ผลของชนิดและปริมาณโปรตีนต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ จุลชีววิทยาและการต้านอนุมูลอิสระของกัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบแดง

ศิวพร ตันติกัลชาญ[1], วิทวัส กมุทศรี[2], จิราพัชร พุ่มสติ[1], กุหลาบ สิทธิสวนจิก[*1], ทิพรักษ์ วงษาดี[1], ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย[1], นวพร หงส์พันธุ์[1]

[1] ภาควิชาโภชนาการและการกำหนดอาหาร คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

[2] ภาควิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

[*]Corresponding author email: kulab.si@bsru.ac.th

ได้รับบทความ: 4 กุมภาพันธ์ 2569
ได้รับบทความแก้ไข: 9 มีนาคม 2569
ยอมรับตีพิมพ์: 22 มีนาคม 2569

บทคัดย่อ

ปัจจุบันแนวโน้มการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพส่งผลให้ความต้องการอาหารฟังก์ชันเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดี ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำตาลและสารก่อเจล ส่งผลให้มีพลังงานสูงและมีคุณค่าทางโภชนาการจำกัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิด (โปรตีนถั่วลันเตา และเวย์โปรตีน) และปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 1 และ 2) ต่อคุณภาพของกัมมี่เยลลี่ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและการต้านอนุมูลอิสระให้กับผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาพบว่าชนิดและปริมาณโปรตีนมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกัมมี่เยลลี่ โดยการเพิ่มปริมาณโปรตีนจากทั้งสองแหล่งส่งผลให้ค่าความแข็ง (hardness) ค่าความเหนียว (gumminess) ค่าความสามารถในการเคี้ยว (chewiness) ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเหลือง (b*) กรด-เบส (pH) ปริมาณโปรตีน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรวม

มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) ในทางตรงกันข้าม ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ค่าการเกาะตัว (cohesiveness) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลง ($P \leq 0.05$) กัมมี่เยลลี่เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 2 มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ขณะที่การเสริมเวย์โปรตีนมีปริมาณโปรตีนสูงสุด นอกจากนี้ทำการศึกษาคุณภาพด้านจุลชีววิทยา พบว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ โดยรวมแล้วผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่เสริมโปรตีนมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มมากขึ้น และเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภค

คำสำคัญ: กัมมี่เยลลี่เสริมโปรตีน/ ผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชัน/ โปรตีนถั่วลันเตา/ เวย์โปรตีน

Effects of Protein Type and Concentration on Physicochemical, Microbiological and Antioxidant Properties of Roselle Gummy Jelly

Sivaporn Tantikalchan[1], Wittawat Kamutsri[2], Jiraphat Phumsati[1], Kulab Sittisuanjik[*1], Thippharak Wongsadee[1], Patiwit Loypimai[1], Nawaporn Hongpan[1]

[1] Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Allied Health Sciences, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

[2] Department of Public Health, Faculty of Allied Health Sciences, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

[*]Corresponding author email: Kulab.si@bsru.ac.th

Received: 4 February 2026

Revised: 9 March 2026

Accepted: 22 March 2026

Abstract

Currently, the increasing trend of health-conscious consumption has led to a growing demand for functional foods. However, commercially produced gummy jelly products are generally formulated mainly with sugars and gelling agents, leading to high energy content and limited nutritional value. This study aimed to investigate the effects of protein type (pea protein and whey protein) and protein levels (1% and 2%) on the quality of gummy jelly in order to enhance its nutritional value and antioxidant activity. The results showed that both protein type and concentration significantly influenced the physicochemical properties and antioxidant activity of the gummy jellies.

Increasing protein levels from both sources resulted in higher hardness, gumminess, chewiness, lightness (L*), yellowness (b*), pH, protein content, total phenolic content, total anthocyanin content, DPPH radical scavenging activity, and total antioxidant capacity ($P \leq 0.05$). In contrast, springiness, cohesiveness, redness (a*), and moisture content showed a decreasing trend ($P \leq 0.05$). Gummy jelly fortified with 2% pea protein exhibited the highest antioxidant activity, whereas whey protein fortification resulted in the highest protein content. In addition, the microbiological quality of all samples complied with standard requirements. Overall, protein-fortified gummy jellies demonstrated improved nutritional value and represent
a promising alternative for consumers.

Keywords: Protein-fortified gummy jelly/ Functional food product/
Pea protein/ Whey protein

