

บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นเทมเป้กรอบ

Development of Crispy Tempeh Chip Products

ณัฐกานต์ สุขเกษม¹ รวีวรรณ บัวรอด¹ ศิริพร บุญสิทธิ์¹ ดวงใจ โอชัยกุล¹ กมลพร สิทธิไตรย์² และกวิณชญา สายแก้ว^{1,*}Nattakarn Sukkaseam¹, Raweewan Buarod¹, Siriporn Boonsit¹, Duangjai Ochaikul¹, Kamonporn Sittithitai², and Kawinchaya Saikaew^{1,*}

Received: January 21, 2025

Revised: April 23, 2025

Accepted: April 30, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณเทมเป้ต่อแป้งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นเทมเป้กรอบ ซึ่งแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ สัดส่วนเทมเป้ต่อแป้ง 60:40, 70:30 และ 80:20 โดยชนิดของเทมเป้ที่ใช้มี 2 รูปแบบ คือ การใช้เทมเป้ถั่วเหลืองเพียงชนิดเดียว (สูตรที่ 1-3) และการใช้เทมเป้ถั่วผสม ซึ่งหมักจากถั่วแต่ละชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วลันเตาสลับ (สูตรที่ 4-6) ผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 6 (เทมเป้ถั่วผสมต่อแป้งสัดส่วน 80:20) ขึ้นรูปเป็นแผ่นบางและอบกรอบได้ยาก ส่วนสูตรอื่นๆ อีก 5 สูตร หลังการอบผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง-น้ำตาลอ่อน โดยมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 45.20-57.39 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 27.55-32.80 การเพิ่มปริมาณเทมเป้ในสูตรส่งผลให้ปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณเถ้า (แร่ธาตุ) และคาร์โบไฮเดรตลดลง ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้การเพิ่มสัดส่วนเทมเป้ในสูตรส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิก โปรตีน เปปไทด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 (เทมเป้ถั่วเหลืองต่อแป้งสัดส่วน 80:20) มีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงที่สุดเท่ากับ 4.29 mg GAE/g DW และ 10.37 mg QE /g DW ตามลำดับ และสูตรที่ 2 (เทมเป้ถั่วเหลืองต่อแป้งสัดส่วน 70:30) มีปริมาณเปปไทด์สูงที่สุดเท่ากับ 156.64 mg BSA/g DW ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม สูตรที่ 1 (เทมเป้ถั่วเหลืองต่อแป้งสัดส่วน 60:40) ได้รับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดทุกคุณลักษณะที่ทดสอบ ซึ่งคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง-ชอบมาก ทั้งนี้ สูตรที่ 1 มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมระดับเดียวกันกับสูตรที่ 4 (เทมเป้ถั่วผสมต่อแป้งสัดส่วน 60:40) ($p > 0.05$) จึงอาจกล่าวได้ว่าเทมเป้จากถั่วชนิดต่างๆ มีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ

คำสำคัญ: เทมเป้ ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ *Rhizopus oligosporus* เปปไทด์ โปรตีนจากพืช

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of the tempeh to flour ratio in developing crispy tempeh chip products, using three different ratios: 60:40, 70:30, and 80:20. There are two groups of tempeh: the soybean tempeh group (formulations 1-3) and the mixed legume tempeh group, which includes four different types of legume tempeh: soybean, mung bean, red bean, and tiger-striped peanut (formulations 4-6). We found that formulation 6 (mix-legume tempeh-to-flour ratio, 80:20) was ambitious in forming a thin sheet before baking. The product of formulations 1-5 exhibited the yellow-brown color with the lightness (L^*) value ranking between 45.20 and 57.39 and the yellowness (b^*) value ranking between 27.55 and 32.80. The high tempeh portion caused an increase in the moisture, protein, and fat contents ($p \leq 0.05$) but reduced ash (mineral) and carbohydrate contents ($p \leq 0.05$). In addition, the high portion of tempeh led to increases in phenolic, protein, peptide, and antioxidant activity ($p \leq 0.05$). Formulation 3 (soybean tempeh-to-flour ratio, 80:20) contained the highest level of total phenolic and total flavonoid of 4.29 mg GAE/g DW and 10.37 mg QE/g DW, respectively. Formulation 2 (soybean tempeh-to-flour ratio, 70:30) contained the highest total peptide content at 156.64 mg BSA/g DW ($p \leq 0.05$). However, formulation 1 (soybean tempeh-to-flour ratio, 60:40) provided the highest hedonic scores of all attributes, ranked between like moderately and like very much. Meanwhile, the overall liking score of formulation 1 was similar to formulation 4 (mix-legume tempeh-to-flour ratio, 60:40) ($p > 0.05$). This study demonstrated the potential of different legume tempeh as a healthy snack product.

Keywords: tempeh, healthy-snack, *Rhizopus oligosporus*, peptide, plant-based protein

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹Department of Biology, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Lat Krabang, Bangkok 10520

²Food Innovation and Packaging Center, Chiang Mai University, Mae-Hia, Mueang, Chiang Mai 50100

บทนำ

ปัจจุบันกระแสนิยมการบริโภคอาหารจากพืช (plant-based food) ทำให้การบริโภคถั่วและธัญพืชต่างๆ ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากเป็นแหล่งของสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และสารโพลีฟีนอล ซึ่งการบริโภคถั่วและธัญพืชทั้งเมล็ดเป็นประจําลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และโรคอ้วนได้ [1] คุณค่าทางโภชนาการของถั่วทำให้เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ โดยถั่วถูกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลาย เช่น นมถั่ว เต้าหู้ และโปรตีนจากพืช นอกจากนี้ โปรตีนถั่ว ยังมีคุณสมบัติเด่นอีกหลายด้าน ได้แก่ การเกิดอิมัลชัน การเกิดเจล และการเกิดโฟม ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการดูแลสุขภาพและให้ความสนใจบริโภคอาหารที่ผลิตจากพืช [2]

เหมาเป้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักมีต้นกำเนิดจากอินโดนีเซีย โดยดั้งเดิมผลิตจากถั่วเหลืองหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* โดยหมักที่อุณหภูมิ 30-34 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง [3] ได้เป็นผลิตภัณฑ์เหมาเป้สด เหมาเป้เป็นแหล่งโปรตีนและกรดอะมิโนจําเป็น รวมถึงมีสารอาหารอื่น ได้แก่ วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 วิตามินเค และใยอาหาร [3-4] นอกจากนี้ หลังจากกระบวนการหมักโปรตีนบางส่วนจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงโดยเอนไซม์ที่ผลิตจากเชื้อรา (fungal enzymes) ได้เปปไทด์สายสั้น (bioactive peptides) ซึ่งร่างกายสามารถย่อยและนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น เปปไทด์ดังกล่าวยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ [5-6] ซึ่งช่วยลดการเกิดโรคหลายชนิด เช่น มะเร็ง ความดันโลหิต เบาหวาน และโรคหัวใจ เป็นต้น [7] การหมักนอกจากจะเพิ่มปริมาณเปปไทด์ในเหมาเป้แล้วยังส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกและคุณค่าทางโภชนาการ เช่น กรดไขมัน กรดอินทรีย์และกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นอีกด้วย [8] เหมาเป้ถั่วเหลืองเป็นแหล่งของโปรตีน สารต้านอนุมูลอิสระ และวิตามิน [7] อย่างไรก็ตาม เหมาเป้ถั่วชนิดอื่นๆ ก็เป็นแหล่งโปรตีนที่มีศักยภาพ Yanti et al. (2023) [9] รายงานว่าเหมาเป้ถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีน

ร้อยละ 39.19 รวมถึงมีกรดอะมิโน (total amino acids) และกรดอะมิโนจําเป็นสูง โดยมีค่าเท่ากับ 286.21 และ 117.97 mg/g ตามลำดับ นอกจากนี้ Erkan et al. (2020) [3] ซึ่งศึกษาคุณสมบัติเหมาเป้ถั่วชนิดต่างๆ ได้แก่ ถั่วลูกไก่ (chickpea) ถั่วเลนทิล (สีแดงและเขียว) ถั่วขาว ถั่วดำ และถั่วปากอ้า (broad bean) เปรียบเทียบกับเหมาเป้ถั่วเหลือง โดยใช้เชื้อรา *R. oligosporus* พบว่าเหมาเป้ถั่วลูกไก่อมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (47.11 mg/mL) ซึ่งสูงกว่าเหมาเป้ถั่วเหลืองถึง 2 เท่า และมีปริมาณฟีนอลิกสูง (4.30 g GAE/L) ซึ่งต่ำกว่าเหมาเป้ถั่วเหลืองเพียงเล็กน้อย รวมถึงผู้บริโภคมีความชอบด้านรสชาติของเหมาเป้ถั่วลูกไก่อมากที่สุด นอกจากนี้ พบว่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของเหมาเป้ถั่วทุกชนิดมีความคล้ายคลึงกัน ปัจจุบันเหมาเป้ได้รับความสนใจในเชิงอาหารเพื่อสุขภาพและนิยมบริโภคมากขึ้น เหมาเป้สดมักนำมาปรุงอาหารโดยใช้แทนเนื้อสัตว์ การทอดหรือย่างเพื่อรับประทานเป็นของว่าง ในเชิงอุตสาหกรรมมีการนำเหมาเป้สดมาแปรรูปเป็นขนมขบเคี้ยวโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ซึ่งวิธีการแปรรูปดังกล่าวต้องใช้ต้นทุนในการผลิตสูง การพัฒนาเหมาเป้เป็นผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวในรูปแบบอื่นพบว่ามีไม่มากนัก [4] และส่วนใหญ่มักใช้เหมาเป้ถั่วเหลืองเพียงชนิดเดียว นอกจากนี้ ตลาดค้าปลีกผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวทานเล่นหรือสแน็ค (snacks) มีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่องทั้งตลาดโลกและไทย ปี 2566 ตลาดอาหารประเภทนี้ในไทยมีมูลค่า 105,200.7 ล้านบาท โดยตลาดเพื่อสุขภาพมีอัตราการเติบโตร้อยละ 11.3 ซึ่งผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากพืช (plant-based snacks) เป็นสินค้าที่มีการเติบโตโดดเด่นลำดับแรก [10] แนวโน้มการเติบโตดังกล่าวเป็นโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการผู้บริโภค

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของปริมาณเหมาเป้ต่อแบ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นเหมาเป้กรอบซึ่งแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ สัดส่วนเหมาเป้ต่อแบ่ง 60:40, 70:30 และ 80:20 โดยใช้เหมาเป้ถั่วผสม ซึ่งได้จากการหมักถั่วแต่ละชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วลิสงลายเสือ เปรียบเทียบกับการใช้ถั่ว

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹Department of Biology, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Lat Krabang, Bangkok 10520

²Food Innovation and Packaging Center, Chiang Mai University, Mae-Hia, Mueang, Chiang Mai 50100

เหลืองเพียงชนิดเดียว (ตัวอย่างควบคุม) โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทางกายภาพ เคมี กายภาพ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วลิสงลายสือนอกจากจะเป็นตัวแทนของชนิดถั่วที่นิยมบริโภคและถั่วพันธุ์พื้นเมืองของไทยแล้ว ยังเป็นตัวแทนของชนิดถั่วที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน โดยถั่วเขียวเป็นแหล่งโปรตีน (21.8-23.5 g/100 g) [11-12] และคาร์โบไฮเดรต (total carbohydrate 35.6 g/100 g) [12] ถั่วแดงเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต (total carbohydrate 39.50 g/100 g) [12] และถั่วลิสงเป็นแหล่งโปรตีน (25.8-29.7 g/100 g) [12-13] และไขมัน (38.7-49.2 g/100 g) [12-13] ซึ่งโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพระหว่างกระบวนการหมัก นอกจากนี้ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต โยอาหาร ลิพิด และแร่ธาตุของถั่วแต่ละชนิดยังเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ [14] ซึ่งจะช่วยให้เชื้อรา *R. oligosporus* เจริญเติบโตและผลิตเอนไซม์ชนิดต่างๆ ในระหว่างกระบวนการหมัก เช่น โปรติเอส (proteases) และเซลลูเลส (cellulases) เป็นต้น ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ส่งผลต่อการเพิ่มฤทธิ์ทางชีวภาพของสารดังกล่าว [15-16] ดังนั้น การใช้ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วลิสงลายสือนอกจากแทนการใช้ถั่วเหลืองเพียงชนิดเดียวจะช่วยให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี ช่วยเพิ่มมูลค่าถั่วชนิดต่างๆ เทมเป้สด ช่วยลดการใช้ถั่วเหลืองซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศ และเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากเทมเป้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การผลิตเทมเป้สดจากถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วลิสงลายสือ

ทำความสะอาดถั่วแต่ละชนิด 100 กรัม โดยการล้างแบบไหลผ่านด้วยน้ำก๊อก ก่อนนำไปแช่ในน้ำสะอาด 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำถั่วไปต้มให้สุก โดยถั่วเขียวใช้เวลาการต้ม 10 นาที ถั่วเหลือง (ชนิดผ่าซีก) และถั่วแดงใช้เวลาการต้ม 25 นาที และถั่วลิสงลายสือ

ใช้เวลาการต้ม 40 นาที ทำการลอกเปลือกถั่วออกหลังการต้ม หลังพักให้ถั่วทุกชนิดเย็นตัวลงและแห้ง นำถั่วไปหมัก โดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์ *R. oligosporus* TISTR 3138 ปริมาณหัวเชื้อเชิงการค้าร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักถั่วหลังต้ม บ่มที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส ดัดแปลงจาก Erkan et al. (2020) [3] นำเทมเป้สดระยะที่มีเส้นใยสีขาวอัดตัวกันแน่นของถั่วแต่ละชนิดเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นเทมเป้กรอบ

2. การผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นเทมเป้กรอบ

สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นเทมเป้กรอบ แสดงใน Table 1 ซึ่งพัฒนามาจากงานวิจัยของ Nicole et al. (2021) [4] โดยสูตรของผลิตภัณฑ์จะมีการแปรผันสัดส่วนของเทมเป้ต่อแป้งต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 60:40, 70:30 และ 80:20 ซึ่งการเพิ่มสัดส่วนของเทมเป้ในสูตรเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น ในการทดลองนี้มีสูตรของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 6 สูตร ประกอบด้วยสูตรที่ 1-3 เป็นการใส่เทมเป้ถั่วเหลืองเพียงชนิดเดียว (ตัวอย่างควบคุม) และสูตรที่ 4-6 เป็นการใส่เทมเป้ถั่วผสม ซึ่งเทมเป้ถั่วผสมประกอบด้วยเทมเป้ถั่วเหลือง ถั่วลิสงลายสือ ถั่วแดง และถั่วเขียว โดยมีสัดส่วนร้อยละ 40, 40, 10 และ 10 ตามลำดับ โดยแบ่งที่ใช้ในสูตรประกอบด้วยแป้งข้าวโพด แป้งสาลีอเนกประสงค์ และแป้งทอดกรอบสัดส่วนร้อยละ 50, 30 และ 20 ตามลำดับ ส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ เนย เบคกิ้งโซดา น้ำตาล และนม ซึ่งใช้ในปริมาณเท่ากันทุกสูตร

การผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นเทมเป้กรอบเริ่มจากการตัดเทมเป้สดของถั่วแต่ละชนิดเป็นแผ่นบางให้มีความหนา 1-2 มิลลิเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (เทมเป้ถั่วหลังการอบมีความชื้นร้อยละ 25-35) จากนั้นนำเทมเป้หลังการอบที่บดลดขนาดแล้วมาผสมกับแป้ง น้ำตาล และนม (2 ใน 3 ส่วน) โดยใช้เครื่องบดผสมอาหารให้ส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลานาน 3 นาที และปั้นขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0-2.5 เซนติเมตร ความยาว 7-8 เซนติเมตร ก่อนนำไปนึ่งให้สุก (10 นาที) เมื่อส่วนผสมหลังการนึ่งเย็นตัวลง ทำการเติมเบคกิ้ง

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

โซดา เนยจืด และนมส่วนที่เหลือ จากนั้นนวดส่วนผสมให้เข้ากันและนำไปรีดเป็นแผ่นบางความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร และตัดเป็นรูปร่างและขนาดที่ต้องการ ขั้นตอนสุดท้ายนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 16 นาที บรรจุผลิตภัณฑ์ในถุงซิปล็อคที่มีช่องกัน

ความชื้นเพื่อคงคุณภาพก่อนการทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ ได้แก่ กายภาพ เคมี สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส

Table 1 Formulation of crispy tempeh chips with different proportions of tempeh and flour

Formulation	Tempeh	Tempeh		Flour*		Constant Ingredients
		(%)	(g)	(%)	(g)	
1	Soybean	60	40	40	26	
2		70	46	30	20	Butter 5 g
3		80	53	20	13	Baking soda 1 g
4	Mix-legume**	60	40	40	26	Sugar 7 g
5		70	46	30	20	Pasteurized milk 18 g
6		80	53	20	13	

Remark: *Flour consists of corn flour, wheat flour, and frying flour in proportions of 50, 30, and 20%, respectively.

