลักษณะทางกายภาพและ คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างขนุนอ่อน

การเตรียมตัวอย่างขนุนอ่อน ดัดแปลงจากวิธีของ Wijegunawardhana et al. (2021) โดยนำขนุนอ่อนที่ได้มาจากตลาดสี่มุมเมืองมาปอกเปลือกแล้วล้างน้ำไหลผ่าน สะเด็ดน้ำ หั่นเป็นชิ้นแยกเมล็ดออก จากนั้นต้มในน้ำร้อน 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที กรองเอาน้ำออก แช่ในอ่างน้ำแข็งอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นสะเด็ดน้ำ บรรจุในถุงอะลูมิเนียมแบบสุญญากาศและนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อเก็บไว้ใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)

นำขนุนอ่อนไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน (Binder รุ่น FD 115, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้ง แล้วบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างขนุนอ่อนอบแห้งป่นที่ 2 กรัม แล้วเติมเมทานอลปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้ววางบนเครื่องกวนสารละลาย (IKA รุ่น C-MAG HS7, Germany) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จึงนำสารละลายตัวอย่างไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงสาร (Beckman Coulter รุ่น Allegra X-15R Centrifuge, USA) ที่ 3,300 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เทส่วนใสลงในขวดรูปชมพู่ที่กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 สกัดซ้ำด้วยขั้นตอนเดิมอีกครั้ง ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 50 มิลลิลิตรด้วยเมทานอล จากนั้นศึกษาสมบัติการการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยดัดแปลงจากวิริยา พรมกอง และสุทิน พรหมโชติ (2555) โดยใช้กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.0, 0.5, 1.2, 2.4, 4.8 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร จดบันทึกเพื่อสร้างกราฟ-มาตรฐาน แล้วนำสารตัวอย่างที่เป็นสารสกัดจากขนุนอ่อนมา 4 มิลลิลิตร เติม DPPH ที่ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปใส่เครื่องเขย่าสาร (Labnet รุ่น Vortex mixer, USA) จากนั้นเก็บในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จึงนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (GE รุ่น GeneQuant 1300 Spectrophotometer, UK) แล้วคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ รายงานผลเป็นค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดต่อมิลลิกรัมสมบูรณ์ของกรดแอสคอร์บิกโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก

3. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteau reagent

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteau method ดัดแปลงจาก ธนากรณ์ ดำสุด และคณะ (2560) โดยการปิเปตสารสกัดจากขนุนอ่อนมา 0.5 มิลลิลิตรแล้วเติมสารละลาย Folin-Ciocalteau reagent ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร จึงนำไปใส่เครื่องเขย่าสาร ตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 นาที เติมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ของ Na_2CO_3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปใส่เครื่องเขย่าสารอีกครั้ง จากนั้นเก็บในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลิค (GAE) ต่อกรัม

4. การผลิตโปรตีนไอโซเลตจากถั่วทั้ง 3 ชนิด

การผลิตโปรตีนไอโซเลตดัดแปลงจาก Ettoumi et al., 2015 โดยการนำถั่วลันเตาจากห้างวิลล่ามาร์เกต กรุงเทพฯ ถั่วปากอ้าจากฟาร์มในเชียงใหม่ และถั่วแระจากตลาดสี่มุมเมือง ปทุมธานี มาล้างทำความสะอาด พักให้แห้ง แล้วอบให้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบลมร้อน จากนั้นบดด้วยเครื่องบดละเอียด (Panasonic รุ่น MX-AC300, Thailand) ร่อนโดยใช้ตะแกรงขนาด 60 เมช พอได้แป้งถั่วแล้วนำไปเก็บใส่ถุงสุญญากาศที่ (-4) องศาเซลเซียสเพื่อนำไปใช้ต่อในขั้นตอนถัดไป ซึ่งวิธีนี้ดัดแปลงจาก (Barac et al., 2015) จากนั้นนำแป้งถั่วผสมกับน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1:15 ปรับ pH ให้เป็น 9.0 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%weight per volume; %w/v) ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนสารละลายนาน 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงสาร เทสารละลายส่วนใสลงในบีกเกอร์และนำไปปรับ pH ให้เป็น 4.5 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ จะได้สารละลายแขวนลอยสีขาวนวล นำไปเหวี่ยงแยกอีกครั้งที่ 1,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนใส ปรับ pH ให้เป็นกลาง ทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วบดจนละเอียดด้วยตะแกรง 60 เมช ได้เป็นโปรตีนไอโซเลต บรรจุในถุงฟอยล์แบบสุญญากาศ นำไปเก็บที่ความเย็น (-4) องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

5. การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการทำไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อน

5.1 การเตรียมไส้กรอกแพลนต์เบส ทำการผลิตไส้กรอกแพลนต์เบสตามสูตรมาตรฐาน 3 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยผลิตตามกรรมวิธีการผลิตดังนี้ ปั่นขนุนอ่อนในโถปั่นโดยใช้ความเร็วสูงนาน 5 นาทีแล้วใส่มะเขือเทศบดตามด้วยซอยโปรตีนไอโซเลตและแป้งชนิดอื่น ๆ ในโถปั่น ปั่นต่ออีก 20 นาที เติมน้ำมันพืช บดสับนาน 10 นาที ตามด้วยน้ำแข็ง เติมสารปรุงแต่งกลิ่นรส บดสับต่อให้เข้ากัน บรรจุในไส้พลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ผูกเป็นท่อนยาว ท่อนละ 12 เซนติเมตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้เย็นในอุณหภูมิห้อง เก็บผลิตภัณฑ์ใส่ถุงฟอยล์แบบสุญญากาศแล้วนำไปแช่ที่ความเย็น 4 องศาเซลเซียสเพื่อนำไว้ใช้ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของไส้กรอกแพลนต์เบสสูตรมาตรฐานเสริมขนุนอ่อน 3 สูตร