บทนำ

ในปัจจุบันมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคที่มุ่งเน้นการดูแลสุขภาพมากขึ้น ส่งผลให้ความต้องการอาหารฟังก์ชัน (functional food) เพิ่มสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ (gummy jelly) เป็นขนมที่ได้รับความนิยมในทุกช่วงวัย การผลิตในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่มักมีน้ำตาลและสารก่อเจลเป็นองค์ประกอบหลัก ให้พลังงานสูงและมีคุณค่าทางโภชนาการจำกัด [1] การเสริมโปรตีนในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ การเลือกใช้แหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมโปรตีน โดยเวย์โปรตีนเป็นโปรตีนจากนมที่มีคุณภาพสูง ประกอบด้วยโปรตีนสำคัญได้แก่ β-lactoglobulin, α-lactalbumin และ immunoglobulins รวมทั้งมีวิตามินและแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย [2] เวย์โปรตีนอุดมด้วยกรดอะมิโนจำเป็น โดยเฉพาะซีสเตอีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กลูตาไธโอน (glutathione) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีบทบาทสำคัญต่อร่างกาย [3] นอกจากนี้เวย์โปรตีนยังมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เหมาะสมต่อการแปรรูปอาหาร เช่น การเกิดเจล การเกิดอิมัลชัน และการกักเก็บน้ำ [4] จึงมีศักยภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่เสริมโปรตีน ขณะที่โปรตีนถั่วลันเตาเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยกรดอะมิโนไลซีนซึ่งช่วยเสริมคุณภาพโปรตีนของผลิตภัณฑ์อาหาร [5] และมีสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [6] ประกอบกับมีความเสี่ยงต่อการก่อภูมิแพ้ต่ำ จึงเหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพและเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการโปรตีนจากพืช นอกจากการเสริมโปรตีนในผลิตภัณฑ์แล้ว การนำวัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีสีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ยกตัวอย่างเช่น กระเจี๊ยบแดง มาใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรกัมมี่เยลลี่ สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภคได้ เนื่องจากกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบแดงอุดมไปด้วยวิตามินซี แร่ธาตุ กรดอินทรีย์ เพกทิน และสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ได้แก่ แอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ และสารฟีนอลิก ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ช่วยให้กระเจี๊ยบแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านแบคทีเรีย และต้านมะเร็ง รวมถึงช่วยลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน ภาวะไขมันในเลือดผิดปกติ ความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจและหลอดเลือด [7] นอกจากนี้ยังช่วยเสริมลักษณะปรากฏด้านสี มีส่วนสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม

การเสริมโปรตีนอาจส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ลักษณะทางกายภาพ และปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ โดยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของโปรตีนที่เติม [8] ดังนั้นการศึกษาชนิดและปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น โดยยังคงรักษาคุณภาพ และความปลอดภัยให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหาร

วัสดุและวิธีการ

1. วิธีการเตรียมผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่

การเตรียมน้ำกระเจี๊ยบเพื่อใช้ในสูตรผลิตภัณฑ์ ใช้ผงกระเจี๊ยบที่ซื้อจากตลาดท้องถิ่น ในจังหวัดอุทัยธานี ทำการละลายผงกระเจี๊ยบในน้ำที่อัตราส่วน 3 : 97 (โดยน้ำหนัก) ก่อนนำไปต้ม ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที ได้น้ำกระเจี๊ยบเพื่อใช้ในสูตรผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ จากนั้นทำการเสริมโปรตีนจาก 2 แหล่ง ได้แก่ โปรตีนถั่วลันเตา (Royal plant) และเวย์โปรตีน (Fresubin) ที่ระดับร้อยละ 1 และ 2 ของสูตร โดยเลือกระดับการเติมดังกล่าวเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการเติมโปรตีนในปริมาณสูงอาจส่งผลให้กัมมี่เยลลี่มีความแข็งเพิ่มขึ้นและมีความโปร่งใสลดลง อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเจล วิธีการเตรียมผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ดัดแปลงจาก กมลทิพย์ กรรไพเราะ [9] รายละเอียดของของส่วนประกอบในแต่ละสูตรแสดงดังตารางที่ 1 นำน้ำกระเจี๊ยบมาละลายโปรตีน จากนั้นเติมเจลาตินผงที่ผลิตจากหนังวัว (ยี่ห้อ Mcgarrett) พร้อมทั้งคนตลอดเวลา โดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เติมกลูโคสไซรัป กรดซิตริกและน้ำตาลทราย คนจนส่วนผสมละลาย ใช้เวลาประมาณ 1 นาที เทส่วนผสมลงในพิมพ์ซิลิโคนรูปหมี ขนาดตัวหมี 2.5 x 1.6 เซนติเมตร นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 8 - 10 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แกะผลิตภัณฑ์ออกจากพิมพ์และเก็บในกล่องพลาสติกปิดสนิทเพื่อวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของสูตรผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบเสริมโปรตีน

ส่วนผสม (กรัม)	C	P1	P2	WP1	WP2
น้ำกระเจี๊ยบ	24.85	24.85	24.85	24.85	24.85
เจลาติน	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59
กรดซิตริก	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
น้ำตาลทราย	35.50	34.50	33.50	34.50	33.50
กลูโคสไซรัป	31.95	31.95	31.95	31.95	31.95
โปรตีนถั่วลันเตา	-	1	2	-	-
เวย์โปรตีน	-	-	-	1	2

หมายเหตุ : C คือ สูตรควบคุม, P1 คือ เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 1, P2 เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 2, WP1 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 1, WP2 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 2

2. การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่

2.1 ด้านเคมีกายภาพ

1) วัดเนื้อสัมผัสของกัมมี่เยลลี่ ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA-XT plus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) ใช้หัววัดทรงกระบอก (P/36) สภาวะการทดสอบใช้การกดอัด (compression) ตัวอย่างแบบต่อเนื่อง 2 รอบ ที่ระดับการกดอัดร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่าง โดยเว้นช่วงระหว่างรอบ 15 วินาที ความเร็วหัววัด เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที และ trigger force เท่ากับ 5 กรัม รายงานผลพารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) ค่าความเหนียว(gumminess) ค่าการเกาะตัว (cohesiveness) และค่าความสามารถในการเคี้ยว (chewiness) [10]

2) วัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter CR-400, Konica Minolta, Japan) รายงานผลในระบบ CIE (L*, a*, b*)

3) วัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ด้วยเครื่อง pH meter (Sevencompact S220, Mettler Toledo, Switzerland) ดัดแปลงวิธีของ Rubio-Arraeze et al. [10] โดยนำกัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบมาทำการละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที พักไว้ให้เย็นก่อนวัดค่า pH

4) วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีมาตรฐาน AOAC [11] ใช้วิธีการอบแห้ง (Oven drying method) เริ่มจากชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3-5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Universal Oven UN55, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 3-5 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำตัวอย่างออกจากตู้อบและพักในโถดูดความชื้น (desiccator) จนเย็นที่อุณหภูมิห้อง จึงชั่งน้ำหนักอีกครั้ง คำนวณปริมาณความชื้นจากผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้ง และรายงานผลในหน่วยร้อยละ

5) วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ด้วยเครื่อง Water activity meter (HD-6, NADE, China) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ Rubio-Arraeze et al. [10]

6) วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีมาตรฐาน AOAC [12] โดยวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธีคเจลดาห์ล (Kjeldahl method) และแปลงเป็นปริมาณโปรตีนโดยใช้ค่า conversion factor (6.25)

2.2 การต้านอนุมูลอิสระ

การเตรียมสารสกัด ดัดแปลงวิธีของ Loypimai et al. [13] โดยใช้เมทานอลร้อยละ 80 ในการเตรียมสารสกัดให้ได้ความเข้มข้น 0.2 กรัม/มิลลิลิตร ให้ความร้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง และเก็บสารสกัดในขวดสีชาเพื่อใช้วิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่

1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) ใช้วิธี Folin-Ciocalteu [14] นำสารสกัดปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin–Ciocalteu ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 7 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Scientific, United States) และรายงานผลปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (ความเข้มข้นในช่วง 20-100 มิลลิกรัมต่อลิตร)

2) ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (total anthocyanin content) โดยวิธี pH differential ดัดแปลงวิธีของ Giusti and Wrolstad [15] นำสารสกัดปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ไปเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 2 ชนิด ได้แก่ บัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (pH 1.0) และบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตตไตรไฮเดรต (pH 4.5) อย่างละ 2.7 มิลลิลิตร ตั้งไว้นาน 30 นาที ก่อนนำไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดดังสมการ

$$\text{total anthocyanin content (mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\varepsilon \times 1}$$

เมื่อ A คือ $(A_{520} - A_{700})\ pH_{1.0} - (A_{520} - A_{700})\ pH_{4.5}$

MW คือ มวลโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside (449.2 g/mol)

DF คือ dilution factor (อัตราการเจือจางมีค่า 100)

ε คือ molar absorptivity ของ cyanidin-3-glucoside (26,900 1 mol/cm)

l คือ ความยาวทางเดินแสงของคิวเวต

3) ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ดัดแปลงวิธีของ Loypimai et al. [13] ปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 0.15 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมล ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

4) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรวม (total antioxidant capacity) ดัดแปลงวิธีของ Dasgupta and De [16] ปิเปตสารสกัด ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร โซเดียมฟอสเฟต ความเข้มข้น 28 มิลลิโมล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และแอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7{\cdot}4H_2O$) ความเข้มข้น 4.0 มิลลิโมล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที จากนั้นพักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และวัดค่า

การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รายงานผลเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (ความเข้มข้นในช่วง 20-100 มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.3 ด้านจุลชีววิทยา

1) วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate counts) ตามวิธีการของ AOAC [17] ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ในถุงปลอดเชื้อ เติมสารละลาย peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อให้ได้สารละลายเริ่มต้นที่ระดับความเจือจาง 10^{-1} จากนั้นทำการเจือจางจนได้ระดับ 10^{-2} ถึง 10^{-4} นำสารละลายตัวอย่างเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) โดยวิธี spread plate บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PCA (จำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี) และรายงานผลในหน่วย log CFU/g

2) วิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (yeast and mold counts) ตามวิธีการของ AOAC [17] ชั่งตัวอย่าง 25 กรัม เติมสารละลาย peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อให้ได้สารละลายเริ่มต้นที่ระดับความเจือจาง 10^{-1} จากนั้นทำการเจือจางต่อเนื่องเป็น 10^{-2} และ 10^{-3} นำสารละลายตัวอย่างไปเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ที่ปรับ pH ประมาณ 4.5 โดยวิธี spread plate แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นนับจำนวนโคโลนีของยีสต์และรา และรายงานผลในหน่วย log CFU/g

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (2x2 Factorial experiment) ศึกษาทั้งหมด 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดและปริมาณโปรตีนที่ใช้ในสูตรผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบ แต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS

ผลการศึกษา

1. คุณสมบัติทางกายภาพ

1.1 ด้านเนื้อสัมผัส

จากการศึกษาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบสูตรควบคุมและสูตรที่ทำการเสริมโปรตีนจาก 2 แหล่ง คือ โปรตีนถั่วลันเตา และเวย์โปรตีนที่ระดับร้อยละ 1 และ 2 (ตารางที่ 2) พบว่าทุกสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การเพิ่มปริมาณโปรตีนจากทั้ง 2 แหล่ง ส่งผลให้ค่าความแข็ง (hardness) ค่าความเหนียว (gumminess) และค่าความสามารถในการเคี้ยว (chewiness) เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม กัมมี่เยลลี่เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 2 มีค่าความแข็ง ความเหนียว และความสามารถในการเคี้ยวสูงสุด เท่ากับ 3,805.40, 3,588.70 และ 2,434.80 g force ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม ค่าความยืดหยุ่น (springiness) และค่าการเกาะตัว (cohesiveness) มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งกัมมี่เยลลี่เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 1 มีค่าความยืดหยุ่นและค่าการเกาะตัวสูงสุด เท่ากับ 0.58 และ 0.98 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบเสริมโปรตีนและสูตรควบคุม