**Mix-legume tempeh includes soybean tempeh, tiger-striped peanut tempeh, red bean tempeh, and mung bean tempeh in proportions of 40, 40, 10, and 10%, respectively.

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

3.1 ค่าสี

ทำการวัดค่าสีของตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดสี (MiniScan EZ, HunterLab, USA) ในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ บันทึกค่าความสว่าง (L^*) ความเป็นสีแดง (a^*) และความเป็นสีเหลือง (b^*) ทำการวัด 6 ซ้ำ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณความเข้มของสี (Chroma, C^*) โดยมียุทธวิธีคำนวณ ดังนี้

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

3.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสใช้เครื่อง TA-XT plus texture analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK) เพื่อประเมินค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์ โดยใช้หัววัด 5-blade Kramer shear cell โหมดการวัด Measure force in compression อัตราเร็วก่อนและระหว่างการทดสอบ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยให้นิยามค่าความแข็ง คือ ค่าของแรงในหน่วย

นิวตัน (N) หรือกรัม (g_{force}) ค่าแรกที่เกิดขึ้นจากการกดและทำให้ตัวอย่างเกิดการแตกหัก [17]

4. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีกายภาพ

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต โดยอ้างอิงวิธีการของ AOAC (2000) [18] และวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (A_w) โดยนำตัวอย่างที่บดแล้วเข้าเครื่องวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Aqualab 4TE, METER, USA) และบันทึกค่า A_w ของตัวอย่างที่อ่านได้จากเครื่อง [19]

4.2 การสกัดตัวอย่าง

นำแผ่นแทมเปอโรบไปกดให้เป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่องบดอาหาร จากนั้นบรรจุลงในถุงซิปล็อคและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส และทำการสกัดไขมันออกด้วยอะซิโตนก่อนการสกัดตัวอย่าง โดยนำตัวอย่าง 2.0 กรัม ผสมกับอะซิโตน 10 มิลลิลิตร และเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที (LT-X incubator

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

shaker, Kuhner, Switzerland) อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนความเร็วสูง (Z383K, HERMLE, Germany) ด้วยความเร็ว 4,600 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที นำส่วนตะกอนไปสกัดด้วยอะซิโตนเข้าภายใต้สภาวะเดียวกัน จากนั้นทำการระเหยอะซิโตนที่หลงเหลือโดยกระจายตะกอนตัวอย่างบนกระดาษกรองในตู้ดูดควันนาน 30 นาที (Fume Cupboard, FlexLab, Thailand) ตัวอย่างที่ได้หลังการสกัดไขมันออกแล้วจะถูกนำไปใช้ในการสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณโปรตีนและเปปไทด์

4.2.1 การสกัดตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ

นำตัวอย่าง 1.0 กรัม (ข้อที่ 4.2) ผสมกับเอทานอลร้อยละ 80 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องเขย่าโดยใช้ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เมื่อครบเวลานำไปปั่นเหวี่ยงที่ 4,600 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที นำตะกอนมาสกัดซ้ำด้วยสภาวะเดิม จากนั้นปรับปริมาณสุดท้ายเป็น 25 มิลลิลิตร และเก็บรักษาที่ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

(1) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ดำเนินตามวิธีการของ Saikaew et al. (2023) [20] โดยผสมสารสกัดตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร (ข้อที่ 4.2.1) ในน้ำกลั่น และ Folin-Ciocalteu reagent 500 และ 50 ไมโครลิตร ตามลำดับ เขย่าให้เข้ากันและพักไว้ 3 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน ปลอ่ยให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที หลังจากนั้นจึงนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-1900i, Shimadzu, Japan) ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จะนำไปเทียบกับกราฟ

มาตรฐานกรดแกลลิก และรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างหนึ่งกรัม (mg GAE/g DW)

(2) การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ ดัดแปลงวิธีการจาก Saikaew et al. (2023) [20] โดยผสมสารสกัดตัวอย่าง 300 ไมโครลิตร (ข้อที่ 4.2.1) น้ำกลั่น 700 ไมโครลิตร และสารละลายโซเดียมไนไตรท์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 50 ไมโครลิตร หลังการเขย่าผสม ปลอ่ยให้เกิดปฏิกิริยานาน 5 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เขย่าผสมให้เข้ากันอีกครั้งและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 50 ไมโครลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน และตั้งพักในที่มืด เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบเวลานำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จะถูกนำไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของเคอร์ควิติน (Quercetin) รายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมเทียบเท่าเคอร์ควิตินต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างหนึ่งกรัม (mg QE/g DW)

(3) การวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS

การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ดัดแปลงจากวิธีการของ Saikaew et al. (2023) [20] โดยปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 30 ไมโครลิตร (ข้อที่ 4.2.1) จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ 1.2 มิลลิลิตร แล้วเขย่าผสมให้เข้ากัน ตั้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืด 30 นาที จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จะนำไปคำนวณความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานโทรลอคซ์ (Trolox) และรายงานผลในหน่วยไมโครโมลเทียบเท่าโทรลอคซ์ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างหนึ่งกรัม ($\mu\text{mol TE/g DW}$)

การวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ดัดแปลงจากวิธีการของ Re et al. (1999) [21]

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

โดย ABTS radical cation ($ABTS^{+•}$) เตรียมได้จากการผสม ABTS (14 mM) 5 มิลลิลิตร กับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (4.9 mM) 5 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิเย็น 12-16 ชั่วโมง จากนั้นทำการเจือจาง $ABTS^{+•}$ ด้วย 1xPBS ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.70 ± 0.02 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ($ABTS^{+•}$ working solution) ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้ ในการวิเคราะห์สารสกัดตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร จะทำปฏิกิริยากับ $ABTS^{+•}$ working solution 1.0 มิลลิลิตร หลังตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 6 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร รายงานผลในหน่วยไมโครโมลเทียบเท่าไทโรลออกซ์ต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างหนึ่งกรัม ($\mu\text{mol TE/g DW}$)

4.2.2 การสกัดตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและเปปไทด์

นำตัวอย่าง 1.0 กรัม มาสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 10 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยใช้ความเร็ว 150 รอบต่อวินาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,600 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เก็บส่วนสารละลายและปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 10 มิลลิลิตร และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป [22]

(1) การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนดำเนินการตามวิธีของ Bradford (1976) [23] โดยปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 25 ไมโครลิตร (ข้อที่ 4.2.2) เติม Bradford reagent 1.2 มิลลิลิตร เขย่าผสม และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 15 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จะนำไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของซีรัมอัลบูมิน (Bovine serum albumin, BSA) รายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของซีรัมอัลบูมินต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างหนึ่งกรัม (mg BSA/g DW)

(2) การวิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์

การวิเคราะห์ปริมาณเปปไทด์ดำเนินการตามวิธีของ Wang et al. (2021) [24] โดยผสมสารสกัดตัวอย่าง 200 ไมโครลิตร (ข้อที่ 4.2.2) กับสารละลายผสม (Alkaline copper reagent) 1.0 มิลลิลิตร พักไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 10 นาที เมื่อครบเวลาเติม Folin-Ciocalteu reagent 100 ไมโครลิตร เขย่าผสมอีกครั้ง และตั้งพักไว้ 20 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของซีรัมอัลบูมิน เพื่อคำนวณปริมาณเปปไทด์ในตัวอย่าง และรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของซีรัมอัลบูมินต่อน้ำหนักแห้งของตัวอย่างหนึ่งกรัม (mg BSA/g DW)

5. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นแทมเป้กรอบ (การทดสอบความชอบ) โดยใช้ 9-point hedonic scale ประเมินคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม กลุ่มผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 30 คน แบ่งเป็นอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และบุคลากรคณะวิทยาศาสตร์ 15 คน และนักศึกษา 15 คน นำเสนอตัวอย่างในการทดสอบสุตตระละ 2 ชั้น ซึ่งบรรจุในของพลาสติก จัดลำดับการลิ้มรสแบบสุ่มและใช้เลขรหัส 3 ตัวเพื่อลดอคติในการประเมิน และให้ผู้ทดสอบดื่มน้ำเปล่าก่อนเปลี่ยนตัวอย่างในการทดสอบ

6. การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

ดำเนินการศึกษาโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมีกายภาพ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ส่วนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เพื่อตรวจสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการวิเคราะห์นี้ดำเนินการด้วยโปรแกรม SPSS Version 29 (SPSS Inc., USA)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ลักษณะคุณภาพด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นแทมเป้กรอบเป็นการศึกษาสูตรผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนแทมเป้และแป้งต่างกัน ซึ่งสูตรที่ 1-3 ใช้แทมเป้ถั่วเหลือง ส่วนสูตรที่ 4-6 ใช้แทมเป้ถั่วผสมในการผลิต โดยสูตรที่ 1 และ 4 ใช้สัดส่วนแทมเป้ต่อแป้งเท่ากับ 60 ต่อ 40 ส่วนสูตรที่ 2 และ 5 ใช้สัดส่วนแทมเป้ต่อแป้งเท่ากับ 70 ต่อ 30 และสูตรที่ 3 และ 6 ใช้สัดส่วนแทมเป้ต่อแป้งเท่ากับ 80 ต่อ 20 อย่างไรก็ตาม สูตรที่ 6 ยากต่อการรีดขึ้นรูปเป็นแผ่นบางและอบให้กรอบ จึงไม่แสดงข้อมูลลักษณะคุณภาพด้านต่างๆ ของสูตรดังกล่าว ทั้งนี้ อุปสรรคในการรีดขึ้นรูปของสูตรที่ 6 อาจเป็นผลจากการที่สูตรดังกล่าวมีปริมาณไขมันสูง เนื่องจากมีแทมเป้ถั่วลิสงลายเสื่อผสมอยู่ปริมาณสูงกว่าสูตรอื่น (ถั่วลิสงมีปริมาณไขมัน 38.7-49.2 g/100 g) [12-13] และสูตรนี้มีการใช้สัดส่วนแทมเป้ต่อแป้งสูง (80:20) ซึ่งไขมันสามารถขัดขวางการจับตัวกันระหว่างโปรตีนและแป้ง (protein-carbohydrate interactions) [25] และการจับตัวกันระหว่างโปรตีนและโปรตีน (protein-protein interactions) [26] ทำให้โครงสร้างเจลไม่มีความแข็งแรง จึงรีดขึ้นรูปเป็นแผ่นบางได้ยาก

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพพบว่า ผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง-น้ำตาลอ่อน โดยมีค่า L^* เท่ากับ 45.20-57.39 และค่า b^* เท่ากับ 27.55-32.80 ซึ่งผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 มีค่า L^* และ b^* สูงที่สุด แสดงใน Figure 1 ค่า b^* และความเข้มของสี (C^*) ของสูตรที่มีการใช้แทมเป้ถั่วเหลืองในการผลิต (สูตรที่ 1-3) มีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนของแทมเป้ที่ใช้ในสูตรสูงขึ้น (Table 2) ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard) ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสัดส่วนของแทมเป้ที่ใช้ในสูตรสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในสูตรสูงขึ้นด้วย (ถั่วเหลืองเมล็ดแห้งมีปริมาณโปรตีน 30.1-35.7 g/100 g) [11]

โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นเมื่อโปรตีนและน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากันระหว่างกระบวนการอบ อย่างไรก็ตาม ค่า b^* และ C^* ของผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1-3 แม้จะมีแนวโน้มลดลง แต่ก็มีค่าสูงกว่าสูตรที่ 4 และ 5 ซึ่งใช้แทมเป้ถั่วผสมในการผลิต จึงอาจกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1-3 มีลักษณะเป็นสีเหลืองมากกว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 และ 5 ซึ่งมีลักษณะเป็นสีเหลือง-น้ำตาลอ่อน นอกจากนี้ พบว่าค่า L^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์สูตรที่ใช้แทมเป้ถั่วผสมในการผลิตสูงขึ้น เมื่อสัดส่วนของปริมาณแทมเป้ในสูตรเพิ่มขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 มีค่า L^* และ b^* ต่ำที่สุด ทั้งนี้ การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 และ 5 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้แทมเป้ถั่วผสมในการผลิต อาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดเช่นเดียวกับกับสูตรที่ 1-3 แต่เนื่องจากมีการใช้แทมเป้ถั่วผสมในการผลิต ซึ่งถั่วชนิดต่างๆ มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าถั่วเหลือง โดยเมล็ดแห้งของถั่วลิสง ถั่วแดง และถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 24.2-25.8, 15.7-17.3 และ 21.8-23.5 g/100 g ตามลำดับ [11] จึงเป็นไปได้ว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 4 และ 5 เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้อยกว่าสูตรที่ 1-3 อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของค่า L^* และ b^* ในผลิตภัณฑ์สูตรที่ใช้แทมเป้ถั่วผสมในการผลิต เมื่อสัดส่วนของปริมาณแทมเป้ในสูตรเพิ่มขึ้น อาจเกิดเนื่องจากกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากในถั่วลิสง เช่น กรดปาล์มมิติก (palmitic acid, C16:0) และกรดสเตียริก (stearic acid, C18:0) ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด [27] ส่งผลให้สูตรที่ 5 ซึ่งมีสัดส่วนแทมเป้ในสูตรสูงกว่าสูตรที่ 4 มีค่า L^* และ b^* เพิ่มขึ้น

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แทมเป้ถั่วผสมในการผลิตมีความแข็ง (hardness) ต่ำกว่าสูตรที่มีการใช้ถั่วเหลืองในการผลิตและลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนแทมเป้ที่ใช้ในสูตร (Table 2, $p \leq 0.05$) การลดลงของค่าความแข็งเมื่อปริมาณแทมเป้ในสูตรเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nicole et al. (2021) [4] ซึ่งได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์จากแทมเป้ ทั้งนี้ ลักษณะเนื้อสัมผัสหรือความแข็งของสูตรที่ใช้แทมเป้ถั่วผสมในการผลิต (สูตรที่ 4 และ 5) ที่มีค่าต่ำกว่าสูตรที่ใช้แทมเป้ถั่วเหลืองในการผลิต (สูตรที่ 1-3) อาจเป็นผลจากปริมาณแทมเป้ถั่วลิสง

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

ลายเส้นร้อยละ 40 ที่ใช้ในสูตร เนื่องจากเทมเป้ถั่วลิสงลายเส้นมีปริมาณไขมันสูง (ถั่วลิสงมีไขมัน 38.7-49.2 g/100 g) [12-13] ซึ่งไขมันเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถขัดขวางการจับตัวกันระหว่างโปรตีนและแป้ง (protein-carbohydrate interactions) [25] และการจับตัวกันระหว่างโปรตีนและโปรตีน (protein-protein interactions) [26] จึงส่งผลให้ลักษณะโครงสร้างเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงลดลงหรือมีความเปราะแตกหักได้ง่าย ในทางกลับกันจากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแสดงให้เห็นว่าสูตรที่ 3 มีค่าความแข็งแรงสูงสุด

ซึ่งแปรผันตรงกับปริมาณเทมเป้ในสูตร ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณโปรตีนในเทมเป้ถั่วเหลืองที่สูงขึ้นเพิ่มการจับตัวกันระหว่างโปรตีนและแป้ง (protein-carbohydrate interactions) ส่งผลให้โครงสร้างเจลมีความแข็งแรงและคงตัวมากขึ้น [27, 28] ส่วนสูตรที่ 2 และ 1 มีค่าความแข็งแรงลดลงตามลำดับ จึงอาจกล่าวได้ว่า ชนิดถั่วที่นำมาผลิตเทมเป้และปริมาณที่ใช้ในสูตรส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านสีและเนื้อสัมผัส การเลือกใช้ควรขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการพัฒนาหรือความต้องการและการยอมรับของผู้บริโภค

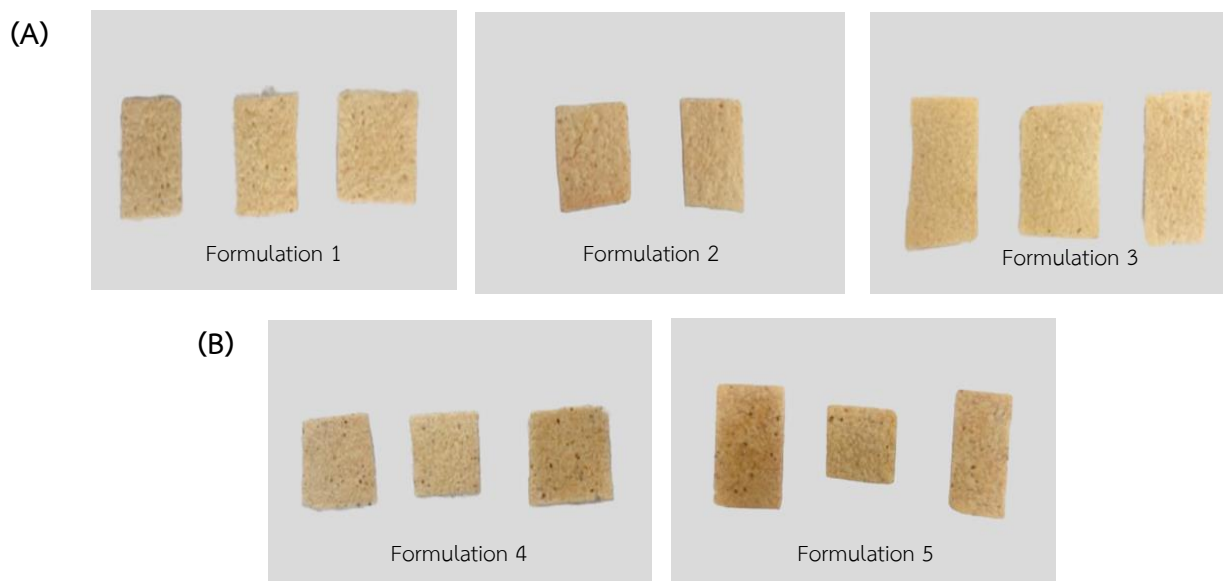


Figure 1 Crispy tempeh chips: soybean tempeh (A) and mix-legume tempeh (B).

