

สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ความดันสูงในการผลิตเยลลี่กล้วยพร้อมเติมเสริมใยอาหาร

Optimal high-pressure processing for ready-to-eat banana jelly enriched with dietary fiber

จารุวรรณ ทองสนิท โอคุมุระ¹ อัจฉรา แสนคม² ธิดารัตน์ ผาระนัด³ วรรณภา สระพินครบุรี⁴
เฉลิมพล ถนอมวงศ์⁴ และ อรรณพ ทศนอุดม^{4*}

Jaruwan Thongsanit Okumura¹, Atchara Sankom², Thidarat Paranut³, Wannapa Srapinkomburi⁴,
Chaleampol Thanomwong⁴ and Unnop Tassanaudom^{4*}

บทคัดย่อ

กล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกล้วยตาก ยังคงเป็นปัญหาสำหรับผู้ประกอบการแปรรูปกล้วยตากของประเทศไทย การนำวัตถุดิบดังกล่าวมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและเป็นแหล่งของใยอาหาร โดยไม่ใช้กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าที่น่าสนใจ งานวิจัยนี้จึงจะจัดทำการศึกษากระบวนการผลิตเยลลี่กล้วยเสริมใยอาหารด้วยการใช้ความดันสูงในสภาวะที่เหมาะสม และติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาเก็บรักษานาน 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า สภาวะในการฆ่าเชื้อที่เหมาะสม คือ การใช้ความดันสูงที่ 600 เมกกะพาสกาล อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที โดยสามารถลดเชื้อ *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 และ *Listeria innocua* DMST 9011 ได้มากกว่า 5 log CFUs คือลดเชื้อดังกล่าวลงได้ 5.78 และ 6.72 log CFU/g ตามลำดับ ในขณะที่สภาวะความดันสูงที่ใช้น้ำอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันจะสามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 และเชื้อ *L. innocua* ลงได้ 5.66 และ 6.34 log CFU/g ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการให้ความดันนาน 15 นาที ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 เดือน ผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยเสริมใยอาหารมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความแตกต่างรวมของค่าสีทั้งหมด (เดลต้าอี: ΔE) ในช่วง 0-0.64 เท่านั้น ทำให้ผู้บริโภคไม่สามารถแยกการเปลี่ยนแปลงของสีได้ และไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์ และราในตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

คำสำคัญ: การใช้ความดันสูง กล้วยน้ำว้า เยลลี่ ใยอาหาร โพลีเดกซ์โตรส

Abstract

In Thailand, the accumulation of degraded-overripe bananas resulting from the drying process remains a substantial challenge for banana processors. Utilizing these by-products to create jelly with enhanced nutritional

¹ คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

¹ Faculty of Medical Science, Naresuan University

² ศูนย์ความเป็นเลิศการจัดการธุรกิจท่องเที่ยวและเศรษฐกิจสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

² Center of Excellence for Tourism Business and Creative Economy, Walailak University

³ หน่วยวิจัยและพัฒนาความเป็นเลิศทางนวัตกรรมอาหารสำหรับผู้ประกอบการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก

³ Center of Food Innovation Excellence for Entrepreneurs, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok Campus

⁴ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก

⁴ Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok Campus

* Corresponding author. E-mail: unnop_tas@rmutl.ac.th

content and dietary fiber, via a non-thermal sterilization technique, presents a promising solution for value added. Consequently, this study was designed to refine the process of producing banana jelly enriched with dietary supplements through High-Pressure Processing (HPP) and to examine the quality alterations during a three-month storage at 4°C. The findings indicated that the most effective HPP condition for cold sterilization was at 600 MPa and 45°C using water as the pressure medium for 10 minutes. This condition successfully reduced the microbial load of *Escherichia coli* K12 ATCC 47076 and *Listeria innocua* DMST 9011 by more than 5 log CFUs, specifically to 5.78 and 6.72 log CFU/g, respectively. Additionally, at 35°C for 15 minutes condition also effectively decreased *E. coli* K12 and *L. innocua* counts by 5.66 and 6.34 log CFU/g, respectively. Over the three months of storage at 4°C, the jelly's color (Delta E: ΔE) experienced only minor variations between 0 and 0.64 (consumers cannot distinguish color changes), with no detectable microbial growth, including total viable counts, yeast, and mold.