สูตรผลิตภัณฑ์	พารามิเตอร์				
	hardness (g force)	springiness	cohesiveness	gumminess (g force)	chewiness (g force)
C	2,723.10±8.76^{e}	0.56±0.00^{b}	0.96±0.00^{b}	2,680.50±1.38^{e}	1,322.90±6.24^{e}
P1	3,242.70±8.68^{d}	0.58±0.00^{a}	0.98±0.00^{a}	3,093.90±1.55^{d}	1,841.50±2.73^{d}
P2	3,805.40±4.60^{a}	0.46±0.00^{e}	0.95±0.00^{c}	3,588.70±9.41^{a}	2,434.80±4.81^{a}
WP1	3,316.70±7.92^{c}	0.53±0.00^{c}	0.96±0.00^{b}	3,152.90±2.65^{c}	1,949.10±9.39^{c}
WP2	3,762.20±2.10^{b}	0.48±0.00^{d}	0.93±0.00^{d}	3,481.60±7.24^{b}	2,173.20 ±2.35^{b}

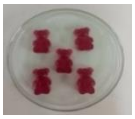
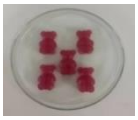
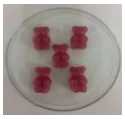
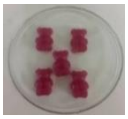
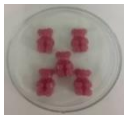
$^{a-e}$ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

หมายเหตุ : C คือ สูตรควบคุม, P1 คือ เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 1, P2 เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 2, WP1 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 1, WP2 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 2

1.2 ค่าสีและลักษณะปรากฏ

จากการศึกษาค่าสีและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบทั้งหมด 5 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม และสูตรที่เสริมโปรตีนจาก 2 แหล่ง คือ โปรตีนถั่วลันเตาและเวย์โปรตีนที่ระดับร้อยละ 1 และ 2 (ตารางที่ 3) พบว่าพารามิเตอร์ค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การเพิ่มปริมาณโปรตีนจากทั้ง 2 แหล่งส่งผลให้ค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า a* ลดลง การเสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 2 มีค่า L* สูงสุด เท่ากับ 41.63 และการเสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 2 แสดงค่า a* ต่ำสุด เท่ากับ 14.37 สำหรับค่า b* การเสริมโปรตีนถั่วลันเตาทำให้ค่า b* เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับร้อยละ 2 ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 3.16 ขณะที่การเสริมเวย์โปรตีนทำให้ค่า b* ลดลง

ตารางที่ 3 ค่าสีและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบเสริมโปรตีนและสูตรควบคุม

พารามิเตอร์	สูตรผลิตภัณฑ์				
	C	P1	P2	WP1	WP2
L*	34.74±0.02^{d}	34.12±0.02^{e}	39.99±0.02^{b}	35.41±0.02^{c}	41.63±0.01^{a}
a*	29.41±0.02^{a}	15.86±0.02^{d}	14.37±0.01^{e}	20.50±0.01^{b}	16.65±0.01^{c}
b*	9.41±0.01^{a}	2.30±0.01^{c}	3.16±0.02^{b}	0.73±0.01^{d}	0.38±0.01^{e}
ลักษณะปรากฏ					

$^{a-e}$ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

หมายเหตุ : C คือ สูตรควบคุม, P1 คือ เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 1, P2 เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 2, WP1 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 1, WP2 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 2

2. คุณสมบัติด้านเคมี

จากการศึกษาคุณสมบัติด้านเคมีของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบทั้ง 5 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม และสูตรที่เสริมโปรตีนจาก 2 แหล่ง คือ โปรตีนถั่วลันเตาและเวย์โปรตีนที่ระดับร้อยละ 1 และ 2 (ตารางที่ 4) พบว่าค่ากรด-เบส (pH) ปริมาณความชื้น ปริมาณ

น้ำอิสระ และปริมาณโปรตีนของกัมมี่เยลลี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การเสริมโปรตีนช่วยเพิ่มทั้งค่า pH และปริมาณโปรตีนของกัมมี่เยลลี่ โดยค่า pH เพิ่มจาก 2.71 ในสูตรควบคุมเป็น 2.91-3.09 ขณะที่ปริมาณโปรตีนเพิ่มจากร้อยละ 6.40 เป็นร้อยละ 7.60-8.38 กัมมี่เยลลี่สูตรที่ทำการเสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 2 มีค่า pH และปริมาณโปรตีนสูงสุด เท่ากับ 3.09 และร้อยละ 8.38 ตามลำดับ สำหรับปริมาณความชื้นของกัมมี่เยลลี่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน พบว่าการเสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 1 มีปริมาณความชื้นสูงสุด เท่ากับร้อยละ 19.78 ส่วนปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ที่เสริมโปรตีนทั้ง 2 แหล่ง มีค่าไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม มีค่าระหว่าง 0.791-0.793

