



**ความคงตัวของชีวภาพของเปปไทด์ไฮโดรไลเซตจากรำข้าวระหว่างการแปรรูปและ
การเก็บรักษาในเครื่องดื่มฟังก์ชันจำลอง**
**Bio-stability of peptide hydrolysate from rice bran during processing and
storage in functional drink model**

กุลรภัท วชิรศิริ* ไศรดา วัลภา และ ยุทธศักดิ์ สุกการี

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมอาหารสุขภาพ (ศนอ.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
ปทุมธานี 12120

Kulraphat Wachirasiri*, Sorada Wanlapa and Yuttasak Subkaree

Expert Centre of Innovative Health Food (InnoFood), Thailand Institute of Scientific and
Technological Research (TISTR), Pathum Thani 12120

Received: 24 November 2021/ Revised: 25 December 2021/ Accepted: 27 December 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความคงตัวของชีวภาพของเปปไทด์ไฮโดรไลเซตจากรำข้าวในระหว่างการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันจำลอง ประกอบด้วยสภาวะที่มีปริมาณน้ำตาลในช่วง 0-15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) พีเอชในช่วง 3.5-7.0 และเมื่อผ่านการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และระดับสเตอริไรส์ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นรวมกับการให้ความร้อนมีผลทำให้เครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองมีปริมาณฟีนอลิกฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH) และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 3.5 เป็น 7.0 มีผลทำให้เครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองที่มีน้ำตาลมีปริมาณฟีนอลิกฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระและความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองที่ไม่มีน้ำตาลพบว่าการเปลี่ยนแปลง เมื่อพีเอชของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น แต่ฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระลดลงหลังให้ความร้อนในระดับสเตอริไรส์ที่พีเอช 3.5-4.5 การเก็บรักษาเครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน พบว่าไม่ทำให้ปริมาณฟีนอลิกฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระและความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเกิดการเปลี่ยนแปลง ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเปปไทด์ไฮโดรไลเซตที่ผลิตได้จากรำข้าวมีความคงตัวของชีวภาพสูงทั้งต่อการแปรรูปและการเก็บรักษา ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตอาหารฟังก์ชัน

คำสำคัญ: รำข้าว เปปไทด์ไฮโดรไลเซต ความคงตัวของชีวภาพ การกำจัดอนุมูลอิสระ เครื่องดื่มฟังก์ชันจำลอง



Abstract

The objective of this study is to investigate the bio-stability of peptide hydrolysate from rice bran in functional drink model subjected to different processing conditions, including addition of 0-15% (w/v) sugar, pH 3.5-7.0, moderate heat treatment of pasteurization at 63°C for 30 min and severe heat treatment of sterilization at 121°C for 15 min. The bio-stability during storage at 5°C for 28 days was also evaluated. The increases in sugar contents in the formulations and heat treatment resulted in the significant increases in total phenolic content (TPC), DPPH antioxidant activity and ferric reducing antioxidant power (FRAP) ($p \leq 0.05$). Considering only samples with sugar addition, TPC, DPPH antioxidant activity and FRAP of functional drink model decreased significantly with higher pH ($p \leq 0.05$). Pasteurization had no significant effect on TPC, DPPH antioxidant activity and FRAP, regardless of pH levels between 3.5 and 7.0 while those without sugar addition and having pH between 3.5 and 4.5 tended to have lower DPPH antioxidant activity after sterilization. No significant losses of TPC, DPPH antioxidant activity and FRAP throughout the 28 days of storage at 5°C. The results suggested that the peptide hydrolysate from defatted rice bran had high bio-stability during both processing and storage and it can be used as functional ingredient in food products thereby enriching them with bioactive compounds

Keywords: Rice bran, Peptide hydrolysate, Bio-stability, Free radical scavenging activity, Functional drink model

บทนำ

อาหารฟังก์ชัน (functional food) เป็นอาหารที่มีส่วนประกอบของสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ทำให้สุขภาพดีขึ้น ตลาดอาหารฟังก์ชันมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยมีแรงขับเคลื่อนมาจากความกังวลเกี่ยวกับโรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น วิธีการใช้ชีวิตหรือพฤติกรรม การดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนไป ความรู้ความเข้าใจ เทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงอัตราค่าไรของธุรกิจอาหารฟังก์ชันที่สูงกว่าอาหารทั่วไปเกือบ 3 เท่า ทำให้ดึงดูดผู้ประกอบการเข้ามาผลิตอาหารฟังก์ชันกันมากขึ้นเรื่อยๆ [1] เพปไทด์ไฮโดรไลเซตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยโปรตีนโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ลดความดัน ลดคอเลสเตอรอล ด้านเซลล์มะเร็ง ยับยั้งเอนไซม์ Angiotensin-Converting Enzyme (ACE) กระตุ้นภูมิคุ้มกัน ลดการอักเสบ กระตุ้นการทำงานของสมอง ปรับภูมิคุ้มกันเซลล์ควบคุมสื่อประสาท ลดความเสี่ยงจากโรคหลอดเลือด และยับยั้งปฏิกิริยา lipid

peroxidation เป็นต้น [2-6] ด้วยเหตุนี้เพปไทด์ไฮโดรไลเซตจึงได้รับความสนใจนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารฟังก์ชันกันมากขึ้น