Keywords: high pressure processing, cultivated banana, jelly, dietary fiber, polydextrose

บทนำ

กล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกล้วยตาก ยังคงเป็นปัญหาสำหรับผู้ประกอบการแปรรูปกล้วยตากของประเทศไทย โดยในกระบวนการผลิตกล้วยตากของผู้ประกอบการในระดับวิสาหกิจชุมชน ที่มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 20 ตันต่อเดือน ซึ่งใช้ปริมาณกล้วยน้ำว้าสุกเฉลี่ยที่ 80 ตันต่อเดือน จะพบกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดราวร้อยละ 1 ของปริมาณกล้วยสุกที่นำมาใช้ในการผลิตกล้วยตาก หรือราว 800 กิโลกรัมต่อเดือน ส่งผลให้เกิดความเสียหายเป็นมูลค่าจำนวนกว่า 20,000 บาทต่อเดือน และยังก่อให้เกิดปัญหาการจัดการวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดดังกล่าวอีกด้วย โดยการแก้ปัญหาในขณะนี้ คือ การนำไปใช้ทำปุ๋ยหมักหรือใช้เป็นอาหารสุกรภายในชุมชน แต่ขณะนี้วัตถุดิบดังกล่าวมีปริมาณมากเกินความต้องการในการใช้งานของชุมชน และไม่คุ้มค่ากับค่าขนส่งกรณีจะกระจายวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสุกตกเกรดแก่แหล่งชุมชนอื่น ๆ จึงต้องการนำวัตถุดิบดังกล่าวมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและเป็นแหล่งของใยอาหาร โดยไม่ใช้กระบวนการฆ่าเชื้อด้วย

ความร้อน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สำหรับกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายที่ต้องการรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารคุณค่าสูง ปัจจุบันพบว่าผู้บริโภคยุคใหม่ให้ความสนใจกับอาหารปลอดดภัยมีคุณค่าทางโภชนาการ และผ่านการแปรรูปน้อยที่สุด โดยมีคุณภาพเหมือนผลิตภัณฑ์สดใหม่ (Asioli et al., 2017) กระบวนการใช้ความดันสูง (high pressure processing: HPP) เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจในปัจจุบัน เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคดังกล่าวข้างต้น การใช้ความดันสูงเป็นการแปรรูปอาหารแบบไม่ใช้ความร้อน (non-thermal processing) ให้ผลเทียบเคียงได้กับการใช้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ แต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นน้อยกว่ามาก เรียกว่า การพาสเจอร์ไรซ์เย็น (cold pasteurization) โดยส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อคุณลักษณะ สมบัติทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และลักษณะทางประสาทสัมผัส เช่น สี กลิ่น และรสชาติ (Pei et al., 2019) เทคโนโลยีนี้จึงได้รับความสนใจอย่างมากในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารสด อุตสาหกรรมแปรรูปผักและผลไม้ เพื่อใช้ยับยั้งเอนไซม์หรือทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์

ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Deng et al., 2021; Roobab et al., 2023) กระบวนการใช้ความดันสูง เป็นการให้ความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศในช่วง 400-600 เมกกะพาสคาล อัดเข้าไปในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งมีน้ำเป็นตัวกลางส่งผ่านความดัน (pressure medium) ให้แก่อาหาร (Almeida et al., 2017) ที่อุณหภูมิระหว่าง 0-100 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อน้อยกว่า 20 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และภาชนะบรรจุ (Pradthanaprean, 2019) การใช้ความดันสูงสามารถใช้กับวัตถุดิบที่เป็นชิ้นเนื้อ วัตถุดิบที่เป็นของเหลว หรือวัตถุดิบที่มีส่วนผสมของชิ้นเนื้อและของเหลวอยู่ด้วยกันก็ได้ โดยกระบวนการไม่ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ความดันจะถูกส่งผ่านไปยังอาหารอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ทำให้ลดปัญหาจากการสูญเสียคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์เช่นที่พบในการใช้ความร้อน เทคโนโลยีความดันสูงจึงเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (environmentally friendly technology) ที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้นกว่าวิธีการแปรรูปดั้งเดิมมากถึง 2-3 เท่า (Ratpitaksanti, 2022) และอาจหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนซ้ำได้ เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวมักจะใช้หลังจากปิดผนึกบรรจุภัณฑ์อาหารแล้ว (Chuang, & Sheen, 2022) การประยุกต์ใช้ความดันสูงในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม เช่น สมูทตี้ผลไม้ น้ำทับทิม น้ำบลูเบอร์รี่ น้ำแครอท น้ำมัลเบอร์รี่ น้ำสตรอว์เบอร์รี่ และสตรอว์เบอร์รี่พีวเร่ น้ำแอปเปิ้ล แคนตาลูปพีวเร่ น้ำองุ่น และอื่น ๆ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ในช่วง 10-60 วัน (Keenan et al., 2010; Barba, Esteve, & Frígola, 2012; Nayak, Liu, & Tang, 2013; Chen et al., 2014; Zhang, Yang, Tang, Chen, & You, 2015; Zou et al., 2015; Gao et al., 2016; Chang,