Remark: Formulations 1 and 4 present the tempeh-to-flour ratio of 60:40, formulations 2 and 5 present the tempeh-to-flour ratio of 70:30, and formulations 3 presents the tempeh-to-flour ratio of 80:20.

Table 2 Color and texture characteristic of crispy tempeh chips.

Tempeh-to-Flour ratio	Lightness (L^*)	Yellowness (b^*)	Chroma (C^*)	Hardness (g_{force})
Soybean tempeh				
60:40	57.39±2.21 ^a	32.80±2.43 ^a	33.96±2.63 ^a	175.67±30.01 ^a
70:30	51.22±1.17 ^b	31.60±1.37 ^a	33.33±1.59 ^a	217.00±22.91 ^a
80:20	54.63±1.50 ^a	28.93±2.55 ^b	29.60±2.75 ^b	220.33±34.68 ^a
Mix-legume tempeh				
60:40	45.20±3.28 ^c	27.55±1.18 ^b	28.84±1.12 ^b	107.67±17.39 ^b
70:30	51.44±3.20 ^b	27.76±1.11 ^b	28.83±1.00 ^b	51.67±15.01 ^c

Data are presented in means ± standard deviation (n=6).

Different superscript letters in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

Formulation 6 data is absent due to obstacles in the forming and baking process.

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

2. ลักษณะคุณภาพด้านเคมีกายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์แผ่นหมักแปรรูป (Table 3) พบว่า ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มสัดส่วนหมักที่ใช้ทั้งในสูตรที่มีการใช้เฉพาะหมักเป็ดหัวเหลือง (สูตรที่ 1-3) และสูตรที่ใช้หมักเป็ดหัวผสม (สูตรที่ 4-5) โดยสูตรที่มีการใช้เฉพาะหมักเป็ดหัวเหลืองมีค่าร้อยละ 2.00-5.04 ส่วนสูตรที่ใช้หมักเป็ดหัวผสมมีค่าร้อยละ 0.82-1.77 ซึ่งค่า Aw ของผลิตภัณฑ์ 5 สูตรมีค่าระหว่าง 0.16 ถึง 0.28 จะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นและค่า Aw ของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การเพิ่มของสัดส่วนหมักเป็ดในสูตรยังส่งผลให้ปริมาณโปรตีนและไขมันในสูตรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ยกเว้นปริมาณโปรตีนในสูตรที่ใช้หมักเป็ดหัวผสม) โดยสูตรที่ 3 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดร้อยละ 2.58 ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากหมักเป็ดหัวเหลืองที่มีโปรตีนสูง และสูตรที่ 5 มีปริมาณไขมันสูงที่สุดร้อยละ 22.28 ($p \leq 0.05$) เนื่องจากหมักเป็ดหัวผสมมีปริมาณไขมันสูง ซึ่งในสูตรที่ 3 และ 5 มีการใช้สัดส่วนหมักเป็ดร้อยละ 80 และ 70 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณหมักเป็ดในสูตรส่งผลให้ปริมาณเถ้าหรือแร่ธาตุและปริมาณคาร์โบไฮเดรตของผลิตภัณฑ์ลดลง ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณเถ้าหรือแร่ธาตุของสูตรที่ 1-3 มีค่าสูงกว่าสูตรที่ 4-5 ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากแร่ธาตุ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของชนิดถั่วที่นำมาผลิตหมักแตกต่างกัน ซึ่งถั่วเหลืองมีแร่ธาตุหลากหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น โพแทสเซียม (potassium, K) ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) ซัลเฟอร์ (sulfur, S) แมงกานีส (manganese, Mn) และสังกะสี (zinc, Zn) [29] ส่วนการลดลงของคาร์โบไฮเดรตเป็นผลเนื่องจากปริมาณแป้งในสูตรที่ลดลง

การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์พบว่า การเพิ่มสัดส่วนหมักเป็ดในสูตรส่งผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้น ยกเว้นปริมาณฟลาโวนอยด์ของสูตรที่ใช้หมักเป็ดหัวผสมในการผลิต (สูตรที่ 4-5) ดังแสดงใน Figure 2A-B โดยสูตรที่ 3 มีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงที่สุดเท่ากับ 4.29 mg GAE/g DW และ 10.37 mg QE/g DW ตามลำดับ และสูตรที่ 1-3 มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงกว่าสูตรที่ 4-5 ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนและเปปไทด์ในผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนหมักเป็ดในสูตร (Figure 2C-D) โดยสูตรที่ 1-3 มีปริมาณเปปไทด์สูงกว่าสูตรที่ 4-5 ซึ่งสูตรที่ 2 มีปริมาณเปปไทด์สูงที่สุดเท่ากับ 156.64 mg BSA/g DW ($p \leq 0.05$) แต่สูตรที่ 4-5 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสูตรที่ 1-3 ซึ่งสูตรที่ 5 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 29.35 mg BSA/g DW ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าโปรตีนในหมักเป็ดหัวเหลืองถูกเอนไซม์โปรตีเอส (proteases) ที่ผลิตโดยเชื้อรา *R. oligosporus* [15] ย่อยลดขนาดเกิดเป็นเปปไทด์มากกว่าหมักเป็ดจากถั่วชนิดอื่นๆ เมื่อนำหมักเป็ดหัวเหลืองมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จึงมีปริมาณเปปไทด์สูงและมีปริมาณเพิ่มขึ้นแปรผันตามสัดส่วนที่เติมลงในสูตร รวมทั้งหมักเป็ดหัวเหลืองอาจมีกิจกรรมของเอนไซม์ α/β -amylase, β -glucuronidase และ β -glucosidase ที่เชื้อ *R. oligosporus* ผลิตขึ้นระหว่างการหมักมากกว่าหมักเป็ดหัวชนิดอื่นๆ ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวสามารถทำลาย (degrade) ผนังเซลล์พืชที่มีโครงสร้างแบบ carbohydrate-conjugated phenolic ทำให้สารกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เพิ่มขึ้น [30] ผลิตภัณฑ์แผ่นหมักแปรรูปที่ใช้เฉพาะหมักเป็ดหัวเหลือง (สูตรที่ 1-3) จึงมีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงกว่าสูตรที่ใช้หมักเป็ดหัวผสมในการผลิต (สูตรที่ 4-5)

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹Department of Biology, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Lat Krabang, Bangkok 10520

²Food Innovation and Packaging Center, Chiang Mai University, Mae-Hia, Mueang, Chiang Mai 50100

Table 3 Chemical composition and water activity of crispy tempeh chips.

Tempeh-to-Flour	Chemical composition (%)					Water
ratio	Moisture	Protein	Fat	Ash	Carbohydrate	activity
Soybean tempeh						
60:40	2.00 ± 0.02 ^c	2.00 ± 0.01 ^c	16.97 ± 0.04 ^e	2.66 ± 0.02 ^b	76.37 ± 0.01 ^a	0.24 ± 0.00 ^c
70:30	2.83 ± 0.01 ^b	2.35 ± 0.01 ^b	18.95 ± 0.27 ^d	2.74 ± 0.01 ^a	73.13 ± 0.27 ^c	0.28 ± 0.00 ^a
80:20	5.04 ± 0.03 ^a	2.58 ± 0.05 ^a	20.80 ± 0.30 ^b	2.46 ± 0.02 ^c	69.12 ± 0.34 ^e	0.25 ± 0.00 ^b
Mix-legume tempeh						
60:40	0.82 ± 0.02 ^e	1.68 ± 0.05 ^d	20.33 ± 0.02 ^c	2.26 ± 0.02 ^d	74.91 ± 0.02 ^b	0.18 ± 0.00 ^d
70:30	1.77 ± 0.03 ^d	1.66 ± 0.00 ^d	22.28 ± 0.38 ^a	2.21 ± 0.03 ^e	72.09 ± 0.44 ^d	0.16 ± 0.00 ^e

The data are presented in means ± standard deviation (n=3).