ความคงตัวของชีวภาพของเพปไทด์ไฮโดรไลเซตในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาลักษณะเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญ ฤทธิ์ทางชีวภาพของเพปไทด์ไฮโดรไลเซตอาจถูกทำลายในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา [7, 8] การแปรรูปมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อฤทธิ์ทางชีวภาพของเพปไทด์ไฮโดรไลเซต เช่น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณเกลือ พีเอช อุณหภูมิ ระยะเวลาการให้ความร้อน ปริมาณโลหะ แสงยูวี และคุณสมบัติของฤทธิ์ทางชีวภาพ เป็นต้น [7, 9-12] การสูญเสียฤทธิ์ทางชีวภาพในระหว่างการแปรรูปอาจเกิดจากการทำลายหมู่เอมีโน (deamination) การออกซิเดชัน (oxidation) การย่อย (hydrolysis) และการจับเป็นวงแหวน (cyclization) [10, 12] ในการเก็บรักษาอาจมีปัจจัยที่ทำให้เพปไทด์ไฮโดรไลเซตถูกย่อยจนสูญเสียความคง ตัวอย่างเช่น จากการศึกษาของ



Khairallah [13] พบว่า การเก็บรักษาสารละลายเพปไทด์ หลังจากแปรรูปที่พีเอช 7.2 ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน จะทำให้พีเอชลดลงเหลือ 5.5 และเพปไทด์ มีความเข้มข้นลดลงเกือบครึ่ง [13] ดังนั้นมีความจำเป็น อย่างมากที่ต้องประเมินฤทธิ์ทางชีวภาพระหว่างการแปรรูป และการเก็บรักษา [14] งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษา ความคงตัวของชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระของ เพปไทด์ไฮโดรไลเซตที่ผลิตได้จากการย่อยรำข้าวด้วย เอนไซม์ ในระหว่างการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ฟังก์ชันจำลองและการเก็บรักษา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การผลิตเพปไทด์ไฮโดรไลเซตจากรำข้าว

เพปไทด์ไฮโดรไลเซตถูกผลิตด้วยกระบวนการที่ไดจากการศึกษาของ กุลธรัส และคณะ [15] โดยใช้รำข้าว หนัก 20.0 กรัมแห้งต่อน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1 : 5) ปรับพีเอชเป็น 8.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ เติมเอนไซม์อัลคาเลส ปริมาตร 0.175 มิลลิลิตร (ปริมาณเอนไซม์ 0.00875 มิลลิลิตรต่อกรัม รำข้าวแห้ง) ย่อยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาของ เอนไซม์ด้วยการแช่ในน้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ปรับพีเอชเป็น 7.0 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 6.0 โมลาร์ แยกกากที่เหลือออกด้วยวิธีการ บั่นเหวี่ยงที่ 8,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (ล้างกากด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร) นำสารละลายเพปไทด์ไฮโดรไลเซตที่ได้ไปทำแห้ง ด้วยวิธี spray drying ที่อุณหภูมิเข้า-ขาออก 90/180 องศาเซลเซียส เก็บผงแห้งที่ได้ในถุงซิปล็อคที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาความคงตัว

2. ความคงตัวของเพปไทด์ไฮโดรไลเซตในการแปรรูปเป็น ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันจำลอง

เตรียมเครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองที่มีน้ำตาล ความเข้มข้น 0, 7.5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เติมน้ำตาลเพปไทด์ไฮโดรไลเซตให้มีความเข้มข้น 1.0

มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 3.5, 4.5 และ 7.0 ด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (พาสเจอร์ไรซ์) และ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (สเตอริไรส์) ลดอุณหภูมิโดยการแช่ในน้ำเย็นจัด วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก (total phenolic content; TPC) ฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH) และความสามารถในการ รั้วซ์เพอร์ริก (FRAP)

3. ความคงตัวของเพปไทด์ไฮโดรไลเซตในระหว่างการ เก็บรักษาเครื่องดื่มฟังก์ชันจำลอง

เตรียมเครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองที่มีน้ำตาล ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เติมน้ำตาล เพปไทด์ไฮโดรไลเซตให้มีความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 3.5, 4.5 และ 7.0 ด้วยสารละลาย กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร นำไปให้ ความร้อนที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (พาสเจอร์ไรซ์) และ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (สเตอริไรส์) ลดอุณหภูมิโดยการแช่ในน้ำเย็นจัด เก็บรักษา เครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศา เซลเซียส วิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมด (TSS) ด้วยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส วัดค่าพีเอช ด้วยเครื่องวัดพีเอช (pH meter) ฟีนอลิก ฤทธิ์การกำจัด อนุมูลอิสระ และความสามารถในการรั้วซ์เพอร์ริก ที่เวลา 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน

4. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) ประยุกต์จาก Thamnarathip และคณะ [16] โดยการปิเปตต์ สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด ทดลอง เติมน้ำตาลละลาย Folin-Ciocalteu (1:10, ปริมาตร ต่อปริมาตร) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และเติมน้ำตาลละลาย sodium carbonate (7.0 เปอร์เซ็นต์, น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ ห้องในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น Blank



และใช้สารละลาย gallic acid (ความเข้มข้น 0.01-0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐาน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดรายงานในหน่วย mg GAE/L

5. การวิเคราะห์การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging assay)

การวิเคราะห์การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ประยุกต์จากงานวิจัยของ Chen และคณะ [17] โดยการปิเปตสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.02 โมลาร์, พีเอช 6.0)

ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลาย 2,2- diphenyl-1-picryl-hydrazyl radical (DPPH) ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และเติมตัวอย่าง ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณปริมาณการกำจัดอนุมูลอิสระ ตามสมการ

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \frac{(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}})}{A_{\text{control}}} \times 100$$

โดยที่ : A control คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ของ DPPH ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์

A sample คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ของ DPPH ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ผสมกับตัวอย่าง

6. การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidant power; FRAP)

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidant power; FRAP) ประยุกต์จาก Thamnarathip และคณะ [16] ทำโดยการปิเปตสารละลาย FRAP ปริมาตร 3,000 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 100 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank และใช้สารละลาย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (ความเข้มข้น 100-1400 ไมโครโมลาร์) เป็นสารมาตรฐาน คำนวณผลที่ได้ให้แสดงออกมาในรูป $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{L}$ (สารละลาย FRAP (เตรียมเมื่อต้องการใช้) โดยการผสมสารละลาย acetate buffer (300 มิลลิโมลาร์, พีเอช 3.6) กับสารละลาย TPTZ (10 มิลลิโมลาร์) และสารละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20 มิลลิโมลาร์) ในอัตราส่วน 10 : 1:1 โดยปริมาตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปใช้)

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการทดลองจำนวน 3 ชุด (replication) และวิเคราะห์การทดลอง 3 ซ้ำ

ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DRMT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistic (Version 19.0)

ผลการวิจัย

กระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่ผู้ผลิตและแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชันต้องคำนึงถึง นอกจากเหนือจากความตระหนักด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหาร (food safety) ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสำคัญได้ นอกจากเรื่องของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสำคัญที่อาจเกิดขึ้นจากผลกระทบโดยตรงจากกระบวนการผลิตแล้ว องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ ความเป็นกรด-ด่างก็ล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสำคัญเช่นกัน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการศึกษาความคงตัวของชีวภาพของเพปไทด์ไฮโดรไลเซตที่ผลิตได้จากรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันทั้งในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาของเครื่องดื่มฟังก์ชัน



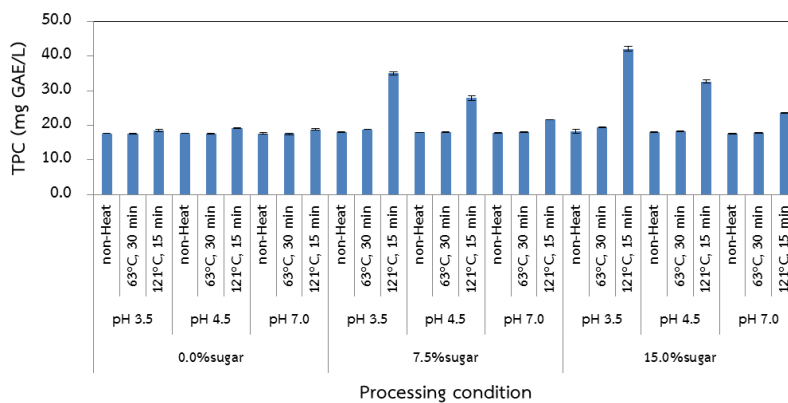
จำลองที่มีการเติมเพปไทด์ที่ระดับความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเครื่องต้มฟังก์ชันจำลองประกอบด้วยสภาวะที่มีน้ำตาล 0-15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอช 3.5-7.0 และผ่านกระบวนการผลิตด้วยความร้อนที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ระดับพาสเจอร์ไรส์อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และระดับสเตอริไรส์ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นวิเคราะห์ฤทธิ์ทางชีวภาพของเครื่องต้มฟังก์ชันจำลองแต่ละสภาวะ (condition) ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา

1. ความคงตัวของเพปไทด์ไฮโดรไลเซทในผลิตภัณฑ์เครื่องต้มฟังก์ชันจำลอง

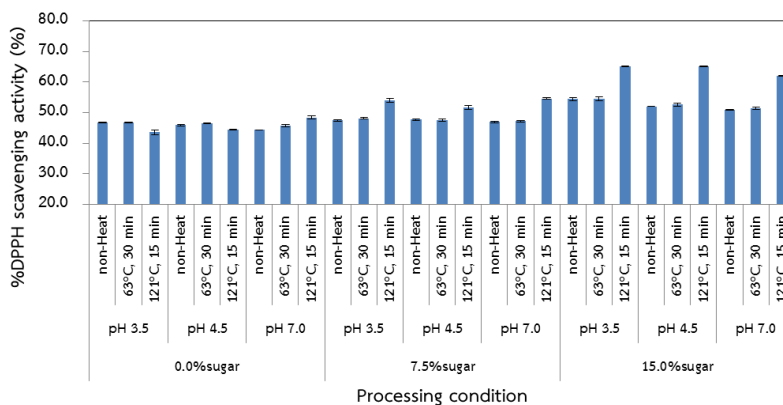
เครื่องต้มฟังก์ชันจำลองเตรียมด้วยกระบวนการดังแสดงในวิธีดำเนินการวิจัยข้อ 2 ผลของกระบวนการเตรียมเครื่องต้มฟังก์ชันจำลอง อันได้แก่ องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ ความเป็นกรด-ด่าง และระดับความร้อนต่อปริมาณฟีนอลิก (TPC) ฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH) และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) แสดงดังภาพที่ 1, 2 และ 3 ผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (0-10 เปอร์เซ็นต์) และพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปไม่ทำให้ปริมาณฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์เครื่องต้มฟังก์ชันจำลองที่ไม่ได้รับความร้อน (non-heat) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในขณะที่ปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) เมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนร่วมด้วย ทั้งนี้ปริมาณฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาคาราเมล (caramelization) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลที่ความร้อนสูง หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่างเพปไทด์และน้ำตาลซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีน้ำตาลเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามก็อาจต้องพิจารณาผลการทดลองฤทธิ์