Wu, Chen, Huang, & Wang, 2017; Marszałek, Woźniak, & Skąpska, 2016; Mukhopadhyay, Sokorai, Ukuku, Fan, & Juneja, 2017; Zhang et al., 2021) นอกจากนี้ การใช้ความดันสูงยังสามารถช่วยสร้างสินค้าใหม่ ในด้านการปรับปรุงคุณภาพทางเนื้อสัมผัส หรือการเกิดเจลที่เป็นลักษณะเฉพาะ (Ratpitaksanti, 2022) อย่างไรก็ตาม การใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด ต้องมีผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิงได้แก่ *Listeria monocytogenes* และ *Escherichia coli* O157:H7 ได้ไม่น้อยกว่า 5 log CFUs โดยสามารถใช้จุลินทรีย์ตัวแทน (surrogate microorganism) ที่ไม่ก่อโรค แต่สามารถในการทนต่อสภาวะความดันได้เท่ากับหรือมากกว่าเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิงนั้นๆ เช่น จุลินทรีย์ *Listeria innocua* และ *Escherichia coli* K12 แทนได้โดยสภาวะการเก็บรักษาหลังพาสเจอไรซ์ไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส (Food and Drug Administration, 2019) ดังนั้นคุณสมบัติของเมทริกซ์อาหาร จึงมีอิทธิพลอย่างมากต่อความสามารถในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิง ซึ่งต้องมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมร่วมด้วย โดยที่ผ่านมาพบงานวิจัยไม่มากนัก ที่มุ่งเน้นศึกษาถึงการใช้ความดันสูงในการผลิตเยลลี่พร้อมดื่ม ทั้งในส่วนขอระดับของความดัน และระยะเวลาในการให้ความดัน ซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในการลดหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตเยลลี่กล้วยเสริมใยอาหารด้วยเทคโนโลยีการใช้ความดันสูง และติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาเก็บรักษานาน 3 เดือน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยลลี่กล้วยเสริมใยอาหารด้วยเทคโนโลยีการใช้

ความดันสูง รวมถึงผลของสภาวะการใช้ความดันสูงที่มีต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หลังผ่านสภาวะดังกล่าว

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมเยลลี่กล้วยเสริมใยอาหาร

สูตรต้นแบบเยลลี่กล้วยเสริมใยอาหารที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ เริ่มจากการเตรียมน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่เหมาะสม โดยใช้อัตราส่วนเนื้อกล้วยต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 3 นำน้ำกล้วยที่ได้มาปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช, pH) ด้วยกรดซิตริก (CA0311, TFAC, Thailand) ให้เท่ากับ 3.5 แล้วเติมโพลีเดกซ์โตรส (เพื่อเป็นใยอาหารให้กับผลิตภัณฑ์) ร้อยละ 5 (w/w) ของน้ำหนักกล้วยที่ได้ ทดแทนน้ำตาลในกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารด้วยพาลาทีนปริมาณร้อยละ 50 (w/w) ของน้ำหนักกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหาร นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จากนั้นเติมสารก่อเจลผสมที่ประกอบด้วยคาราจีแนน กลูโคแมนแนน และโลคัสทีนกันร้อยละ 0.20, 0.10 และ 0.10 (Kongbangkerd, Tassanudom, Sodjit, Chaiwat, & Khamluang, 2022) ตามลำดับของน้ำหนักกล้วยเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาทีนทดแทนน้ำตาลร้อยละ 50 แล้วให้ความร้อนต่อที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จนสารก่อเจลละลายอย่างสมบูรณ์ บรรจุในซองรีทอร์ทเพาซ์ (retort pouch) (แบบซีล 3 ด้าน มีฝาจุก ก้นตั้งได้ ขนาด 4×6 นิ้ว ความหนา 200 ไมครอน, บริษัท จิงโจ้แพคเกจจิ้ง จำกัด) ขนาดบรรจุต่อของปริมาตร 100 มิลลิลิตร วางตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) นาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้เซตตัว (Paranut Tassanudom, & Kongbangkerd, 2022)