ส่วนผสม (กรัม)	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
ขนุนอ่อนต้มสุก	500	500	500
มะเขือเทศบด		8	
เกลือ	7	13	0.2
น้ำตาลทราย	9	4	
กระเทียมผง	9	4	0.8
พริกไทยดำ	5.5	3	
พริกป่น		1.5	0.05
แป้งข้าวเจ้า		17.5	5
เกล็ดขนมปังป่น		17.5	
แป้งข้าวโพด	20	8.7	
น้ำแข็ง	120	4.3	
น้ำมันพืช	68.5	13	6
โปรตีนไอโซเลตจากถั่วเหลือง	60	191	8
กลิ่นควัน	0.5	4.5	
สีปาปริก้า	1	3.5	7.5
แป้งวีตกลูเตน	27		20
สารสกัดจากยีสต์			0.75
ผงปรุงรสเห็ด			0.7
ผงพะโล้	0.5		0.05
ลูกจันทน์ป่น	0.5		
กลิ่นรสเนื้อ	0.35		

หมายเหตุ สูตรที่ 1 ดัดแปลงจาก จิราภรณ์ (2544) สูตรที่ 2 ดัดแปลงจาก Wijegunawardhana et al. (2021) และสูตรที่ 3 ดัดแปลงจาก Paranagama et al. (2022)

5.2 การศึกษาผลของการเพิ่มขนุนอ่อนในไส้กรอกแพลนต์เบสต่อคุณลักษณะทางกายภาพ

1) วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของไส้กรอกแพลนต์เบสเสริมขนุนอ่อน วิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เครื่อง Color reader (Hunter lab รุ่น Colorflex EZ 45-0(LAV), USA) ซึ่งวัดในระบบ CIE Lab (*L*, a*, b**) ค่า *L** แสดงถึง ความสว่าง *a** แสดงถึงสีแดง (+*a**) หรือสีเขียว (-*a**) และ *b** แสดงถึงสีเหลือง (+*b**) หรือสีน้ำเงิน (-*b**) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าความแข็ง ความยึดติด ความยืดหยุ่น ความยึดเกาะ ความเหนียวเป็นยาง ความเหนียว ด้วยเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) (Charpa Techcenter รุ่น TA.XT PLUS, UK) โดยการใช้หัวทดสอบ compression platens p100 และกำหนด Pre-test speed 1 มิลลิเมตรต่อวินาที, Test speed 1 มิลลิเมตรต่อวินาที, Post-test speed 1 มิลลิเมตรต่อวินาที, Distance 8 มิลลิเมตร แต่ละตัวอย่างวัด 10 ซ้ำ บันทึกค่า Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness

3) ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อน ศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนเพื่อหาสูตรที่ได้รับการยอมรับจากทั้งหมด 3 สูตร ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 ระดับ (9-Point hedonic scale) ช่วงคะแนนความชอบ 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 9 = ชอบมากที่สุด) ซึ่งใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน โดยชิมตัวอย่างไส้กรอก 30 กรัม (กว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร) จำนวน 3 ชิ้น ระหว่างการชิมตัวอย่างให้ดื่มน้ำก่อนชิมตัวอย่าง และใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการทดสอบ โดยแบบสอบถามจะถามเกี่ยวกับความชอบในด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

6. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่ว

6.1 ศึกษาผลของการเติมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วในไส้กรอกแพลนต์เบสต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่ได้รับการคัดเลือกจากสูตรมาตรฐาน จะถูกนำมาศึกษาการเติมโปรตีนไอโซเลตทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ถั่วลันเตา (GPPI; Green Pea Protein Isolate) ถั่วแระ (PPI ; Pigeon Pea Protein Isolate) และ ถั่วปากอ้า (FBPI; Fava Bean Protein Isolate) ที่ร้อยละ 30 (Wijegunawardhana et al., 2021) โดยมีสูตรที่ไม่ได้ใส่โปรตีนไอโซเลตจากถั่วทั้ง 3 ชนิดเป็นสูตรควบคุม

1) วิเคราะห์หาค่าสี โดยใช้เครื่อง Color reader ยี่ห้อ Hunter lab (Colorflex EZ 45-0 ; LAV)) ซึ่งวัดในระบบ CIE Lab (*L*, a*, b**) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ยี่ห้อ Charpa Techcenter รุ่น TA.XT PLUS โดยการใช้หัวทดสอบ Compression platens p100 และกำหนดสภาวะในการวัดคือ Pre-test speed 1 มิลลิเมตรต่อวินาที, Test speed 1 มิลลิเมตรต่อวินาที, Post test speed 1 มิลลิเมตรต่อวินาที, Distance 8 มิลลิเมตร แต่ละตัวอย่างวัด 10 ซ้ำ บันทึกค่า Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness

6.2 ศึกษาผลของการเติมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วในไส้กรอกแพลนต์เบสต่อคุณลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate composition) ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ Association of Official Analytical Chemists AOAC (2010)

6.3 ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่ว ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9-Point hedonic scale ด้วยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ทดสอบคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ เคมี และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ภายใต้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของไส้กรอกแพลนต์เบสใช้การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ผลการทดลองโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลและความแปรปรวน

(Analysis of variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Tukey's multiple comparison test ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (SPSS 25.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของขนุนอ่อนทดสอบด้วยวิธี DPPH ซึ่งเป็นการทดสอบความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลของ DPPH พบว่าสารสกัดจากขนุนอ่อนมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่ากับกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid equivalent) ที่ 193.56 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแอสคอร์บิก โดยส่วนใหญ่แล้วสารต้านอนุมูลอิสระจะอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ วิตามินซี ซึ่งจะทำงานร่วมกันหลายชนิดจึงจะมีประสิทธิภาพสูง เมื่อนำขนุนอ่อนไปทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteau reagent พบว่ามีค่า 3.76 มิลลิกรัมต่อกรัมกรดแกลลิก โดยงานวิจัยของ ธนากรณ์ ดำสุด และคณะ (2560) รายงานว่าสารสกัดจากขนุนอ่อนที่มีองค์ประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เพื่อเป็นกลไกป้องกันพืชจากความเสียหายภายในที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและสภาวะแวดล้อมเนื่องจากในระยะอ่อนของผลไม้ที่จะมีการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว ซึ่งต้องใช้สารต้านอนุมูลอิสระในการลด Oxidative stress โดยจากปริมาณนั้นบ่งชี้ว่าขนุนอ่อนมีสารประกอบฟีนอลิกในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับผลไม้ดิบชนิดอื่น