Different superscript letters in the same column indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

Moisture content is expressed on a %wet basis.

Formulation 6 data is absent due to obstacles in the forming and baking process.

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์แสดงใน Figure 2E-F พบว่า กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ โดยสูตรที่ 2 ซึ่งใช้เทมเป้แห้งเหลืองในการผลิตมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดจากการวิเคราะห์โดยวิธี DPPH และ ABTS ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.43 และ 30.42 $\mu\text{mol TE/g DW}$ ตามลำดับ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์สูตรที่ 2 มีค่ามากกว่าสูตรที่ 3 เนื่องจากสูตรที่ 2 มีปริมาณเปปไทด์สูงกว่าสูตรที่ 3 ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพต่อการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามสูตรที่ 3 ซึ่งมีสัดส่วนเทมเป้ต่อแป้งที่ใช้ในสูตรเท่ากับ 80:20 ซึ่งมีปริมาณเทมเป้สูงกว่าสูตรที่ 2 แต่พบว่ามีปริมาณเปปไทด์ต่ำกว่า (Figure 2D) อาจเนื่องสูตรที่ 3 มีเปปไทด์โมเลกุลขนาดเล็กจำนวนมากและถูกใช้ไปในปฏิกิริยาเมลลาร์ด [31] ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าสีในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากค่าสีบ่งชี้ได้ว่าสูตรที่ 3 เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมากที่สุด นอกจากนี้ พบว่าผลิตภัณฑ์

ที่ใช้เฉพาะเทมเป้แห้งเหลืองในการผลิต (สูตรที่ 2) และผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทมเป้แห้งผสม (สูตรที่ 5) ในอัตราส่วนเทมเป้ต่อแป้ง 70:30 มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อาจเนื่องจากมีสารในกลุ่มฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ หรือสารอื่นๆ ในวัตถุดิบแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น สารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ในถั่วแดง [32] สารไวเทกซิน (vitexin) และไอโซไวเทกซิน (isovitexin) ในถั่วเขียว [33] และสารสตีลเบน (stilbenes) และไฟโตสเตอรอล (phytosterols) ในถั่วลิสงลายเสือ [34] ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ในสูตรที่ 5 มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูง แม้มีปริมาณเปปไทด์ต่ำกว่าสูตรที่ 2 อาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มปริมาณเทมเป้ในสูตร จะช่วยเพิ่มฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ โปรตีน และเปปไทด์ ซึ่งจะส่งผลเพิ่มกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์แผ่นเทมเป้กรอบ โดยเฉพาะในสูตรที่มีการใช้เทมเป้แห้งเหลือง

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

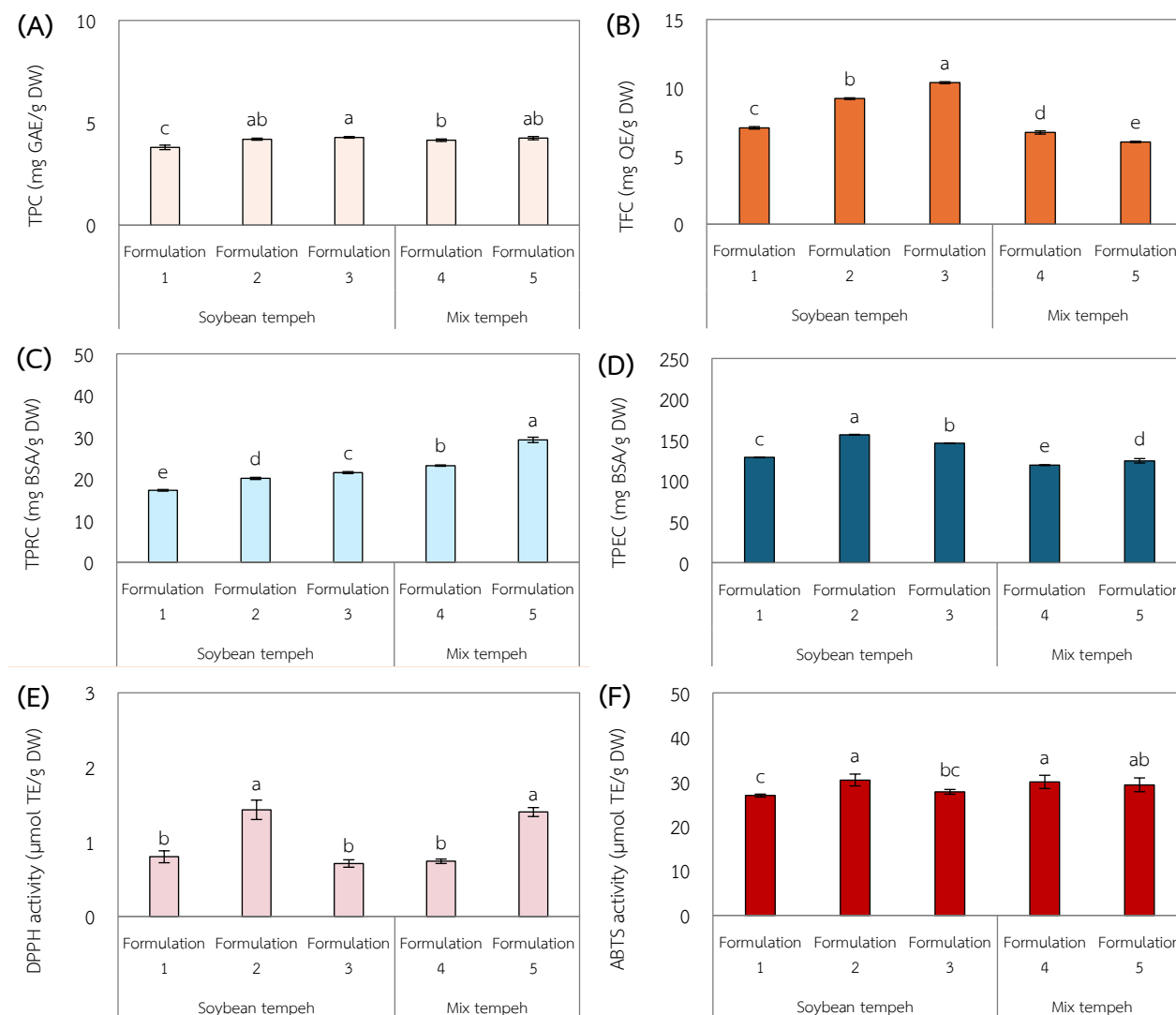


Figure 2 Total phenolic content (TPC), A; total flavonoid content (TFC), (B); total protein content (TPRC), C; total peptide content (TPEC), D; DPPH activity, E; ABTS activity, F of crispy tempeh chips with different formulation related to tempeh-to-flour ratio.

Remark: Formulations 1 and 4 present the tempeh-to-flour ratio of 60:40, formulations 2 and 5 present the tempeh-to-flour ratio of 70:30, and formulation 3 presents the tempeh-to-flour ratio of 80:20. Data are presented as means $\pm$ standard deviation ($n=3$). Different letters indicate significant differences among formulations ($p<0.05$). Formulation 6 data is absent due to obstacles in the forming and baking process.