2. การศึกษาสภาวะของการใช้ความดันสูงในการผลิตเยลลี่กล้วยเสริมใยอาหารการเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

นำเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* K12 ATCC 47076 และ *L. innocua* DMST 9001 จากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ประเทศไทย มาเพาะเลี้ยงในอาหาร trypticase soy broth (TSB: Merck, Germany) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 18-20 ชั่วโมง (early log phase) และตรวจนับจำนวนเชื้อเริ่มต้น (initial load) ด้วยอาหาร trypticase soy agar (TSA: Merck, Germany) โดยบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำหัวเชื้อมาทำให้เป็นสารแขวนลอยเซลล์ปรับความขุ่น (O.D.) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้ได้เท่ากับ 0.90 แล้วนำหัวเชื้อปริมาตร 10 มิลลิลิตร ไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเซลล์ออกด้วยความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จนได้ความเข้มข้นของเซลล์ประมาณ 10^8 CFU/ml เก็บส่วนเซลล์เพื่อใช้สร้างการปนเปื้อนเทียม (artificial inoculation) ในตัวอย่างเยลลี่ (Kongbangkerd, Tassanudom, Sodjit, Chaiwat, & Khamluang, 2022)

การฆ่าเชื้อเยลลี่กล้วยพร้อมเติมเสริมใยอาหารด้วยกระบวนการใช้ความดันสูง

นำหัวเชื้อจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์ (*E. coli* K12 ATCC 47076 และ *L. innocua* DMST 9001) เติมลงในเยลลี่ (ที่ผ่านกระบวนการเตรียมตามข้อ 1) นับจำนวนเชื้อเริ่มต้นโดยวิธี pour plate ด้วยอาหาร TSA จากนั้นนำเยลลี่ที่สร้างการปนเปื้อนเทียมมาผ่านการให้ความดันสูง โดยนำเยลลี่ที่บรรจุในซองรีทอร์ทเพาซ์ (retort pouch) แบบซีล 3 ด้าน มีฝาจุก ก้นตั้งได้ ขนาด 4×6 นิ้ว (10×15 เซนติเมตร) ความหนา 200 ไมครอน

ปริมาณ 100 มิลลิกรัม มาทำการฆ่าเชื้อโดยใช้ความดันสูงด้วยเครื่อง high pressure processing: (HPP: 600/3-5L, TSUS Febix Foodtech, Thailand) ที่ความดัน 400-600 เมกกะพาสคาล โดยใช้ น้ำอุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดัน ระยะเวลาในการให้ความดันที่ 5-10 นาที (ดัดแปลงจาก Marszałek, Woźniak, & Skąpska, 2016) เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง (เพื่อดูการเซตตัวของเจล) แล้วจึงนำมาตรวจนับจำนวนเชื้อ *E. coli* K12 และ *L. innocua* คัดเลือกสภาวะที่สามารถลดเชื้อก่อโรคทั้ง 2 ชนิด ได้มากที่สุด โดยอย่างน้อยต้องสามารถลดเชื้อได้ 5 log CFUs ตามเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ ที่ให้ใช้กระบวนการพาสเจอร์ไรซ์ด้วยการใช้ความดันสูง (Food and Drug Administration, 2019)