จากการศึกษาผลของการเพิ่มขนุนอ่อนในไส้กรอกแพลนต์เบสสูตรมาตรฐานต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางสีพบว่า ค่าความสว่าง (*L**) ค่าสีแดง (*a**) และค่าสีเหลือง (*b**) ของไส้กรอกแพลนต์เบสสูตรมาตรฐานผสมขนุนอ่อนทั้ง 3 ตัวอย่าง ดังแสดงตารางที่ 2 โดยค่า *L** บ่งบอกถึง ความสว่าง (lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว ค่า *a** มีค่าสีเขียว (-*a**) จนถึง สีแดง (+a*) ค่า *b** หมายถึงสีน้ำเงิน (-*b**) จนถึงสีเหลือง (+*b**) จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่ 1 มีค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองสูงที่สุด ซึ่งบ่งบอกถึงสีที่อ่อนและมีความสดใสกว่าเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ ไส้กรอกแพลนต์เบสสูตรมาตรฐานที่ 2 มีค่าความสว่างต่ำที่สุดและค่าสีแดงต่ำที่สุดเนื่องจากมีส่วนผสมของโปรตีนไอโซเลตจากถั่วเหลืองซึ่งเมื่อโดนความร้อนจะส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ทำให้สีเข้มขึ้น (Kutzli et al., 2021) ไส้กรอกแพลนต์เบสเสริมขนุนอ่อนสูตรมาตรฐาน สูตรที่ 3 มีค่าความสว่างและค่าสีแดงรองลงมาจากสูตร 1 แต่มีค่าสีเหลืองเท่ากับสูตร 1 ทำให้สีของไส้กรอกแพลนต์เบสเสริมขนุนอ่อนสูตรมาตรฐานสูตร 3 ใกล้เคียงกับสูตร 1 มากที่สุด

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางสีของไส้กรอกแพลนต์เบสเสริมขนุนอ่อนสูตรมาตรฐาน

สูตรที่	*L**	*a**	*b**
1	39.02 ± 0.13^{a}	8.73 ± 0.12^{a}	17.26 ± 0.04^{a}
2	35.13 ± 0.07^{c}	4.68 ± 0.03^{c}	16.53 ± 0.07^{b}
3	38.74 ± 0.08^{b}	7.91 ± 0.04^{b}	17.26 ± 0.05^{a}

หมายเหตุ $^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแพลนต์เบสเสริมขนุนอ่อนสูตรมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3 โดยไส้กรอกแพลนต์เบสเสริมขนุนอ่อนสูตร 1 มีค่า Springiness และค่า Cohesiveness สูงที่สุด คือ 0.38 วินาทีต่อวินาที และ 0.34 กรัมวินาทีต่อกรัมวินาที ตามลำดับ ส่งผลให้สามารถคืนรูปได้ดี โครงสร้างเหนียวแน่น เนื่องจากสูตรนี้มีการใช้แป้งข้าวโพดจึงสามารถเพิ่มความยืดหยุ่นได้ เนื่องจากแป้งข้าวโพดช่วยเสริมความเหนียวของโครงสร้างโดยการกักเก็บน้ำในเนื้อสัมผัส ส่วนไส้กรอกแพลนต์เบสเสริมขนุนอ่อนสูตรมาตรฐานสูตรที่ 2 มีค่า Hardness ที่ 2065.64 กรัม คือมีเนื้อสัมผัสแน่นและแข็งที่สุด มีค่า Gumminess ที่ 521.76 ซึ่งสัมพันธ์กับค่า Hardness ที่สูงอีกทั้งยังมีค่า Chewiness สูงสุดอยู่ที่ 159.12 ซึ่งต้องใช้แรงเคี้ยวมากที่สุดเพราะเป็นสูตรที่มีโปรตีนไอโซเลตจากถั่วเหลืองในปริมาณสูง เนื่องจากโปรตีนไอโซเลตมีคุณสมบัติในการสร้างเจลที่แข็งแรงระหว่างการปรุง ช่วยเพิ่มความแข็งให้กับผลิตภัณฑ์ ส่วนไส้กรอกแพลนต์เบสเสริมขนุนอ่อนสูตรมาตรฐานสูตรที่ 3 มีค่าความแข็ง ความเหนียวเป็นยางและความเหนียวต่ำกว่าทั้ง 3 สูตร ส่วนค่าความยืดหยุ่นและค่าความยืดเกาะมีน้อยกว่าไส้กรอกแพลนต์เบสเสริมขนุนอ่อนสูตรที่ 1 ทำให้โครงสร้างไม่แน่นมาก เนื่องจากมีส่วนผสมที่เป็นแป้งและโปรตีนไอโซเลตน้อยแต่ยังคงรูปร่างได้เนื่องจากโปรตีนในแป้งวีตกลูเตน ส่วนค่า Adhesiveness ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 สูตรไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์โครงร่างลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแพลนต์เบสเสริมขนุนอ่อนสูตรมาตรฐาน

ค่าที่วัด	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
Hardness (กรัม)	660.19±33.30^{b}	2065.64±134.54^{a}	412.53±26.22^{c}
Adhesiveness^{ns} (กรัมต่อวินาที)	-2.95±2.82	-3.31±3.16	-3.56±2.49
Springiness (วินาทีต่อวินาที)	0.38±0.01^{a}	0.30±0.01^{c}	0.35±0.01^{b}
Cohesiveness (กรัมวินาทีต่อกรัมวินาที)	0.34±0.04^{a}	0.25±0.01^{c}	0.31±0.03^{b}
Gumminess	226.40±22.43^{b}	521.76±52.04^{a}	128.49±12.83^{c}
Chewiness	86.64±9.59^{b}	159.12±16.81^{a}	45.70±4.85^{c}