3. ด้านประสาทสัมผัส

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นเทมเป้กรอบ (Table 4) พบว่า ผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 ซึ่งใช้เทมเป้ล้วนในการผลิตโดยมีส่วนผสมเทมเป้ต่อแป้งเท่ากับ 60:40 ได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงที่สุดในทุกคุณลักษณะ โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวม

เฉลี่ย 7.4 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง คะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสเท่ากับ 7.6, 7.7, 7.0, 7.1 และ 7.3 ตามลำดับ สำหรับสูตรที่ 4 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทมเป้จากถั่วผสมในสัดส่วนเทมเป้ต่อแป้งเดียวกัน (60:40) ได้คะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ย 6.7 คะแนน แม้ว่าคะแนนที่

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

ได้รับต่ำกว่าสูตรที่ 1 แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์จากเทมเป้ถั่วผสมได้ในระดับที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากเทมเป้ถั่วเหลือง ผลการศึกษานี้บ่งชี้ว่าสัดส่วนเทมเป้ต่อแป้งเท่ากับ 60:40 เป็นสูตรที่ตัวแทนผู้บริโภคมีความพึงพอใจมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตร อย่างไรก็ตาม ทั้งผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เฉพาะเทมเป้ถั่วเหลืองหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทมเป้ถั่วผสมในการผลิต เมื่อปริมาณของเทมเป้ในสูตรเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบลดลงในทุกคุณลักษณะ ทั้งนี้ การลดลงของคะแนนความชอบด้านสีอาจเป็นผลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และการลดลงของคะแนนความชอบด้านรสชาติอาจเป็นผลเนื่องจากกลุ่มเปปไทด์ที่ไม่ชอบน้ำที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักเทมเป้ ส่งผลต่อรสชาติในผลิตภัณฑ์โดยเปปไทด์ที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งมีกรดอะมิโนชนิดที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic amino acids) ได้แก่ อะลานีน (alanine) วาลีน (valine) เมไทโอนีน (methionine) ลิวซีน (leucine) ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) และโพรลีน (proline) เป็นองค์ประกอบ มีคุณสมบัติทำให้เกิดรสชาติขม [35] ส่วนการลดลงของคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เฉพาะเทมเป้ถั่วเหลืองอาจเป็นผลจากปริมาณโปรตีนหรือเปปไทด์ที่มีปริมาณมากเกิดการจับตัวกันกับแป้งในสูตรสูง ทำให้เกิดโครงสร้างที่

มีความแข็งแรง เนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์จึงมีความแข็งในระดับที่ทำให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ยอมรับมากนัก ในทางตรงข้ามการลดลงของคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เทมเป้ถั่วผสมอาจเป็นผลจากการปริมาณเทมเป้ถั่วลิสลายเสียในสูตร ซึ่งถั่วลิสลายเสียมีปริมาณไขมันสูง โดยไขมันสามารถขัดขวางการจับตัวกันระหว่างโปรตีนหรือเปปไทด์กับแป้ง ทำให้เกิดโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จึงมีความแข็งในระดับต่ำหรือมีความแปรแตกหักได้ง่ายทำให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ยอมรับมากนัก แม้ว่าสูตรที่ 1 และ 4 จะได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด แต่มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าสูตรอื่นๆ ดังนั้น หากต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีปริมาณสารสำคัญและการยอมรับจากผู้บริโภคมากขึ้น อาจทำการพัฒนาต่อจากสูตรที่ 2 หรือ 5 ซึ่งมีสัดส่วนเทมเป้ต่อแป้งเท่ากับ 70:30 เนื่องจากสูตรดังกล่าวมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพใกล้เคียงกับสูตรที่ 1 หรือ 4 และหาแนวทางการปรับปรุงคุณลักษณะด้านต่างๆ โดยเฉพาะด้านสี และรสชาติเนื่องจากเป็นคุณลักษณะที่ได้รับคะแนนต่ำที่สุด ซึ่งอาจปรับปรุงรสชาติได้โดยการใช้ เอนไซม์ Transglutaminase (TGase) เพื่อลดปริมาณเปปไทด์ที่ไม่ชอบน้ำ โดยการเชื่อมข้ามระหว่างโปรตีน [35]

Table 4 Sensory evaluation scores of crispy tempeh chip products.

Tempeh-to-Flour ratio	Attributes					
	Appearance	Color	Flavor	Taste	Texture	Overall
Soybean tempeh						
60:40	7.6 ± 1.2 ^a	7.7 ± 1.1 ^a	7.0 ± 1.3 ^a	7.1 ± 1.6 ^a	7.3 ± 1.5 ^a	7.4 ± 1.4 ^a
70:30	6.5 ± 1.4 ^b	6.6 ± 1.4 ^b	5.9 ± 1.7 ^{bc}	5.3 ± 1.6 ^{bc}	6.2 ± 1.5 ^b	5.6 ± 1.7 ^b
80:20	6.6 ± 1.5 ^b	6.5 ± 1.6 ^b	5.7 ± 1.6 ^c	4.7 ± 1.7 ^c	5.3 ± 1.9 ^c	5.0 ± 1.6 ^b
Mix-legume tempeh						
60:40	6.6 ± 1.5 ^b	6.2 ± 1.7 ^{bc}	6.6 ± 1.7 ^{ab}	6.8 ± 1.7 ^a	6.8 ± 1.7 ^{ab}	6.7 ± 1.7 ^a
70:30	5.9 ± 1.7 ^b	5.7 ± 1.8 ^c	6.2 ± 1.7 ^{bc}	5.7 ± 1.8 ^b	5.9 ± 1.8 ^{bc}	5.9 ± 1.7 ^b

The data are presented in means ± standard deviation (n=30).

Different superscript letters in the same column indicate significant differences ($p\leq0.05$).

Formulation 6 data is absent due to obstacles in the forming and baking process.

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

สรุปผล

ชนิดและปริมาณเทมเป้ในสูตรการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นเทมเป้กรอบ ส่งผลต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านสี เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับของผู้บริโภค อาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มสัดส่วนเทมเป้ในสูตรส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทั้งสูตรที่ใช้เฉพาะเทมเป้ล้วนเหลือง และสูตรที่ใช้เทมเป้ล้วนผสมมีสีเข้มขึ้น (เหลือง-น้ำตาลอ่อน) เนื้อสัมผัสเปราะแตกได้ง่ายมากขึ้น ปริมาณไขมันสูงขึ้น รวมทั้งมีปริมาณฟีนอลิก โปรตีน เปปไทด์ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติเด่นที่สำคัญของผลิตภัณฑ์เนื่องจากจะช่วยเพิ่มคุณประโยชน์ที่ดีต่อร่างกายได้นอกจากนี้ การใช้เทมเป้ล้วนเหลืองเพียงชนิดเดียว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (สูตรที่ 3 เทมเป้ล้วนเหลืองต่อแป้งสาลี 80:20) และมีปริมาณเปปไทด์สูงที่สุด (สูตรที่ 2 เทมเป้ล้วนเหลืองต่อแป้งสาลี $p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มสัดส่วนเทมเป้ในสูตรกลับได้รับคะแนนความชอบหรือการยอมรับจากผู้บริโภคไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ ซึ่งจะเป็นช่องว่างในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป ทั้งนี้ ผลจากการทดสอบความชอบ พบว่าสูตรที่ 1 (ใช้เฉพาะเทมเป้ล้วนเหลือง) และสูตรที่ 4 (ใช้เทมเป้ล้วนผสม) ซึ่งมีสัดส่วนเทมเป้ต่อแป้งเท่ากับ 60:40 มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่า เทมเป้จากถั่วชนิดต่างๆ มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ เนื่องจากได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคและมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับการใช้เทมเป้ล้วนเหลืองเพียงชนิดเดียว ซึ่งผลิตภัณฑ์จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเทมเป้สดและถั่วชนิดต่างๆ ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ทุนวิจัยส่งเสริมส่วนงานวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ สัญญาเลขที่ 2567-02-05-003)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Zhang, H., Feng, X., Liu, S., Ren, F. and Wang, J. (2023). Effects of high hydrostatic pressure on nutritional composition and cooking quality of whole grains and legumes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 83: 103239. doi:10.1016/j.ifset.2022.103239.
- [2] Zhang, X., Zhang, Z., Shen, A., Zhang, T., Jiang, L., El-Seedi, H., Zhang, G. and Sui, X. (2024). Legumes as an alternative protein source in plant-based foods: Applications, challenges, and strategies. *Current Research in Foods Science*. 9: 100876. doi:10.1016/j.crfs.2024.100876.
- [3] Erkan, S.B., Gürler, H.N., Bilgin, D.G., Germec, M. and Turhan, I. (2020). Production and characterization of tempehs from different sources of legume by *Rhizopus oligosporus*. *LWT - Food Science and Technology*. 119: 108880. doi:10.1016/j.lwt.2019.108880.
- [4] Nicole, T.Z.H., Nichelle, T.S., Elizabeth, T.E. and Yuliarti, O. (2021). Formulation of functional crackers enriched with fermented soybean (tempeh) paste: rheological and microstructural properties. *Future Foods*. 4: 100050. doi:10.1016/j.fufo.2021.100050.
- [5] Qiao, Y., Zhang, K., Zhang, Z., Zhang, C., Sun, Y. and Feng, Z. (2022). Fermented soybean foods: A review of their functional components, mechanism of action and factors influencing their health benefits. *Food Research International*. 158: 111575. doi:10.1016/j.foodres.2022.111575.
- [6] Huang, L., Huang, Z., Zhang, Y., Zhou, S., Hu, W. and Dong, M. (2019). Impact of