ในการกำจัดอนุมูลอิสระร่วมด้วยว่า ปริมาณฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวสอดคล้องกับฤทธิ์ทางชีวภาพที่เพิ่มขึ้นหรือไม่ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านพีเอชและผลของการเปลี่ยนแปลงพีเอชต่อปริมาณฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์เครื่องต้มฟังก์ชันจำลอง ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่ 7.5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับความร้อนระดับสเตอริไรส์ (121 องศาเซลเซียส) ผลิตภัณฑ์ที่มีพีเอชน้อยกว่า 4.5 (พีเอช ≤ 4.5) จะมีปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ทั้งนี้เพราะในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูงหรือพีเอชต่ำจะเกิดปฏิกิริยา caramelization ได้ดี โดยกรดจะย่อยน้ำตาลได้ดี ส่งผลให้เกิดพอลิเมอร์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้มขึ้นดูคล้ำแสงได้ดีและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วย

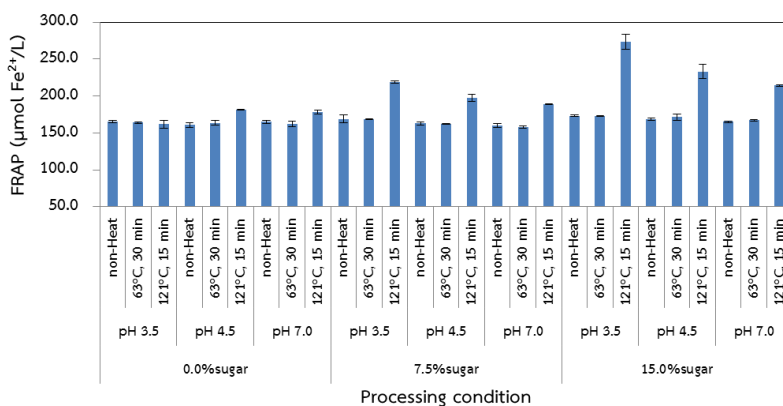
ภาพที่ 2 และ 3 แสดงผลวิเคราะห์ฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระและความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของเครื่องต้มฟังก์ชันจำลองเพปไทด์ไฮโดรไลเซท ผลวิเคราะห์ฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระและความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) เมื่อเครื่องต้มฟังก์ชันจำลองในสภาวะที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบและใช้ความร้อนร่วมด้วยพบว่าฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระและความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนระดับสเตอริไรส์และมีน้อยกว่า 4.5 (พีเอช ≤ 4.5) ทั้งนี้เพราะความร้อนจะให้น้ำตาลเกิดปฏิกิริยากับเพปไทด์หรือเรียกว่า Maillard reaction เกิดเป็นสารประกอบน้ำตาล - เพปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยมีความสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระจับกับไฮโดรเปอร์ออกไซด์ active oxygen species และทำลายองค์ประกอบของ hydroperoxide ได้ [18, 19]



ภาพที่ 1 ปริมาณฟีนอลของเครื่องต้มฟังก์ชันจำลองเพปไทด์ไฮโดรไลเซท (a, b, c, ... แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ $p \leq 0.05$)



ภาพที่ 2 ฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของเครื่องต้มฟังก์ชันจำลองเพปไทด์ไฮโดรไลเซท (a, b, c, ... แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ $p \leq 0.05$)



ภาพที่ 3 ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของเครื่องต้มฟังก์ชันจำลองเพปไทด์ไฮโดรไลเซท (a, b, c, ... แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ $p \leq 0.05$)



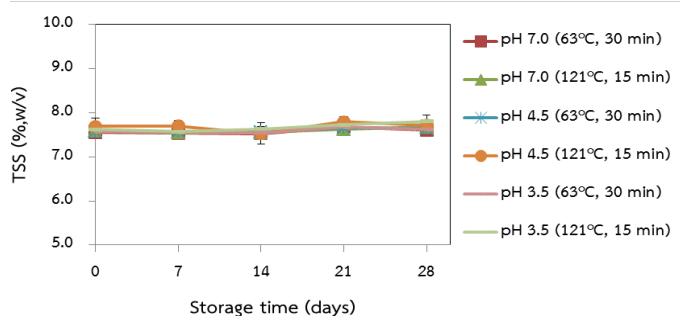
2. ความคงตัวของเพปไทด์ไฮโดรไลเซทในระหว่างการเก็บรักษาเครื่องตีพิมพ์กึ่งอัตโนมัติ