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบเสริมโปรตีนและสูตรควบคุม

คุณสมบัติ	สูตรผลิตภัณฑ์				
	C	P1	P2	WP1	WP2
กรด - เบส (pH)	2.71±0.01^{e}	2.91±0.01^{d}	3.02±0.01^{b}	2.93±0.01^{c}	3.09±0.01^{a}
ความชื้น (ร้อยละ)	16.47±0.08^{e}	19.78±0.02^{a}	18.70±0.14^{c}	19.41±0.09^{b}	18.05±0.03^{d}
ปริมาณน้ำอิสระ	0.792±0.00^{ab}	0.793±0.00^{a}	0.793±0.00^{a}	0.791±0.00^{b}	0.791±0.00^{b}
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	6.40±0.01^{e}	7.60±0.01^{d}	8.16±0.01^{b}	7.85±0.01^{c}	8.38±0.01^{a}

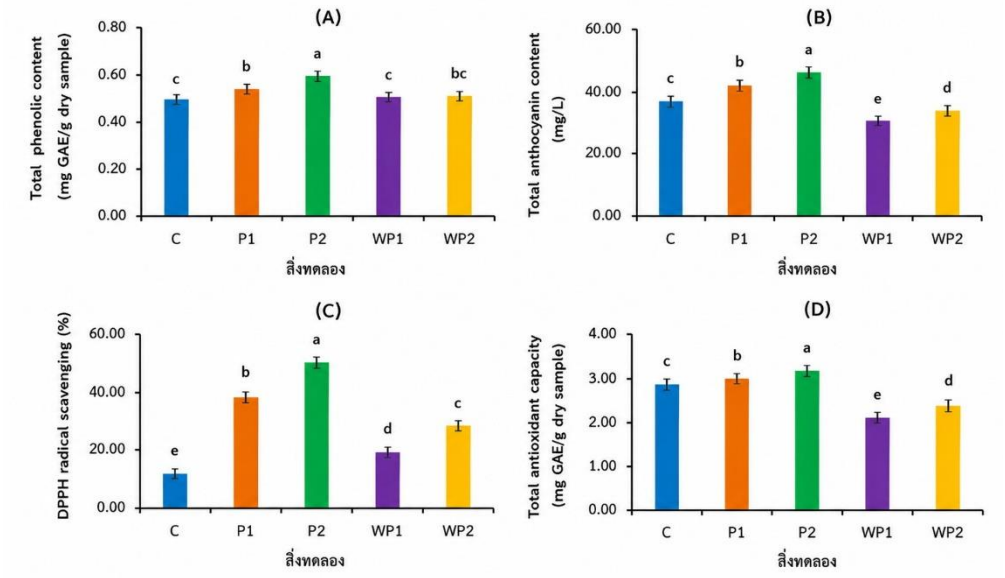
$^{a-e}$ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

หมายเหตุ : C คือ สูตรควบคุม, P1 คือ เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 1, P2 เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 2, WP1 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 1, WP2 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 2

3. คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบทั้ง 5 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม และสูตรที่เสริมโปรตีนจาก 2 แหล่ง คือ โปรตีนถั่วลันเตาและเวย์โปรตีนที่ระดับร้อยละ 1 และ 2 (ภาพที่ 1) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรวมของกัมมี่เยลลี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนจากทั้ง 2 แหล่งส่งผลให้คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระทุกพารามิเตอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 2 แสดงค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรวมสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.61 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่างแห้ง 1 กรัม (mg GAE/g dry sample), 47.87 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (mg/L), ร้อยละ 52.83 และ 3.24 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อตัวอย่างแห้ง 1 กรัม(mg GAE/g dry sample) ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (A); ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (B); ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (C) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรวม (D) ของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบเสริมโปรตีนและสูตรควบคุม

หมายเหตุ : กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$; C คือ สูตรควบคุม, P1 คือ เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 1, P2 คือ เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 2, WP1 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 1, WP2 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 2

4. คุณภาพด้านจุลชีววิทยา

จากการตรวจสอบคุณภาพด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบทั้งหมด 5 สูตร ได้แก่ สูตรควบคุม และสูตรที่เสริมโปรตีนจาก 2 แหล่ง คือ โปรตีนถั่วลันเตาและเวย์โปรตีนที่ระดับร้อยละ 1 และ 2 (ตารางที่ 5) พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในทุกตัวอย่างมีค่าน้อยกว่า 2 log CFU/g

ตารางที่ 5 คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบเสริมโปรตีนและสูตรควบคุม

พารามิเตอร์	สูตรผลิตภัณฑ์				
	C	P1	P2	WP1	WP2
จุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	<2	<2	<2	<2	<2
ยีสต์และรา (log CFU/g)	<2	<2	<2	<2	<2

หมายเหตุ : ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) คือ 2 log CFU/g; C คือ สูตรควบคุม, P1 คือ เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 1, P2 เสริมโปรตีนถั่วลันเตาร้อยละ 2, WP1 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 1, WP2 คือ เสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 2