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹Department of Biology, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Lat Krabang, Bangkok 10520

²Food Innovation and Packaging Center, Chiang Mai University, Mae-Hia, Mueang, Chiang Mai 50100

- tempeh flour on the rheology of wheat flour dough and bread staling. *LWT - Food Science and Technology*. 111: 694–702.
- [7] Teoh, S.Q., Chin, N.L., Chong, C.W., Ripen, A.M., How, S. and Lim, J.J.L. (2024). A review on health benefits and processing of tempeh with outlines on its functional microbes. *Future Foods*. 9: 100330. doi:10.1016/j.fufo.2024.100330.
- [8] Yin, L., Zhang, Y., Wu, H., Wang, Z., Dai, Y., Zhou, J., Liu, X., Dong, M. and Xia, X. (2020). Improvement of the phenolic content, antioxidant activity, and nutritional quality of tofu fermented with *Actinomucor elegans*. *LWT-Food Science and Technology*. 133: 110087. doi:10.1016/j.lwt.2020.110087.
- [9] Yanti, Violina, V., Putri, C.E. and Lay, B.W. (2023). Branched chain amino acid content and antioxidant activity of mung bean tempeh powder for developing oral nutrition supplements. *Foods*. 12(14): 2789. doi:10.3390/foods12142789.
- [10] Trade Policy and Strategy Office. (2024). The growing market for healthy snacks presents a significant opportunity for entrepreneurs in Thailand. Ministry of Commerce, 2024. [Online] Available from <https://tpso.go.th/news/2404-0000000006>. [Accessed January 9, 2025]. (in Thai).
- [11] Kan, L., Nie, S., Hu, J., Wang, S., Bai, Z., Wang, J., Zhou, Y., Jiang, J., Zeng, Q. and Song, K. (2018). Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes. *Food Chemistry*. 260: 317–326.
- [12] Bureau of Nutrition. (2018). Food composition table of Thai foods. Department of Health, Ministry of Public Health, 2018. [Online] Available from <https://nutrition2.anamai.moph.go.th/th/thai-food-composition-table>. [Accessed March 25, 2025]. (in Thai).
- [13] Taheri, S.E.H., Bazargan, M., Vosough, P.R. and Sadeghian, A. (2024). A comprehensive insight into peanut: Chemical structure of compositions, oxidation process, and storage conditions. *Journal of Food Composition and Analysis*. 125: 105770. doi:10.1016/j.jfca.2023.105770.
- [14] Adebo, J.A., Njobeh, P.B., Gbashi, S., Oyedele, A.B., Ogundele, O.M., Oyeyinka, S.A. and Adebo, O.A. (2022). Fermentation of cereals and legumes: Impact on nutritional constituents and nutrient bioavailability. *Fermentation*. 8(2): 63. doi:10.3390/fermentation8020063.
- [15] Martín-Miguélez, J.M., Bross, J., Prado, D., Merino, E., Moré, R.P., Otero, J., Aduriz, A.L. and Delgado, J. (2025). Review: *Rhizopus* sp. beyond tempeh. An Occidental approach to mold-based fermentations. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 39: 101090. doi:10.1016/j.ijgfs.2024.101090.
- [16] Liu, W-T., Huang, C-L., Liu, R., Yang, T-C., Lee, C-L., Tsao, R. and Yang, W-J. (2023). Changes in isoflavone profile,

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

- antioxidant activity, and phenolic contents in Taiwanese and Canadian soybeans during tempeh processing. *LWT - Food Science and Technology*. 186: 115207. doi:10.1016/j.lwt.2023.115207.
- [17] Oliveira, L.C., Schmiele, M. and Steel, C.J. (2017). Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. *LWT - Food Science and Technology*. 75: 261-270.
- [18] AOAC. (2000). Official methods of analysis (16thed.). The Association of Official Analytical Chemists, Maryland.
- [19] Bolger, A.M., Rastall, R.A., Oruna-Concha, M.J. and Rodriguez-Garcia, J. (2021). Effect of D-allulose, in comparison to sucrose and D-fructose, on the physical properties of cupcakes. *LWT - Food Science and Technology*. 150: 4-11.
- [20] Saikaew, K., Siripornadulsil, W. and Siripornadulsil, S. (2023). Improvements in the color, phytochemical, and antioxidant properties of frozen ripe mango pieces using calcium chloride dipping and chitosan coating. *Journal of Food Science*. 88: 3239–3254.
- [21] Re, R., Pellegrinin, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 26: 1231–1237.
- [22] Swieca, M., Gawlik-Dziki, U., Jakubczyk, A., Bochnak, J., Sikora, M. and Suliburska, J. (2019). Nutritional quality of fresh and stored legumes sprouts – Effect of *Lactobacillus plantarum* 299v enrichment. *Food Chemistry*. 288: 325-332.
- [23] Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72(1): 248-254.
- [24] Wang, Y., Xu, K., Lu, F., Wang, Y., Ouyang, N. and Ma, H. (2021). Increasing peptide yield of soybean meal solid-state fermentation of ultrasound-treated *Bacillus amyloliquefaciens*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 72: 102704. doi:10.1016/j.ifset.2021.102704.
- [25] Peng, X. and Yao, Y. (2017). Carbohydrates as fat replacers. *Annual Review of Food Science and Technology*. 8: 331–51.
- [26] Bourouis, I., Pang, Z. and Liu, X. (2023). Recent advances on uses of protein and/or polysaccharide as fat replacers: Textural and tribological perspectives: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*. 11: 100519. doi:10.1016/j.jafr.2023.100519.
- [27] Toyosaki, T. (2018). Effects of medium-chain triacylglycerols on Maillard reaction in bread baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 98(8): 3169-3174.
- [28] Xu, L., Zhu, H. and Yi, C. (2023). Soybean protein isolate affects in vitro digestion properties of fermented *indica* rice starch by regulating its gel characteristics. *Food Hydrocolloids*. 145:

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100

109165. doi:10.1016/j.foodhyd.2023.109165.
- [29] Montanha, G.S., Perez, L.C., Brandão, J.R., de Camargo, R.F., Tavares, T.R., de Almeida, E. and Carvalho, H.W.P. (2024). Profile of mineral nutrients and proteins in soybean seeds (*Glycine max* (L.) Merrill): Insights from 95 varieties cultivated in Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*. 134: 106536. doi:10.1016/j.jfca.2024.106536.
- [30] Lim, J., Nguyen, T.T.H., Pal, K., Kang, C.G., Park, C., Kim, S. W. and Kim, D. (2022). Phytochemical properties and functional characteristics of wild turmeric (*Curcuma aromatica*) fermented with *Rhizopus oligosporus*. *Food Chemistry: X*. 13: 100198. doi:10.1016/j.fochx.2021.100198.
- [31] Wang, F., Shen, H., Yang, X., Liu, T., Yang, Y., Zhou, X., Zhao, P. and Guo, Y. (2021). Effect of free amino acids and peptide hydrolysates from sunflower seed protein on the formation of pyrazines under different heating conditions. *RSC Advances*. 11: 27772–27781.
- [32] Kan, L., Nie, S., Hu, J., Liu, Z. and Xie, M. (2016). Antioxidant activities and anthocyanins composition of seed coats from twenty-six kidney bean cultivars. *Journal of Functional Foods*. 26: 622–631.
- [33] Yang, Q-Q., Ge, Y-Y., Gunaratne, A., Kong, K-W., Li, H-B., Gul, K., Kumara, K., Arachchi, L. V., Zhu, F., Corke, H. and Gan, R-Y. (2020). Phenolic profiles, antioxidant activities, and antiproliferative activities of different mung bean (*Vigna radiata*) varieties from Sri Lanka. *Food Bioscience*. 37: 100705. doi:10.1016/j.fbio.2020.100705.
- [34] Nunes, Y.C., Santos, G.O., Machado, N.M., Otoboni, A.M.M. B., Laurindo, L.F., Bishayee, A., Fimognari, C., Bishayee, A. and Barbalho, S.M. (2024). Corrigendum to peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds and by-products in metabolic syndrome and cardiovascular disorders: A systematic review of clinical studies. *Phytomedicine*. 123: 155170. doi:10.1016/j.phymed.2024.155870.
- [35] Su, G., Xie, Y., Liu, R., Cui, G., Zhao, M. and Zhang, J. (2023). Effect of transglutaminase on taste characteristics of pea protein hydrolysates through altering the composition of amino acids and peptides. *Food Bioscience*. 56: 103261. doi:10.1016/j.fbio.2023.103261.

*Corresponding author e-mail: kawinchaya.sa@kmitl.ac.th

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

²ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100