3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารระหว่างการเก็บรักษา

ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร เป็นระยะเวลานาน 3 เดือน โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มตัวอย่างในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21, 30, 40, 50, 60, 75 และ 90 วัน นำมาวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* , b^* , C^* และ h) ด้วยเครื่อง hunter lab (Colorflex®, Hunter Association Laboratory, USA) ค่าวอเตอร์-แอกติวิตี (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่า water activity (Series 3TE, Aqua lab, Charpa Techcenter, USA) ค่าการแยกตัวของน้ำ (Banerjee, & Bhattacharya, 2011) ความแข็งของเจล และความคงตัวของเจลด้วยเครื่อง texture analyzer (TA.XT.Plus, Stable Micro Systems, England) ใช้หัววัด SMS P/6 (Chewy confectionery

item) และหัววัด SMS P/36R (Gummy confectionery item) ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids: TSS) ด้วยเครื่อง hand refractometer (2373-E04, ATAGO, Japan) และค่าพีเอช ด้วยเครื่อง pH meter (PB-10, Sartorius Scientific, Germany) (AOAC, 2019) จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อยีสต์และรา (APHA, 2001)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design: CRD) นำจำนวนจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตและค่า log reduction มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Tukey's range test (Tukey-Kramer) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลการศึกษา

1. การเตรียมเยลลี่กล้วยเสริมใยอาหาร

เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาติน ทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 ที่เติมคาราจีแนน กลูโคแมนแนน และโกลิโคสปีนก็มร้อยละ 0.20, 0.10 และ 0.10 ซึ่งใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการศึกษาการสลายการปนเปื้อนเทียม การฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการใช้ความดันสูง และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา มีคุณลักษณะ ดัง (Table 1)

2. การศึกษาสภาวะของการใช้ความดันสูงในการผลิตเยลลี่กล้วยเสริมใยอาหาร

ในส่วนของการศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารที่ใช้พาลาติน

ทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 เริ่มต้นจากการสร้างการปนเปื้อนเทียม โดยนำ cell suspension เข้มข้นที่เตรียมได้ปริมาณ 10 มิลลิลิตร (โดยพบว่าปริมาณเชื้อเริ่มต้นของ *E. coli* K12 และ *L. innocua* มีจำนวนเท่ากับ 9.80 และ 10 log CFU/ml ตามลำดับ) เติมนลงในเยลลี่ปริมาณ 90 มิลลิลิตร ที่บรรจุอยู่ในซองแพคเกจพร้อมฝา (spout pouch) แบบซีล 3 ด้าน มีฝาจุกกันตั้งได้ ขนาด 10×15 เซนติเมตร ปริมาตรบรรจุ 100 มิลลิลิตร โดยต้องใส่เชื้อลงในเยลลี่ ขณะมีอุณหภูมิไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส แล้วผสมให้เข้ากัน

(เขย่าขึ้นลง 10 ครั้ง และซ้ายขวา 10 ครั้ง) โดยจากการตรวจสอบ *E. coli* K12 และ *L. innocua* เริ่มต้นในเยลลี่กล้วย พบว่ามีเชื้อมีค่าเฉลี่ยจำนวนเท่ากับ 8.05 และ 8.14 log CFU/g จากนั้นจึงนำเยลลี่ที่สร้างการปนเปื้อนเทียม มาผ่านกระบวนการให้ความดันสูงที่ 400, 500 และ 600 เมกะพาสคาล โดยใช้น้ำ (อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) เป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดันระยะเวลาในการคงความดันไว้ที่ 300 และ 600 วินาที รวมจำนวนสภาวะที่ใช้ในการศึกษาทั้งสิ้น 6 สภาวะ ดัง (Table 2)

Table 1 General characteristics of banana jelly supplemented with dietary fiber.

sample	parameters				
	pH	TSS (°Brix)	syneresis (%)	hardness (N)	consistency (%)
banana jelly supplemented with dietary fiber	3.80±0.05	12.00±0.00	3.08±0.02	36.23±0.05	30.03±0.06

note: results were expressed as mean values ± standard deviation.