การศึกษาความคงตัวของเพปไทด์ในระหว่างการจากการศึกษาเครื่องตีพิมพ์กังหันจำลองเพปไทด์ไฮโดรไลเซตจากผลการทดลองความคงตัวของเพปไทด์ไฮโดรไลเซตในผลิตภัณฑ์เครื่องตีพิมพ์กังหันจำลองพบว่า ปริมาณน้ำตาลในเครื่องตีพิมพ์กังหันจำลองรวมกับการให้ความร้อนและพีเอชมีผลต่อปริมาณพินอลิก และฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ และความสามารถในการรีดิวส์เฟอร์ริก ทั้งนี้ ในกระบวนการศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์จึงนำสภาวะดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาต่อไป อย่างไรก็ตามจากการสำรวจผลิตภัณฑ์เครื่องตีพิมพ์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่มีการแสดงสูตรส่วนประกอบ อันได้แก่ น้ำผลไม้ เครื่องดื่มจากพืช ผัก ผลไม้ เครื่องดื่มแต่งกลิ่นรส ชา และกาแฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ มีปริมาณน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในสูตรอยู่ในช่วง 5-10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด อีกทั้งปัจจุบันมีการเก็บภาษีเครื่องดื่มที่มีการใช้น้ำตาลเป็นส่วนประกอบโดยอัตราการจัดเก็บภาษีเครื่องดื่มนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำตาลที่ใช้ในสูตร การผลิตเครื่องดื่มที่มีปริมาณน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูงก็มีแนวโน้มที่จะทำให้ต้นทุนการผลิตด้านวัตถุดิบและกระบวนการผลิตสูงขึ้น สอดคล้องกับผู้บริโภคในปัจจุบันที่มีตระหนักเรื่องสุขภาพการหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลสูง ด้วยเหตุนี้ ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ 7.5 เปอร์เซ็นต์ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นตัวแทนในการศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา โดยการเตรียมผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่พีเอช 3.5, 4.5 และ 7.0 และให้ความร้อนที่แตกต่างกันที่ 63 องศาเซลเซียส และ 121 องศาเซลเซียส

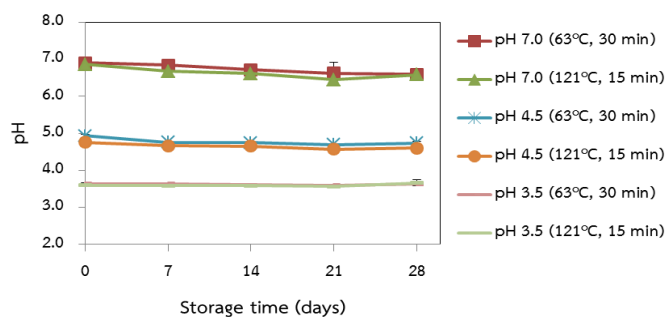
ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้นำไปเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์ และรายงานผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมด พีเอช ปริมาณฟีนอลิก ฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ดำเนินการสุ่มตัวอย่างวิเคราะห์ทุก ๆ 7 วัน ผลการทดลอง (ภาพที่ 4-8)

ปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมดและฟิเอชของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณระหว่างการเก็บรักษา จากกราฟแสดงให้เห็นว่าระดับการให้ความร้อนและฟิเอชมีผลต่อปริมาณฟีนอลิกที่วิเคราะห์ได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่ฟิเอช 3.5 และให้ความร้อนที่ 121 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณฟีนอลิกสูงสุด อย่างไรก็ตามปริมาณฟีนอลิกในแต่ละสภาวะการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระหว่างการเก็บรักษาและสิ้นสุดการเก็บรักษา (28 วัน)

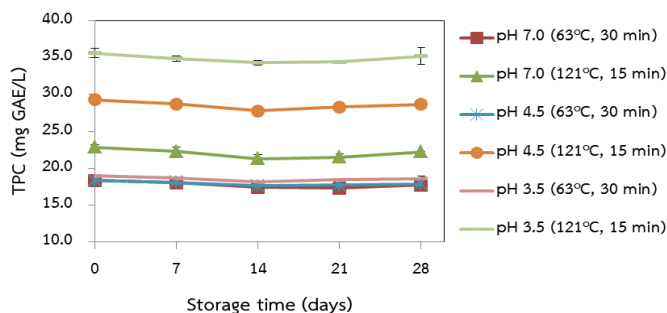
ฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุุลอิสระและ
ความสามารถในการรีดิวซ์เพอร์ริกของผลิตภัณฑ์เครื่องต้ม
ฟังก์ชันมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่า
ผลิตภัณฑ์เครื่องต้มฟังก์ชันจำลองมีแนวโน้มฤทธิ์การกำจัด
อนุุลอิสระเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีพีเอช อย่างไรก็ดี
แนวโน้มการเพิ่มขึ้นไม่ทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
เมื่อเปรียบเทียบกับอายุการเก็บที่ 0 วัน ระหว่างการเก็บรักษา
และสิ้นสุดการเก็บรักษา ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากผลการ
วิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เพอร์ริกในผลิตภัณฑ์
แต่ละช่วงเวลาที่มียาแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา
อย่างไรก็ดีผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่มีความแตกต่าง
อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้น



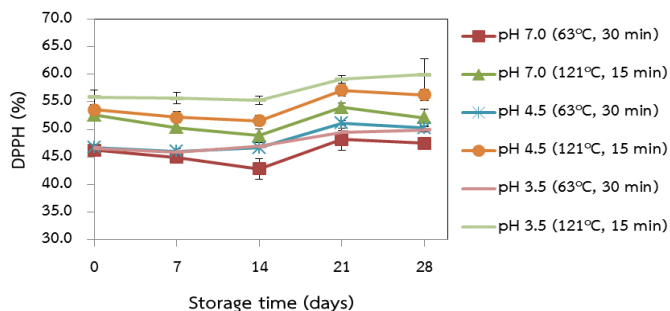
ภาพที่ 4 ปริมาณของแข็งละลายได้ (TSS) ของเครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