หมายเหตุ $^{a-c}$หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns}หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนที่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรมาตรฐาน พบว่าสูตรที่ 2 ได้รับคะแนนสูงสุดในระดับชอบปานกลางในด้านลักษณะปรากฏที่ 7.54 ด้านสีที่ 7.16 ด้านรสชาติที่ 7.56 ด้านเนื้อสัมผัสที่ 7.82 และความชอบโดยรวมที่ 7.00 โดยไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรมาตรฐาน สูตร 2 นี้ได้รับคะแนนสูงสุดในทุกด้าน ยกเว้นด้านกลิ่น และไส้กรอกสูตรนี้เป็นสูตรที่ผู้บริโภคชื่นชอบมากที่สุด ส่วนไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรมาตรฐานสูตรที่ 1 มีคะแนนลักษณะปรากฏที่ 6.8 และรสชาติ 7.28 ซึ่งมีค่าคะแนนการยอมรับรองลงมา แต่ได้คะแนนกลิ่นที่ต่ำที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากระหว่างกระบวนการให้ความร้อน แป้งวีทกลูเตนอาจเกิด Maillard reaction ทำให้เกิดกลิ่นไหม้เพิ่มเติม ซึ่งอาจเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ที่สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าของ Li et al. (2024) เรื่องส่วนผสมของแป้งวีทกลูเตนทำให้เกิดกลิ่นคล้ายกลิ่นไหม้ ดังนั้นควรพิจารณาปรับปรุงเรื่องกลิ่นและเนื้อสัมผัสเพื่อเพิ่มความพึงพอใจ ส่วน

ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรมาตรฐาน สูตรที่ 3 แม้จะมีกลิ่นที่ได้รับการยอมรับสูงสุดที่ 7.72 แต่คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ และเนื้อสัมผัสต่ำ ซึ่งสืบเนื่องจากการใช้น้ำมันและโปรตีนในปริมาณต่ำ ทำให้โครงสร้างไม่แน่น เนื้อสัมผัสเละ โดยจากการศึกษาของ Dekkers et al. (2018) เกี่ยวกับโครงสร้างของเนื้อสัตว์เทียม ว่าต้องมีการใช้ของเหลวในปริมาณที่เหมาะสม จึงจะเกิดความพึงพอใจทางประสาทสัมผัส ส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 4 ดังนั้นในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้คัดเลือกไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรมาตรฐาน สูตรที่ 2 เป็นสูตรที่จะนำไปพัฒนาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรมาตรฐาน

สูตรที่	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	6.80±0.49^{b}	5.80±0.53^{c}	4.56±0.45^{c}	7.28±0.49^{b}	4.60±0.49^{b}	5.38±0.49^{b}
2	7.54±0.50^{a}	7.16±0.46^{a}	6.22±0.50^{b}	7.56±0.50^{a}	7.82±0.38^{a}	7.00±0.49^{a}
3	5.24±0.43^{c}	6.02±0.47^{b}	7.72±0.49^{a}	4.52±0.54^{c}	4.28±0.45^{c}	5.00±0.45^{c}

หมายเหตุ $^{a-c}$หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ (p<0.05)

ในการทดลองขั้นต่อมาศึกษาผลของการเติมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วในไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนเพื่อสุขภาพที่สกัดจากถั่วลันเตา (Green Pea Protein Isolate: GPPI) ถั่วแระ (Pigeon Pea Protein Isolate: PPI) และถั่วปากอ้า (Fava Bean Protein Isolate: FBPI) เปรียบเทียบกับไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส (ตัวอย่างควบคุม) ต่อค่าสี (L^*, a^*, b^*) และการยอมรับทางประสาทสัมผัส จากการวิเคราะห์ค่าความสว่างของตัวอย่างไส้กรอกที่ได้พบว่าไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วแระมีค่าความสว่างสูงที่สุด ขณะที่โปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตา และ สูตรควบคุมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) โดยไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วปากอ้านั้นมีความสว่างน้อยที่สุด ส่วนค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนทุกชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อพิจารณาแล้ว สูตรควบคุมมีค่าสีแดงเด่นชัดที่สุดเนื่องจากให้สีคล้ายไส้กรอกเนื้อสัตว์ แต่ความสว่างและสีเหลืองอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วแระ ส่วนไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่ผลิตด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตามีค่าความสว่างและสีเหลืองระดับปานกลาง แต่สีแดงน้อยที่สุดแสดงถึงลักษณะสีที่ดูจางกว่า ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วปากอ้า มีความสว่างต่ำที่สุด และสีแดงกับสีเหลืองต่ำที่สุด แสดงถึงสีที่เข้ม ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วแระมีความสว่าง สีเหลืองที่เด่นชัด และสีแดงในระดับปานกลาง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่โดดเด่นและสว่างเนื่องจากโปรตีนถั่วแระ มีสีเหลืองจากสารประกอบฟีนอลิกตามธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่า *L**, *a**, *b** ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรควบคุม และสูตรที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	*L**	*a**	*b**
Control	38.95±0.41^{b}	14.56±0.27^{a}	9.73±0.32^{c}
GPPI	38.51±0.42^{b}	2.14±0.06^{d}	20.45±0.04^{b}
FBPI	35.40±0.28^{c}	3.13±0.10^{c}	10.11±0.11^{c}
PPI	53.11±0.25^{a}	8.46±0.01^{b}	28.06±0.54^{a}

หมายเหตุ สูตรควบคุม (Control), ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตา (Green Pea Protein Isolate: GPPI) ถั่วปากอ้า (Fava Bean Protein Isolate: FBPI) และ ถั่วแระ (Pigeon Pea Protein Isolate: PPI)

$^{a-d}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ (p<0.05)

ผลของการเติมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วในไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนต่อคุณลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์ จากการทดลองพบว่า สูตรมาตรฐานมีความชื้นต่ำที่สุด คือร้อยละ 63.54 มีโปรตีนอยู่ที่ร้อยละ 12.38 แต่มีไขมันสูงที่สุดร้อยละ 8.00 ซึ่งในไส้กรอกแพลนต์เบสปริมาณไขมันมีผลต่อการกักเก็บน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แห้งและมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่วนเยื่อใยและเถ้ามีค่าปานกลางร้อยละ 2.04 และ 3.01 ตามลำดับ มีคาร์โบไฮเดรตต่ำที่ร้อยละ 11.02 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สูตรควบคุมมีเนื้อสัมผัสชุ่มฉ่ำจากไขมัน แต่มีความชื้นและโปรตีนต่ำกว่าสูตรที่เติมโปรตีนไอโซเลต ส่วนผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตามีความชื้นมากกว่าสูตรควบคุม คือร้อยละ 68.03 พบค่าโปรตีนอยู่ที่ร้อยละ 12.73 มีไขมันอยู่ที่ร้อยละ 1.27 ส่วนเยื่อใยและเถ้าใกล้เคียงกับสูตรควบคุมที่ร้อยละ 2.01 และ 3.01 ตามลำดับ มีคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้นเล็กน้อยร้อยละ 12.94 สำหรับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วปากอ้ามีความชื้นสูงสุดที่ร้อยละ 69.02 ซึ่งบ่งบอกว่าเนื้อสัมผัสมีความชุ่มชื้นมากที่สุด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความชุ่มชื้นสูงนั้นได้รับคะแนนยอมรับจากผู้บริโภคสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่แห้ง ส่วนโปรตีนและไขมันต่ำกว่าตัวอย่างอื่นคือร้อยละ 10.40 และ 0.64 ตามลำดับ มีเยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดที่ร้อยละ 2.80, 3.07 และ14.05 ตามลำดับ สำหรับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วแระ พบว่ามีความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 68.32 โปรตีนมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) คือร้อยละ 15.15 ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของที่ทำการผลิตไส้กรอกแพลนต์เบสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนไขมันอยู่ที่ร้อยละ 1.34 มีเยื่อใยอยู่ที่ร้อยละ 2.05 มีเถ้าและคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุดคือ ร้อยละ 2.53 และ 10.60 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่เหลือ โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตา และผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วปากอ้ามีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการกักเก็บน้ำของโปรตีนเหล่านี้ โดยไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตามีปริมาณโปรตีนสูงสุด เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณโปรตีนไอโซเลตจากถั่วแต่ละชนิดเกิดจากชนิดของโปรตีนหลัก เช่น Albumin และ Globulin ซึ่งมีสมบัติทางโครงสร้างและการละลายแตกต่างกัน โดยถั่วลันเตามี Albumin สูง ละลายน้ำได้ง่ายทำให้สามารถสกัดโปรตีนได้มากกว่า ส่งผลให้โปรตีนไอโซเลตจากถั่วแระมีค่ามากที่สุด สอดคล้องกับรายงานของ

Fernández Sosa et al., (2021) ที่ว่า Globulin มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่า และเกิดการ Aggregation ที่รวมตัวเป็นกลุ่มได้ง่ายเมื่อให้ความร้อนหรือเปลี่ยน pH ซึ่งส่งผลต่อปริมาณโปรตีนสุดท้ายที่สามารถเก็บได้หลังการสกัดและเมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับไส้กรอกจากเนื้อสัตว์ที่จำหน่ายในท้องตลาด พบว่าไส้กรอกแพลนต์เบสมีข้อดีหลายประการในด้านสุขภาพ โดยเฉพาะในเรื่องของ ปริมาณไขมันที่ลดลง และ ปริมาณใยอาหารที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อระบบทางเดินอาหารและลดความเสี่ยงของโรคมะเร็งลำไส้และโรคหัวใจ จากข้อมูลของ Song et al., (2016) และ Bohrer (2019) ไส้กรอกจากเนื้อสัตว์ทั่วไปมักมีไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 20–30 และมีโปรตีนประมาณร้อยละ 12–16 โดยที่ไม่มีใยอาหารเลย ทำให้ผู้บริโภคเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังชนิดไม่ติดต่อ (กลุ่มโรค NCDs) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จากงานวิจัยนี้มีไขมันต่ำกว่าอย่างชัดเจน ดังรายงานในตารางที่ 6 จึงทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ

ตารางที่ 6 ผลของการเติมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วในไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนต่อคุณลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์

ตัวอย่าง	ความชื้น (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)	ไขมัน (ร้อยละ)	เยื่อใย (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)
Control	63.54±0.14^{c}	12.38±0.10^{c}	8.00±0.04^{a}	2.04±0.01^{b}	3.01±0.04^{a}	11.02±0.15^{c}
GPPI	68.03±0.12^{b}	12.73±0.02^{b}	1.27±0.01^{b}	2.01±0.07^{b}	3.01±0.04^{a}	12.94±0.04^{b}
FBPI	69.02±0.25^{a}	10.40±0.07^{d}	0.64±0.10^{c}	2.8±0.01^{a}	3.07±0.04^{a}	14.05±0.21^{a}
PPI	68.32±0.08^{b}	15.15±0.09^{a}	1.34±0.08^{b}	2.05±0.04^{b}	2.53±0.02^{b}	10.60±0.02^{c}

หมายเหตุ สูตรควบคุม (Control), ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตา (Green Pea Protein Isolate: GPPI) ถั่วปากอ้า (Fava Bean Protein Isolate: FBPI) และ ถั่วแระ (Pigeon Pea Protein Isolate: PPI)