Table 2 Pasteurization of banana jelly supplemented with dietary fiber under high-pressure processing conditions (400–600 MPa).

condition	pressure (MPa)	pasteurization time (sec)	come-up-time (sec)	processed time (sec)	pressure medium temp. (°C)
1	400	300	47	383	29
2	400	600	61	683	29
3	500	300	51	390	30
4	500	600	64	686	30
5	600	300	56	400	31
6	600	600	72	710	31

ผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับความดันเดียวกัน แต่ระยะเวลาการให้ความดันต่างกัน (300 และ 600 วินาที) มีปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังให้ความดัน และค่า log

reduction ของเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ แตกต่างกัน โดยระยะเวลาการให้ความดันที่นานกว่า (600 วินาที) จะให้ค่า log reduction ที่มีค่าสูงกว่า (ลดเชื้อลงได้มากกว่า)

ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 ระดับความดัน คือ 400, 500 และ 600 เมกกะพาสคาล ในกรณีของ *E. coli* K12 (เชื้อเริ่มต้น $8.05 \log \text{CFU/g}$) ที่ระยะเวลาการให้ความดันนาน 300 วินาที พบปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังให้ความดัน คือ 4.87, 4.76 และ $4.55 \log \text{CFU/g}$ ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่า log reduction อยู่ที่ 3.18, 3.30 และ 3.51 ตามลำดับ ในขณะที่การให้ความดัน 400, 500 และ 600 เมกกะพาสคาล ระยะเวลา 600 วินาที ที่ปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากัน พบปริมาณเชื้อ *E. coli* K12 ที่รอดชีวิตหลังฆ่าเชื้อ คือ 4.82, 4.72 และ 4.29 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีค่า log reduction

อยู่ที่ 3.24, 3.33 และ 3.78 ตามลำดับ (Table 3) ส่วนในกรณีของ *L. innocua* (Table 4) ที่สภาวะการให้ความดันเดียวกัน พบปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตหลังให้ความดันน้อยกว่า *E. coli* K12 คือมีค่า log reduction ที่สูงกว่นั้นเอง โดยจากปริมาณเชื้อ *L. innocua* เริ่มต้น $8.14 \log \text{CFU/g}$ หลังผ่านการให้ความดัน 400, 500 และ 600 เมกกะพาสคาล ระยะเวลา 300 วินาที จะมีค่า log reduction อยู่ที่ 4.46, 4.97 และ 5.27 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความดันเป็น 600 วินาที ค่า log reduction จะเพิ่มเป็น 4.75, 5.07 และ 5.40 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Table 3 Survival and log reduction of artificially inoculated *E. coli* K12 in banana jelly supplemented with dietary fiber under various high-pressure processing conditions.

pressure (MPa)	initial load (log CFU/g)	survival after HPP treatment (log CFU/g)		log reduction	
		300 sec	600 sec	300 sec	600 sec
400	8.05 ± 0.07	4.87 ± 0.02	$4.82^a \pm 0.00$	3.18 ± 0.04	$3.24^b \pm 0.08$
500	8.05 ± 0.07	4.76 ± 0.01	$4.72^a \pm 0.00$	3.30 ± 0.06	$3.33^b \pm 0.07$
600	8.05 ± 0.07	4.55 ± 0.03	$4.29^b \pm 0.05$	3.51 ± 0.06	$3.78^a \pm 0.05$

note: results were expressed as mean values $\pm$ standard deviation.

different letters within the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 4 Survival and log reduction of artificially inoculated *L. innocua* in banana jelly supplemented with dietary fiber under various high-pressure processing conditions.

pressure (MPa)	initial load (log CFU/g)	survival after HPP treatment (log CFU/g)		log reduction	
		300 sec	600 sec	300 sec	600 sec
400	8.14 ± 0.01	$3.49^a \pm 0.03$	$3.39^a \pm 0.01$	$4.46^b \pm 0.04$	$4.75^b \pm 0.00$
500	8.14 ± 0.01	$3.17^{ab} \pm 0.03$	$3.07^{ab} \pm 0.07$	$4.97^{ab} \pm 0.04$	$5.07^{ab} \pm 0.06$
600	8.14 ± 0.01	$2.87^b \pm 0.08$	$2.74^b \pm 0.06$	$5.27^a \pm 0.08$	$5.40^a \pm 0.05$

note: results were expressed as mean values $\pm$ standard deviation.