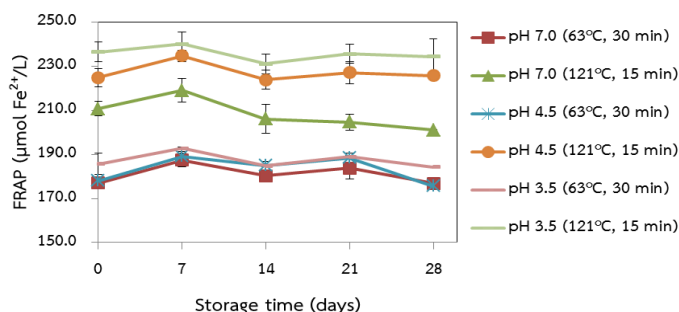
ภาพที่ 5 พีเอช (pH) ของเครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 6 ปริมาณฟีนอลิก (TPC) ของเครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 7ฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH) ของเครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 8 ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP) ของเครื่องต้มฟังก์ชันจำลองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาความคงตัวของเพปไทด์ไฮโดรไลเซทในผลิตภัณฑ์เครื่องต้มฟังก์ชันจำลอง ที่ผ่านกระบวนการเตรียมที่สภาวะต่าง ๆ และเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน ผลการศึกษาในสภาวะที่ไม่มีน้ำตาลและมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ให้ผลแตกต่างกันดังนี้ ผลการศึกษาเครื่องต้มฟังก์ชันจำลองสภาวะไม่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่พีเอช 3.5-4.5 จะมีฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลงหลังผ่านการให้ความร้อนที่ 121 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากการแปรรูปที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเพปไทด์ไฮโดรไลเซทเปลี่ยนแปลงไปจนทำให้มีฤทธิ์ทางชีวภาพลดลง คล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ Singh และ Vij [8] ซึ่งพบว่า เมื่อผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส จะทำให้เพปไทด์ไฮโดรไลเซทที่ได้จากนมถั่วเหลืองหมัก (fermented soy milk) มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS และ DPPH ลดลง การศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Lopez-Sanchez และคณะ [11] และ Fu และคณะ [24] ซึ่งพบว่า ที่อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส เพปไทด์ไฮโดรไลเซทที่ได้จากเมล็ดผักขมและ bovine collagen จะมีฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งเอนไซม์ ACE ลดลง

อย่างไรก็ดีการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์สำหรับเครื่องต้มฟังก์ชันจำลองที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ของฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระและความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านความร้อน ผลการทดลองที่ได้แตกต่างจากการศึกษา

ของ Liu และคณะ [9] และ Zhu และคณะ [10] ที่รายงานฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของเพปไทด์ไฮโดรไลเซทจากหนอนไหมเพศผู้ (male silk moth) และเพปไทด์ไฮโดรไลเซทที่ได้จากแฮมจีนหัว (Jinhua ham) ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Wang และคณะ [12] พบว่าฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl radical scavenging activity) ของเพปไทด์ไฮโดรไลเซทจากปลาแมกเคอเรลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส

นอกจากเรื่องของระดับของอุณหภูมิที่ได้รับแล้วชนิดของเพปไทด์และคุณสมบัติทางชีวภาพของเพปไทด์มีผลต่อความคงตัวของเพปไทด์เช่นกัน การศึกษาของ Singh และ Vij [8] พบว่าเพปไทด์ไฮโดรไลเซทที่ได้จากนมนมถั่วเหลืองหมัก (fermented soy milk) จะมีฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS และ DPPH ลดลง เมื่อผ่านความร้อน 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แต่ไม่มีผลต่อความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ ACE คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Wang และคณะ [12] พบว่า เพปไทด์ไฮโดรไลเซท จากปลาแมกเคอเรลฤทธิ์ความสามารถกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($\text{OH}^\cdot$) ลดลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส แต่ฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้น ซึ่งเพปไทด์ไฮโดรไลเซทจากร้าข้าวให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ ฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แต่ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มขึ้น

ในขณะที่เครื่องต้มฟังกั้นจำลองสถานะที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบให้ผลที่แตกต่างจากการทดลองข้างต้น ผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำตาลและความร้อนมีผลต่อฤทธิ์ทางชีวภาพของเครื่องต้มฟังกั้นจำลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยปริมาณน้ำตาลและระดับความร้อนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิก ฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มขึ้น โดยฤทธิ์ทางชีวภาพที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจาก Maillard reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับเพปไทด์หรือกรดอะมิโน ได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล (brown melanoid pigment) ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ [18, 19] โดยปฏิกิริยานี้จะขึ้นอยู่กับระดับความร้อน ระยะเวลา ฟิเอช การรวมตัวของน้ำตาลกับกรดอะมิโน ขนาดโมเลกุลของผลิตภัณฑ์และอัตราส่วนของสารตั้งต้น [20] ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang และคณะ [21] และ Ward และคณะ [22] ซึ่งพบว่าฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH) ของเพปไทด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพปไทด์ผสมกับน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) เกิดปฏิกิริยา Maillard reaction Kang และคณะ [23] พบว่าเพปไทด์จากเศษซากราน่า (Rana debris collagen peptide) ที่เติมน้ำตาลไซโลส (peptide-xylose) จะมีฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเพปไทด์ (peptide) และน้ำตาลไซโลส (xylose) ที่อยู่อย่างอิสระ และรายงานผลของน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนสูงจะมีผลทำให้ปริมาณ (TPC) ฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระและความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเพิ่มขึ้นด้วย ความร้อนเป็นปัจจัยหนึ่งส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับเพปไทด์ หรือปฏิกิริยา Maillard reaction [20] โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง

นอกจากปริมาณน้ำตาลและระดับความร้อนแล้ว ฟิเอชเป็นปัจจัยร่วมอย่างหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณ TPC ฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระและความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก โดยฟิเอชที่เพิ่มขึ้นจาก 3.5 เป็น 7.0 มีผลทำให้เครื่องต้มฟังกั้นจำลองที่มีน้ำตาลมีปริมาณ TPC และฤทธิ์ทางชีวภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เพราะฟิเอชเป็นปัจจัยหนึ่งส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา Maillard reaction

[20] ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดได้สูงที่ฟิเอชต่ำ สอดคล้องกับหลายงานวิจัยซึ่งระบุว่า เพปไทด์ไฮโดรไลเซทจะมีความคงตัวทางชีวภาพสูงในช่วงฟิเอชที่มีความเป็นกรดเช่น ผลการศึกษาของ Wang และคณะ [12] และ Singh และ Vij [8] พบว่า เพปไทด์ไฮโดรไลเซทที่ได้จากปลาแมกเคอเรลและน้ำมันถั่วเหลืองหมักมีฤทธิ์คงที่ในการกำจัดอนุมูลอิสระเมื่อฟิเอช เท่ากับ 2.2-7.2 คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Fu และคณะ [24] พบว่าเพปไทด์ไฮโดรไลเซทที่ได้จาก bovine collagen มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งเอนไซม์ ACE คงที่ในระหว่างการแปรรูปที่ฟิเอชช่วง 2.0-6.0 ส่วนการแปรรูปเพปไทด์ไฮโดรไลเซทในสถานะที่มีฟิเอชสูงหรือสถานะต่าง (ฟิเอช > 7.0) จะมีผลเสียต่อฤทธิ์ทางชีวภาพของเพปไทด์ไฮโดรไลเซท เช่น สูญเสียฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS, DPPH และฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งเอนไซม์ ACE [8] โดย Liu และคณะ [9] รายงานว่าฤทธิ์ทางชีวภาพของเพปไทด์ไฮโดรไลเซทในการต้านอนุมูลอิสระ ORAC และ DPPH จะต่ำลง เมื่อฟิเอชมากกว่า 8 ทั้งนี้เนื่องจากฟิเอชสูงทำให้เพปไทด์เกิดปฏิกิริยา racemization ซึ่งทำให้เพปไทด์เปลี่ยนเป็นไอโซเมอร์ (isomer) ตลอดจนมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่อะมิโน ($-NH_2$) หรือเรียกว่า deamination ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนไปและสูญเสียฤทธิ์ทางชีวภาพ [9, 12] รวมถึงมีผลต่อขนาด โครงสร้าง ปริมาณกรดอะมิโนและคุณสมบัติของเพปไทด์ เช่น ความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) [8, 25]

การเก็บรักษาเครื่องต้มฟังกั้นจำลองที่ผ่านการแปรรูปที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ปริมาณ TPC มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระหว่างการเก็บรักษาและสิ้นสุดการเก็บรักษา (28 วัน) ในขณะที่ฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระและความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกมีแนวโน้มมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีค่าฟิเอช เท่ากับ 3.5 อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเพิ่มขึ้นไม่ทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับอายุการเก็บที่ 0 วัน ผลการทดลองที่ได้ขัดแย้งกับการศึกษาของ



Khairallah [13] ซึ่งพบว่า การแปรรูปเพปไทด์ที่ได้จากรำข้าว เป็นเครื่องดื่มที่พีเอช 3.5 จะมีความคงตัวสูงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 42 วัน ในขณะที่เครื่องดื่มจำลองที่พีเอช 7.0 ค่าพีเอชจะลดลงเหลือ 5.5 และความเข้มข้นของเพปไทด์ลดลง โดยความคงตัวของอาหารฟังก์ชันที่มีส่วนผสมของเพปไทด์ไฮโดรไลเซทจะขึ้นอยู่กับลำดับเพปไทด์ (peptide sequence) พีเอช และส่วนประกอบของอาหาร (food matrix) [14]

การศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าเพปไทด์ไฮโดรไลเซทที่ผลิตได้จากรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันมีความคงตัวทางชีวภาพเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นเครื่องดื่มฟังก์ชันจำลองที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบโดยพีเอชที่ ≤ 4.5 และผ่านความร้อนระดับระดับสเตอริไรส์ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ให้ฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสุด พิจารณาความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาเพปไทด์ไฮโดรไลเซทในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันจำลอง พบว่าปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ทางชีวภาพ DPPH และ FRAP ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นศักยภาพของเพปไทด์จากรำข้าวที่สกัดได้ ที่มีความทนทานต่อกระบวนการแปรรูปและกระบวนการเก็บรักษาตามสภาวะที่กำหนด สามารถนำเพปไทด์จากรำข้าวที่สกัดได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท โคราซโรงเสียงสงวน จำกัด ที่ให้การสนับสนุนรำข้าวเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ผู้จัดการออนไลน์. กรุงไทยแนะโอกาสทอง SMEs ชี้อธุรกิจ Functional Foods กำลังรุ่ง. [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 22 มี.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://mgronline.com/stockmarket/detail/9620000033492>
2. Ghribi AM, Sila A, Przybylski R, Nedjar-Arroume N, Makhlouf I, Blecker C, et al. Purification and Identification of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysate of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein concentrate. J Funct Foods 2015;12:516-25.
3. Kannan A, Hettiarachchy N, Narayan S. Colon and breast anti-cancer effects of peptide hydrolysates derived from rice bran. Open Bioact Compd J 2009;2:17-20.
4. Phantuwong N. Functional and biological properties of Sang Yod rice bran hydrolysate prepared by enzymatic hydrolysis and its application in rice pudding product. Ph.D. Thesis, Prince of Songkla University. Songkla; 2017.
5. Xu Z, Mao TM, Huang L, Yu ZC, Yin B, Chen ML, et al. Purification and identification immunomodulatory peptide from rice protein hydrolysates. Food Agric Immunol 2019;30(1): 150-62.
6. Yimit D, Hoxur P, Amat N, Uchikawa K, Yamaguchi N. Effects of soybean peptide on immune function, brain function, and neurochemistry in healthy volunteers. Nutr 2012;28(2):154-9.
7. ศุภวรรณ ถาวรชินสมบัติ, ทิพย์สุดา เทพภูเขียว. ความคงตัวของไบโอแอคทีฟจากรำข้าวในเครื่องดื่มจำลอง. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2554.
8. Singh BP, Vij S. In vitro stability of bioactive peptides derived from fermented soy milk against heat treatment, pH and gastrointestinal enzymes. LWT- Food Sci Technol 2018;91:303-7.



9. Liu Y, Wan S, Liu J, Zou Y, Liao S. Antioxidant activity and stability study of peptides from enzymatically hydrolysate male silkworm. *J Food Process Preserv* 2016;0(0):1-10.
10. Zhu CZ, Zhang WG, Kang ZL, Zhou GH, Xu XL. Stability of an antioxidant peptide extracted from Jinhua ham. *Meat Sci* 2014;96:783-9.
11. Lopez-Sanchez J, Ponce-Alquicira E, Pedroza-Islas R, de la Pena-Diaz A, Soriano-Santos J. Effects of heat and pH treatments and *in vitro* digestion on the biological activity of protein hydrolysates of *Amaranthus hypochondriacus* L. grain. *J Food Sci Technol* 2016;53(12):4298-4307.
12. Wang X, Yu H, Xing R, Chen X, Liu S, Li P. Optimization of the extraction and stability of antioxidative peptides from mackerel (*Pneumatophorus japonicus*) protein. *Biomed Res Int* 2017;0(0):1-14.
13. Khairallah MG. Stability and sensory properties of rice bran peptide fraction incorporated orange juice. Theses and Dissertations, University of Arkansas. Fayetteville; 2009.
14. Rao Q, Kamdar AK, Labuza TP. Storage stability of food protein hydrolysates - A review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2015;0(0):1-24.
15. กุลรภัส วชิรศิริ, ไตรดา วัลภา, มณีรัตน์ มีพลอย, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์, ยุทธศักดิ์ สุขการี. ผลของปริมาณรำข้าวและเอนไซม์อัลคาเลสต่อระดับการย่อยโปรตีน ผลผลิต และฤทธิ์ทางชีวภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระของเพปไทด์ไฮโดรไลเซตจากรำข้าวสกัดน้ำมัน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.* 2564;44(3):427-442.
16. Thamnarathip P, Jangchud K, Nitisinprasert S, Vardhanabhuti B. Identification of peptide molecular weight from rice bran protein hydrolysate with high antioxidant activity. *J Cereal Sci* 2016;69:329-35.
17. Chen GT, Zhao L, Zhao LY, Cong T, Bao SF. *In vitro* study on antioxidant activities of peanut protein hydrolysate. *J Sci Food Agric* 2007; 87:357-62.
18. Kchaou H, Benbettaieb N, Jridia M, Nasria M, Debeaufort F. Influence of Maillard reaction and temperature on functional, structure and bioactive properties of fish gelatin films. *Food Hydrocoll* 2019;97(105196):1-14.
19. Karseno K, Wuryatmo E, Yanto T, Setyowati R, Haryanti P. Effect of pH and temperature on browning intensity of coconut sugar and its antioxidant activity. *Food Res* 2018;2(1):32-38.
20. Manzocco L, Calligaris S, Mastrocola D, Nicoli MC, Lericri CR. Review of nonenzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends Food Sci Technol* 2001;11:340-6.
21. Zhang C, Zhang N, Li Z, Tian Y, Zhang L, Zhang B. Stability of antioxidant peptides prepared from large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). *Curr Top Nutraceutical Res* 2016;14(1): 37-48.
22. Ward BP, Ottaway NL, Perez-Tilve D, Ma D, Gelfanov VM, Tschop MH, et al. Peptide lipidation stabilizes structure to enhance biological function. *Mol Metab* 2013;2:468-79.



23. Kang N, Song H, Zhang W, Zhao J, Zhang M, Xiong W, et al. Effect of substrate ratios and the species of sugar on the antioxidant activity of glycosylated products of the rana debris collagen peptide. E3S Web Conf 2019;78 (02006):2-7.
24. Fu Y, Young JF, Dalsgaard TK, Therkildsen M. Separation of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from bovine connective tissue and their stability towards temperature, pH and digestive enzymes. Int J Food Sci Technol 2015;50:1234-43.