วิจารณ์

1. คุณสมบัติทางกายภาพ

การศึกษาด้านเนื้อสัมผัสของกัมมี่เยลลี่ พบว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนทั้ง 2 แหล่ง ได้แก่ โปรตีนถั่วลันเตาและเวย์โปรตีนส่งผลให้ค่าความแข็ง (hardness), ค่าความเหนียว (gumminess) และค่าความสามารถในการเคี้ยว (chewiness) เพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ค่าความยืดหยุ่น (springiness) และค่าการเกาะตัว (cohesiveness) มีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าชนิดของโปรตีนมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดและการจัดเรียงโครงสร้างเจลของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันไปตามปริมาณโปรตีนที่เสริมในผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Güneş et al.[8] พบว่าการเสริมโปรตีนไฮโดรไลเซตจากเมล็ดทานตะวันและเฮเซลนัทในกัมมี่เยลลี่ชนิดอ่อน ส่งผลให้ค่าความแข็ง ความเหนียว และความสามารถ

ในการเคี้ยวของกัมมี่เยลลี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เป็นผลมาจากความแตกต่างของสัดส่วนกรดอะมิโนและขนาดโมเลกุลเปปไทด์ในแต่ละแหล่งโปรตีน ประกอบกับคุณสมบัติการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของโปรตีนที่ส่งผลโดยตรงต่อการจัดเรียงตัวของโครงสร้างเจล

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ด้านสี พบว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนส่งผลให้ค่า L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า a* ลดลง สำหรับค่า b* พบว่าการเสริมโปรตีนถั่วลันเตาทำให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเสริมเวย์โปรตีนทำให้มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโปรตีนมีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือสีครีมลดลงในส่วนผสมที่มีสีแดงเข้มจากแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบ ทำให้ความเข้มข้นของสารให้สีตามธรรมชาติต่อหน่วยปริมาตรลดลง สีแดงของกัมมี่เยลลี่จางลงและมีความสว่างมากขึ้น นอกจากนี้ ค่า b* ยังขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีน โดยโปรตีนถั่วลันเตามีรงควัตถุธรรมชาติ คือ กลุ่มแคโรทีนอยด์หรือฟลาโวนอยด์มีสีเหลืองนวล [6] จึงทำให้ค่า b* เพิ่มขึ้นตามปริมาณที่เติม ในขณะที่เวย์โปรตีนมีสีขาวและความเหลืองต่ำ จึงส่งผลให้ค่า b* ของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fluerasu et al.[18] ศึกษาการใช้เวย์โปรตีนเป็นส่วนผสมหลักในการผลิตเยลลี่เพื่อสุขภาพร่วมกับผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ พบว่าการเติมเวย์โปรตีนช่วยให้โครงสร้างสีมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ความแตกต่างของปริมาณแอนโทไซยานินในเบอร์รี่แต่ละชนิด ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะปรากฏและค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยเยลลี่ผสมราสเบอร์รี่และสตรอเบอร์รี่ให้ค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงที่สุด จึงมีสีแดงสว่างเด่นชัด ในขณะที่เยลลี่ผสมบลูเบอร์รี่ให้โทนสีน้ำเงินเข้ม ส่งผลให้ค่า a* ต่ำกว่า

2. คุณสมบัติด้านเคมี

การศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมี พบว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ส่งผลให้ค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของโปรตีนมีหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ หมู่อะมิโนและคาร์บอกซิล สามารถให้และรับโปรตอน (H^+) ได้ จึงช่วยลดความเป็นกรดของอาหาร เมื่อมีการเติมโปรตีนในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้น [19] ผลการศึกษาสอดคล้องกับรายงานของ ภาสุรี ฤทธิเลิศ และกมลวรรณ วารินทร์ [20] พบว่าผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่มะม่วงหาวมะนาวโห่ มีค่า pH เท่ากับ 2.84-3.34 สำหรับปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเสริมโปรตีนและเจลาตินที่ใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ ศุภชัย พิทักษ์มงคล และน้อมจิตต์ สุธีบุตร [21] ได้พัฒนา

ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่เสริมเวย์โปรตีนลดน้ำตาล พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 9.84 ขณะที่สูตรพื้นฐาน (ไม่เสริมโปรตีน) มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.01 อย่างไรก็ตาม ปริมาณโปรตีนของสูตรพื้นฐานหรือสูตรควบคุมที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้มีค่าสูงกว่ารายงานวิจัยดังกล่าว อาจเนื่องมาจากในสูตรควบคุมมีการใช้เจลาตินผงร้อยละ 6.59 ของส่วนประกอบทั้งหมด จึงทำให้กัมมี่เยลลี่มีปริมาณโปรตีนที่สูง สำหรับปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน มีรายงานว่าผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่โดยทั่วไปมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 20 [22] สอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าปริมาณความชื้นของกัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบทั้ง 5 สูตร มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 16.47-19.78 ทั้งนี้ปริมาณความชื้นของกัมมี่เยลลี่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสูตร โดยเจลาตินมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ในปริมาณมาก นอกจากนี้ โปรตีนที่เสริมในกัมมี่เยลลี่ยังมีผลต่อการจัดเรียงตัวของโครงสร้างเจล รวมทั้งอาจรบกวนการเกิดโครงข่ายของเจลาตินและส่งผลต่อการกักเก็บน้ำ ความแตกต่างขององค์ประกอบกรดอะมิโน ขนาดเปปไทด์ และความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนแต่ละแหล่งยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อโครงสร้างเจล [8] อย่างไรก็ตาม การเสริมโปรตีนทั้งสองแหล่งไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม เนื่องจากกัมมี่เยลลี่เป็นอาหารกึ่งแห้งที่โดยทั่วไปมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.60-0.85 ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ [23]

3. คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกัมมี่เยลลี่ที่ทำการศึกษาขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและส่วนผสมที่ใช้ โดยกระเจี๊ยบแดงเป็นแหล่งของสารแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ และกรดฟีนอลิก ถั่วลันเตามีฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิกซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ [24] และเวย์โปรตีนเป็นแหล่งของซีสเตอีนซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กลูตาไธโอน จึงมีส่วนเสริมศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระให้กับผลิตภัณฑ์ [3] จากการศึกษาการเสริมโปรตีนจากถั่วลันเตามีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการเสริมเวย์โปรตีน เนื่องจากโปรตีนจากถั่วลันเตามีสารประกอบฟีนอลิกที่มีบทบาทในการต้านอนุมูลอิสระสูง [24] ส่วนแอนโทไซยานินเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในกระเจี๊ยบแดง [7] ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบ

หลักในการเตรียมกัมมี่เยลลี่ สารชนิดนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ออกซิเจน ความเข้มข้น อุณหภูมิ แสง เอนไซม์ ค่า pH สารประกอบที่ไม่มีสีหรือมีสีอ่อน (co-pigments) รวมทั้งองค์ประกอบของอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เกลือ น้ำตาล กรดแอสคอร์บิกและแร่ธาตุ เป็นต้น [25] ปัจจัยเหล่านี้ทำให้ปริมาณและสีของแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของกัมมี่เยลลี่ยังเกี่ยวข้องกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างแอนโทไซยานินและโปรตีน เนื่องจากแอนโทไซยานินมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) ที่สามารถจับกับโปรตีนได้สารประกอบเชิงซ้อนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านโครงสร้าง สมบัติเชิงหน้าที่ และคุณค่าทางโภชนาการของสารทั้งสอง [26] สอดคล้องกับรายงานที่ว่าเวย์โปรตีนสามารถจับกับแอนโทไซยานินเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) ช่วยเพิ่มความคงตัวของสีแอนโทไซยานิน ไม่ให้เสื่อมสลายได้ง่ายจากความร้อนหรือแสง รวมทั้งช่วยเสริมฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ [27]

4. คุณภาพด้านจุลชีววิทยา

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบที่ทำการศึกษามีค่าน้อยกว่า 2 log CFU/g หรือ 100 CFU/g อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เยลลี่แห้ง (มผช. 520/2547) [28] ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน $1x10^4$ CFU/g และ 100 CFU/g ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูง สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ทนความร้อนได้ ประกอบกับการควบคุมสุขลักษณะที่ดีในกระบวนการผลิตอาหาร ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยต่อการบริโภคตามมาตรฐานที่กำหนด

สรุป

ชนิดและปริมาณโปรตีนมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบ การเสริมโปรตีนจากถั่วลันเตาและเวย์โปรตีนช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับกัมมี่เยลลี่ส่งผลให้มีปริมาณโปรตีน สารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น โดยการเสริมเวย์โปรตีนร้อยละ 2 มีปริมาณโปรตีนสูงสุด ขณะที่การเสริมโปรตีนถั่วลันเตาช่วยเสริมฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้มากสุด นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ยังมีคุณภาพและความปลอดภัยเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถพัฒนากัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบที่มีส่วนผสมของโปรตีนถั่วลันเตาและเวย์โปรตีนเป็นอาหารฟังก์ชันที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีศักยภาพในการส่งเสริมสุขภาพ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป ควรศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคและข้อมูลทางฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่กระเจี๊ยบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาโภชนาการและการกำหนดอาหาร คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Tarahi M, Tahmouzi S, Kianian M, Ezzati S, Hedayati S, Niakousari M. Current innovations in the development of functional gummy candies. Foods. 2023 Dec 25;13(1): Article 76. doi: 10.3390/foods13010076
2. Fluerasu Bălțatu D, Negrea M, Neagu C, Dossa S, Jianu C, Lalescu D, et al. Whey valorization in functional jellies: A nutritional and technological approach. Foods. 2025 Sep 13;14(18): Article 3193. doi: 10.3390/foods 14183193. PMID: 41008166
3. Bumrungpert A, Pavadhgul P, Nunthanawanich P, Sirikanchanarod A, Adulbhan A. Whey protein supplementation improves nutritional status, glutathione levels, and immune function in cancer patients: A randomized, double-blind controlled trial. J Med Food. 2018 Jun;21(6):612-16. doi: 10.1089/jmf.2017.4080. PMID: 2956571
4. Ren S, Jiménez-Flores R, Giusti MM. Interactions between anthocyanins and whey proteins: Impact on food systems. Compr Rev Food Sci Food Saf. 2021 Nov;20(6):5992-6011. doi: 10.1111/1541-4337.12854. PMID: 34622535