$^{a-d}$หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ (p<0.05)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่ว พบว่า ตัวอย่างควบคุม และ ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตา ถั่วแระ และถั่วปากอ้า มีค่า Hardness เท่ากับ 2367.32, 697.99, 1016.50 และ 970.51 กรัม ตามลำดับ มีค่า Adhesiveness ที่ -25.58, -1.04, -2.00 และ -3.09 กรัมต่อวินาที ตามลำดับ มีค่า Springiness เท่ากับ 0.76, 0.29 , 0.32 และ 0.29 วินาทีต่อวินาที ตามลำดับ ส่วนค่า Cohesiveness คือ 0.59, 0.28, 0.30, 0.26 (กรัมวินาที/กรัมวินาที) ตามลำดับ ค่า Gumminess คือ 1406.33, 198.10, 303.73 และ 254.97 ตามลำดับ สุดท้ายค่า Chewiness เท่ากับ 1079.87, 58.03, 98.22, 75.79 ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วปากอ้ามีค่ารองมาจากไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรควบคุมในทุกด้านมาเป็นอันดับสอง ยกเว้นค่า Adhesiveness โดยผลของไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วปากอ้านั้นสอดคล้องกับ งานวิจัยของ ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ และคณะ (2566) ได้ศึกษาการสกัดและสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนพืชในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ พบว่าโปรตีน

จากพืช มีความสามารถในการสร้างเจลและการกักเก็บน้ำมันที่ดี ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แน่นและเหนียว อีกทั้งยังเชื่อมโยงกับการวัดค่าการเกิดเจลของโปรตีนถั่วปากอ้าได้ผลดีที่สุดจึงกล่าวได้ว่าค่าการเกิดเจลสอดคล้องกับค่า Hardness Springiness และ Cohesiveness ที่สูงที่สุดในกลุ่มตัวอย่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ส่วนตัวอย่างไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วแระมีค่าอยู่ระดับปานกลางในทุกด้าน และไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตาที่ค่าต่ำสุดเกือบทุกด้าน ซึ่ง ความแตกต่างด้านความแข็งอาจเกิดจากโครงสร้างของโปรตีนไอโซเลตและความสามารถในการสร้างเจลที่แตกต่างกัน โปรตีนจากถั่วปากอ้าและโปรตีนจากถั่วแระ มีความสามารถในการยึดติดที่ดีกว่าโปรตีนจากถั่วลันเตา ทำให้เนื้อสัมผัสแน่นขึ้น ส่วนด้าน Adhesiveness โปรตีนไอโซเลตอาจดูดซับน้ำและลดปริมาณไขมันที่กระจายในเนื้อไส้กรอก ส่งผลให้การยึดติดลดลง ด้าน Springiness ความยืดหยุ่นของตัว Control อาจเกิดจากการใช้แป้งและเกล็ดขนมปังที่ช่วยสร้างโครงสร้างแบบที่สามารถยืดหยุ่นได้ ในขณะที่โปรตีนไอโซเลตในสูตรอื่นอาจมีการสร้างโครงสร้างที่มีลักษณะแน่นแต่นุ่ม ไม่แข็ง ในด้าน Gumminess ของสูตรควบคุมที่มีค่าสูงมาจากการใช้แป้งและไขมันที่สูง สำหรับค่า Chewiness ของสูตรควบคุมมาจากการใช้ไขมันและแป้งที่ช่วยสร้างความแน่นของโครงสร้าง ในขณะที่ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนสูตรเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตามีลักษณะเจล อ่อนนุ่มที่สัมพันธ์กับค่า Springiness ที่ต่ำ และ ค่า Cohesiveness ที่ต่ำ ซึ่งแสดงถึงเจลที่สามารถสลายได้ง่ายเมื่อเคี้ยว ทำให้เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเนื้อสัมผัสนุ่ม ดังรายงานในตารางที่ 7

ผลการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วปรากฏในตารางที่ 8 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ได้ผลดังนี้ สูตรควบคุมมีค่าคะแนนด้านลักษณะปรากฏคือ 7.32 สี 8.22 และเนื้อสัมผัสที่ 7.62 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตานั้น ได้รับความชอบโดยรวมสูงสุดคือ 7.20 เนื่องจากมีคะแนนด้าน รสชาติ กลิ่น และเนื้อสัมผัสในระดับที่สูง ส่วนผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วปากอ้ามีคะแนนด้านกลิ่นและรสชาติมากกว่าตัวอย่างอื่น แต่ควรปรับปรุงในลักษณะปรากฏและสี สำหรับผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วแระ มีคะแนนลักษณะปรากฏ กลิ่น และรสชาติที่ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (p≥0.05) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เติมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตาได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดจากผู้บริโภค ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kyriakopoulou et al. (2019) ที่ระบุว่าโปรตีนถั่วลันเตานั้นมีศักยภาพสูงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์ เนื่องจากมีสมบัติเชิงหน้าที่ดี นอกจากนี้ Dekkers et al. (2018) รายงานว่าโปรตีนพืชสามารถนำมาสร้างโครงสร้างเจลที่เลียนแบบลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากร่วมกับการควบคุมปัจจัยด้านความชื้นและวัตถุดิบเสริม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้ที่พบว่าการเติมโปรตีนพืชในสัดส่วนที่เหมาะสมร่วมกับขนุนอ่อน ซึ่งมีเส้นใยและความชุ่มชื้นสูง ช่วยส่งเสริมโครงสร้างเจลและทำให้เนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับมากขึ้น

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์โครงร่างลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่วชนิดต่าง ๆ

ค่าที่วัด	Control	GPPI	FBPI	PPI
Hardness (กรัม)	2367.32±185.94^{a}	697.99±41.94^{c}	1016.50±78.96^{b}	970.51±57.86^{b}
Adhesiveness (กรัมวินาที)	-25.58±10.88^{b}	-1.04±1.16^{a}	-2.00±1.59^{a}	-3.09±1.64^{a}
Springiness (วินาที.วินาที)	0.76±0.02^{a}	0.29±0.01^{c}	0.32±0.01^{b}	0.29±0.01^{c}
Cohesiveness (กรัมวินาที/กรัมวินาที)	0.59±0.01^{a}	0.28±0.03^{bc}	0.30±0.03^{b}	0.26±0.02^{c}
Gumminess	1406.33±105.35^{a}	198.10±11.65^{c}	303.73±19.17^{b}	254.97±14.93^{bc}
Chewiness	1079.87±89.47^{a}	58.03±5.86^{b}	98.22±5.72^{b}	75.79±5.49^{b}

หมายเหตุ สูตรควบคุม (Control), ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตา (Green Pea Protein Isolate: GPPI) ถั่วปากอ้า (Fava Bean Protein Isolate: FBPI) และ ถั่วแระ (Pigeon Pea Protein Isolate: PPI)

$^{a-d}$หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนเสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่ว

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
Control	7.32±0.47^{a}	8.22±0.50^{a}	6.30±0.46^{c}	6.64±0.56^{b}	7.62±0.49^{a}	6.96±0.49^{a}
GPPI	6.22±0.50^{b}	7.06±0.42^{b}	6.90±0.54^{b}	7.42±0.49^{a}	7.52±0.50^{ab}	7.20±0.49^{a}
FBPI	6.08±0.44^{b}	6.52±0.50^{c}	7.28±0.52^{a}	7.26±0.44^{a}	7.30±0.46^{b}	6.20±0.49^{b}
PPI	6.10±0.46^{b}	6.28±0.45^{c}	6.08±0.48^{c}	6.56±0.50^{b}	6.42±0.49^{c}	5.54±0.54^{b}

หมายเหตุ สูตรควบคุม (Control), ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตา (Green Pea Protein Isolate: GPPI) ถั่วปากอ้า (Fava Bean Protein Isolate: FBPI) และ ถั่วแระ (Pigeon Pea Protein Isolate: PPI)

$^{a-d}$หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ (p<0.05)

ในส่วนของการใช้โปรตีนพืช เช่น โปรตีนจากถั่วลันเตา ถั่วปากอ้า และ ถั่วแระยังช่วยลดการบริโภคไขมันอิ่มตัว และคอเลสเตอรอล ซึ่งต่างจากผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มีระดับคอเลสเตอรอลสูง โดย Micha et al. (2017) รายงานว่าการบริโภคเนื้อสัตว์แปรรูปมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของโรคหัวใจและหลอดเลือด ในขณะที่การทดแทนด้วยแหล่งโปรตีนจากพืชมีแนวโน้มช่วยลดความเสี่ยงดังกล่าวได้ ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนและโปรตีนพืชในงานวิจัยนี้ไม่เพียงแต่มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ยอมรับได้ แต่ยังแสดงศักยภาพในฐานะผลิตภัณฑ์อาหารที่ส่งเสริมสุขภาพ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการลดเนื้อสัตว์ และผู้ที่สนใจอาหารทางเลือกที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

สรุป

จากการศึกษาและผลิตไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมโปรตีนไอโซเลตจากถั่ว 3 ชนิด พบว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมด้วยโปรตีนไอโซเลตจากถั่วลันเตา ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ในขณะที่

ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่เสริมโปรตีนจากถั่วปากอ้าได้รับคะแนนสูงในด้านกลิ่น และมีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ดี สำหรับไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนที่ผลิตจากโปรตีนถั่วแระมีค่าคะแนนการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสอยู่ในระดับพอใจเล็กน้อย แต่มีค่าโปรตีนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับโปรตีนไอโซเลตชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังนั้นสรุปได้ว่าโปรตีนสกัดจากถั่วลันเตามีศักยภาพสูงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแพลนต์เบสจากขนุนอ่อนเนื่องจากให้เนื้อสัมผัสที่เหมาะสม มีความสามารถในการเกิดและคงตัวของอิมัลชันดี และมีคุณค่าทางโภชนาการ ในขณะที่การใช้ขนุนอ่อนเป็นองค์ประกอบหลักนั้นยังมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ด้วย การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้โปรตีนจากพืชเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกที่มีคุณภาพและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ข้อเสนอแนะ

แนวทางการศึกษาต่อไปอาจศึกษาผลของการเติมสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส หรือศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาเก็บรักษาเพื่อสามารถต่อยอดไปสู่การพัฒนาเชิงพาณิชย์ต่อไป

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

การจัดทำงานวิจัยนี้ได้รับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ COE No. COE66/081 จากคณะกรรมการดำเนินงานด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ฝ่ายมาตรฐานการวิจัยและศูนย์สัตว์ทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งได้พิจารณาโครงการวิจัยเรื่อง ผลของการใช้โปรตีนสกัดจากถั่วลันเตา ถั่วแระ ถั่วปากอ้า ต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และ คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากขนุนอ่อน (Effects of Green Pea, Pigeon Bean, and Fava Bean Protein Isolates on the Physical Characteristics and Nutritional Value of Jackfruit Sausage Products) เป็นที่เรียบร้อย

เอกสารอ้างอิง

จิราภรณ์ ตันติพงศ์อาภา. (2544). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกมังสวิรัติเสริมปลายข้าวหอมมะลิ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนากรณ์ ดำสุด, ฐิติกรณ์ จันทร์วุ่น, นมล ศรีเมฆ, และสุธรรม ส่งแสง. (2560). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งแอลฟากลูโคซิเดสของส่วนสกัดขนุนอ่อน. **วารสารวิทยาศาสตร์ มข.**, 45(3), 543–550.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, มัทวัน ศรีอินทร์คำ, และณัฏฐิกา ศิลาลาย. (2566). ศึกษาวิธีการสกัดและสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนพืชในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เลียนแบบเนื้อสัตว์. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 28(3), 1424-1435.

วิริยา พรมกอง, และสุทิน พรหมโชติ. (2555). **การศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารเหล่านั้นในขนุนไทย**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.).

AOAC. (2010). **Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists**. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.

Barac, M. B., Pešić, M., Stanojevic, S., & Kostić, A. Ž. (2015). Techno-Functional Properties of Pea (*Pisum Sativum*) Protein Isolates: A review. **Acta Periodica Technologica**, 46(46), 1-18.