5. Harasym J, Paroń O, Pejcz E. Pea protein isolates: From extraction to functionality. Molecules. 2025 Dec 23;30(23): Article 4650. doi: 10.3390/ molecules 30234650. PMID: 41375245
6. Chen SK, Lin HF, Wang X, Yuan Y, Yin JY, Song XX. Comprehensive analysis in the nutritional composition, phenolic species and in vitro antioxidant activities of different pea cultivars. Food Chem X. 2023 Feb 10;17:100599. doi: 10.1016/j.fochx.2023.100599. PMID: 36845501
7. Akther F, Alim MA, Nasrin NA, Khan M, Gomes DN, Suhan M, et al. Effects of different drying methods on the proximate composition, antioxidant activity, and phytochemical content of Hibiscus sabdariffa L. calyx. Food Chem Adv. 2023 Dec;3: Article 100553. doi: 10.1016/j.focha.2023.100553.
8. Güneş ZS, Şişman S, Özarda Ö, Gülseren İ. Bioactive, textural and sensory attributes of soft confections enriched with plant protein hydrolysates. J Food Meas Charact. 2024 May 4;18:5534-40. doi: 10.1007/s11694-024-02585-9.
9. กมลทิพย์ กรรไพเราะ. ผลของการใช้สารทดแทนน้ำตาลต่อคุณภาพของกัมมี่เยลลี่ดาหลา. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2561;23(2):944-58.
10. Rubio-Arraez S, Capella JV, Castelló ML, Ortolá MD. Physicochemical characteristics of citrus jelly with non cariogenic and functional sweeteners. J Food Sci Technol. 2016 Oct;53(10):3642-50. doi: 10.1007/s13 197-016-2319-4. PMID: 28017979
11. Association of Official Analytical Chemist (AOAC). Official methods of analysis. 17th ed. Gaithersburg, MD: AOAC; 2000.
12. Latimer, GW, editor. Official methods of analysis of AOAC International. 22nd ed. New York: AOAC; 2023.

13. Noisuwan A, Loypimai P, Sinsiri N, Sinsiri W. Antioxidant activity and total phenolics in Sugarcane (Saccharum officinarum “KhonKaen1”) juice. Agric Sci J. 2010; 41(1 Suppl.):126-9.
14. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods Enzymol. 1999;299:152-178. doi: 10.1016 /S0076-6879(99)99017-1.
15. Giusti MM, Wrolstad RE. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In: Current Protocols in Food Analytical Chemistry. New York: John Wiley & Sons; 2001, pp. 1–13. doi: 10.1002/0471142913.faf0102s00.
16. Dasgupta N, De B. Antioxidant activity of Piper betle L. leaf extract in vitro. Food Chem. 2004;88(2):219-224. doi:10.1016/j.foodchem.2004.01. 036.
17. United States. Food And Drug Administration**.** Bacteriological analytical manual. 8th ed. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists (AOAC); 2001.
18. Fluerasu D, Negrea M, Neagu C, Dossa S, Jianu C, Lalescu D, et al. Whey valorization in functional jellies: A nutritional and technological approach. Foods. 2025;14(18): Article 3193. doi: 10.3390/foods14183193.
19. Damodaran S, Parkin KL, editors. Fennema's food chemistry. 5th ed. Boca Raton (FL): CRC Press; 2017. doi: 10.1201/9781315372914
20. ภาสุรี ฤทธิเลิศ, กมลวรรณ วารินทร์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่มะม่วงหาวมะนาวโห่. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 12 ก.ค. 2569];9(2):342-354. เข้าถึงได้จาก: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjst/article/view/240013/163691

21. ศุภชัย พิทักษ์มงคล, น้อมจิตต์ สุธีบุตร. กัมมี่เยลลี่ลดน้ำตาลเสริมเวย์โปรตีน. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10; 2562; กรุงเทพฯ, ประเทศไทย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา; 2562. หน้า 1348-54.
22. Periche A, Heredia A, Escriche I, Andres A, Castello ML. Optical, mechanical and sensory properties of based-isomaltulose gummy confections. Food Biosci. 2014 Sep;7:37-44. doi:10.1016/j.fbio.2014.05.006
23. สุกัญญา เขียวสะอาด, สรัญญา ชวนพงษ์พานิช, อัศวิน ดาดูเคล. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่จากสารสกัดดอกบุนนาค. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2563; 28(12):2185-200.
24. Han H, Baik BK. Antioxidant activity and phenolic content of lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (Cicer arietinum L.), peas (Pisum sativum L.) and soybeans (*Glycine max*) and their quantitative changes during processing. Int J Food Sci Technol. 2008 Nov;43(11):1971-1978. doi: 10.1111/j.1365-2621.2008.01800.x.
25. Ren S, Jiménez-Flores R, Giusti MM. The interactions between anthocyanin and whey protein: A review. Compr Rev Food Sci Food Saf. 2021Nov;20(6):1-20. doi: 10.1111/1541-4337.12854.
26. Zhang Q, Cheng Z, Wang Y, Fu L. Dietary protein-phenolic interactions: Characterization, biochemical, physiological consequences, and potential food applications. Crit Rev Food Sci Nutr. 2020;61(21):3589-3615. doi: 10.1080/10408398.2020.1803199. PMID: 32814438
27. Zang Z, Chou S, Geng L, Si X, Ding Y, Lang Y, et al. Interactions of blueberry anthocyanins with whey protein isolate and bovine serum protein: Color stability, antioxidant activity, in vitro simulation, and protein functionality. LWT. 2021;152: Article 112269. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112269.

28. สถาบันอาหาร สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: เยลลี่แห้ง (มผช. 520/2547) [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร สถาบันอาหาร สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม; 2547 [เข้าถึงเมื่อ 12 ก.ค. 2569]. เข้าถึงได้จาก: https://fic.nfi.or.th/law/upload/file1/TH_1300.pdf