Baune, M.-C., Terjung, N., Tulbek, M., & Boukid, F. (2022). Textured Vegetable Proteins (TVP): Future Foods Standing on Their Merits as Meat Alternatives. **Future Foods***, 6,* 100181.

Boada, L. D., Henríquez-Hernández, L. A., & Luzardo, O. P. (2016). The Impact of Red and Processed Meat Consumption on Cancer and Other Health Outcomes: Epidemiological Evidences. **Food and Chemical Toxicology**, 92, 236–244.

Bohrer, B. M. (2019). An Investigation of The Formulation and Nutritional Composition of Modern Meat Analogue Products. **Food Science and Human Wellness**, 8(4), 320–329.

Boukid, F. (2021). Plant-Based Meat Analogues: From Niche to Mainstream. **European Food Research and Technology**, 247, 297–308.

Corrêa, P. F., da Silva, C. F., Ferreira, J. P., & Campos Guerra, J. M. (2023). Vegetable-Based Frankfurter Sausage Production by Different Emulsion Gels and Assessment of Physical-Chemical, Microbiological and Nutritional Properties. **Food Chemistry Advances**, 3, 100354.

Dekkers, B. L., Boom, R. M., & van der Goot, A. J. (2018). Structuring Processes for Meat Analogues. **Trends in Food Science & Technology**, 81, 25–36.

Ettoumi, L., Boudries, H., Mohamed, C., & Romero, A. (2015). Pea, Chickpea and Lentil Protein Isolates: Physicochemical Characterization and Emulsifying Properties. **Food Biophysics**, 11(1), 43–51.

Ettinger, L., Falkeisen, A., Knowles, S., Gorman, M., Barker, S., Moss, R., & McSweeney, M. B. (2022). Consumer Perception and Acceptability of Plant-Based Alternatives to Chicken. **Foods**, 11(15), 2271.

Fernández Sosa, E. I., Chaves, M. G., Quiroga, A., & Avanza, M. V. (2021). Comparative Study of Structural and Physicochemical Properties of Pigeon Pea (*Cajanus Cajan* L.) Protein Isolates and Its Major Protein Fractions. **Plant Foods for Human Nutrition**, 76(1), 1–9.

Hetti Hewage, A., Olatunde, O., Nimalaratne, C., Malalgoda, M., Aluko, R., & Bandara, N. (2022). Novel Extraction Technologies for Developing Plant Protein Ingredients with Improved Functionality. **Trends in Food Science & Technology**, 129, 186–198.

Jimenez-Colmenero, F., Salcedo-Sandoval, L., Bou, R., Cofrades, S., Herrero, A. M., & Ruiz-Capillas, C. (2015). Novel Applications of Oil-Structuring Methods as a Strategy to Improve the Fat Content of Meat Products. **Trends in Food Science & Technology**, 44(2), 177–188.

Khan, M. A., Hossain, M., Qadeer, Z., Tanweer, S., Ahmad, B., & Waseem, M. (2023). **Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus*): An Overview of Nutritional and Functional Food Properties**. In: Ismail, T., Akhtar, S., Lazarte, C.E. (eds), Neglected Plant Foods of South Asia (pp. 411-451). Springer Nature Publishing.

Kutzli, I., Weiss, J., & Gibis, M. (2021). Glycation of Plant Proteins Via Maillard Reaction: Reaction Chemistry, Techno Functional Properties, and Potential Food Application. **Foods**, 10(2), 376.

Kyriakopoulou, K., Dekkers, B., & Van der Goot, A. J. (2019). Chapter 6 – Plant-Based Meat Analogues. **Sustainable Meat Production and Processing**, 2019, 103–126.

Li, J., Chen, Y., Hua, X., Yin, L., Zang, J., Yu, W., & Zhang, T. (2024). Soy Protein Isolate with Higher Solubility and Improved Gel Properties When Co-Assembled with Walnut Protein. **International Journal of Food Science & Technology**, 59(7), 5057–5065.

Ma, K. K., Greis, M., Lu, J., Nolden, A. A., McClements, D. J., & Kinchla, A. J. (2022). Functional Performance of Plant Proteins. **Foods**, 11(4), 594.

Menegat, S., Ledo, A., & Tirado, R. (2022). Greenhouse Gas Emissions from Global Production and Use of Nitrogen Synthetic Fertilisers in Agriculture. **Scientific Reports**, 12, 14490.

Micha, R., Peñalvo, J. L., Cudhea, F., Imamura, F., Rehm, C. D., & Mozaffarian, D. (2017). Association Between Dietary Factors and Mortality from Heart Disease, Stroke, and Type 2 Diabetes in The United States. **JAMA**, 317(9), 912–924.

Paranagama, I., Wickramasinghe, I., Some ndrika, D., & Benaragama, K. P. (2022). Development of a Vegan Sausage with Young Green Jackfruit, Oyster Mushroom, and Coconut Flour as an Environmentally Friendly Product with Cleaner Production Approach. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, 11(4), e4029.

Ren, Y., Huang, L., Zhang, Y., Zhao, D., Cao, J., & Liu, X. (2022). Application of Emulsion Gels as Fat Substitutes in Meat Products. **Foods**, 11(13), 1950.

Song, M., Fung, T. T., Hu, F. B., Willett, W. C., Longo, V. D., Chan, A. T., & Giovannucci, E. L. (2016). Association of Animal and Plant Protein Intake with All-Cause and Cause-Specific Mortality. **JAMA Internal Medicine**, 176(10), 1453–1463.

Statista. (2025). **Meat Substitutes – Thailand**. Retrieved from https://www.statista.com/outlook/cmo/food/meat/meat-substitutes/thailand

Wijegunawardhana, D. T., Madushani, E. D. A. & Gamage, S. D. C. (2021). Development of Immune-Boosting Vegan Sausage Utilizing Baby Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus*) by Replacing Carcinogenic Curing Salts with Natural Pigment Source. **Journal of Research Technology and Engineering**, 2(1), 1-11.