different letters within the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 สายพันธุ์ หลังผ่านกระบวนการให้ความดัน พบว่าที่ความดัน 400, 500 และ 600 เมกกะพาสคาล ระยะเวลา 300 และ 600 วินาที ยังไม่สามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 ลงได้ ตามเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ใช้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ด้วยการใช้ความดันสูงที่ระบุว่าสภาวะที่ใช้จะต้องสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคอ้างอิงได้ไม่น้อยกว่า 5 log CFUs (5 log reduction) ในขณะที่ความดัน 500 และ 600 เมกกะพาสคาล ระยะเวลา 600 วินาที จะสามารถลดเชื้อ *L. innocua* ลงได้ถึง 5.07 และ 5.40 log CFU/g ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการศึกษาจึงสรุปได้ว่า การให้ความดันที่ 600 เมกกะพาสคาล เป็นสภาวะที่มีแนวโน้มในการลดเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 สายพันธุ์ ลงได้ตามเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ใช้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ด้วยการใช้

ความดันสูง แต่ยังจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของคุณสมบัติตัวกลางส่งผ่านความดัน (น้ำ) และระยะเวลาการให้ความดันที่จะสามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 และ *L. innocua* ลง ให้ได้มากกว่ากว่า 5 log CFUs โดยใช้ น้ำที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นตัวกลางส่งผ่านความดัน (pressure medium) ใช้ระยะเวลาในช่วง 600-1,800 วินาที ตามลำดับ (Table 5) เพื่อคัดเลือกสภาวะที่สามารถลดเชื้อก่อโรคทั้ง 2 ชนิด ได้มากที่สุด โดยอย่างน้อยต้องสามารถลดเชื้อได้ 5 log reduction ตามเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ใช้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ด้วยการใช้ความดันสูง (Food and Drug Administration, 2019) ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิของ pressure medium และระยะเวลาการให้ความดัน จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้มากขึ้น (Erkmen, & Bozoglu, 2016; Chang, Wu, Chen, Huang, & Wang, 2017)

Table 5 High-pressure processing conditions (600 MPa) for pasteurizing banana jelly supplemented with dietary fiber using various medium temperatures.

condition	pressure (MPa)	pasteurization time (sec)	come-up-time (sec)	processed time (sec)	pressure medium temp. (°C)
1	600	600	51	11.50	35
2	600	900	66	16.73	35
3	600	1,200	60	21.60	35
4	600	1,500	67	26.48	35
5	600	1,800	66	31.47	35
6	600	600	58	11.62	40
7	600	900	64	16.70	40
8	600	1,200	59	21.58	40
9	600	1,500	60	26.37	40
10	600	1,800	65	31.45	40

ผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับความดัน 600 เมกกะพาสคาล แต่ใช้อุณหภูมิตัวกลางส่งผ่านความดัน (น้ำ) และระยะเวลาการให้ความดันที่แตกต่างกันนั้น จะทำให้ค่า log reduction ของ *E. coli* K12 เพิ่มขึ้น (ลดเชื้อลงได้มากขึ้น) ตามอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ โดยการใช้น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความดันนาน 600, 900, 1,200, 1,500, และ 1,800 วินาที พบว่าค่า log reduction ของ *E. coli* K12 จะมีค่าเท่ากับ 4.39, 5.66, 5.99, 6.19 และ 6.43 ตามลำดับ จากปริมาณเชื้อเริ่มต้น 8.05 log CFU/g ในขณะที่การใช้น้ำที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะสามารถลดเชื้อ *E. coli* K12 ได้มากกว่าการใช้น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยพบว่ามีค่า log reduction เพิ่มขึ้นเป็น 5.78, 6.15, 6.46, 6.69 และ 6.58 เมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความดันนาน 600, 900, 1,200, 1,500 และ 1,800 วินาที ตามลำดับ ดัง (Figure 1)

ส่วนในกรณีของเชื้อ *L. innocua* ที่ระดับความดัน 600 เมกกะพาสคาล ในสภาวะของอุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความดันเดียวกัน จะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเชื้อ *L. innocua* ได้ดีกว่าเชื้อ *E. coli* K12 โดยการใช้น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความดันนาน 600, 900, 1,200, 1,500 และ 1,800 วินาที พบว่าค่า log reduction ของ *L. innocua* จะมีค่าเท่ากับ 5.86, 6.34, 6.39, 7.23 และ 8.27 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความดันนาน 1,800 วินาที จะสามารถทำลายเชื้อ *L. innocua* ได้ทั้งหมด (8.05 log CFU/g) ไม่พบเชื้อดังกล่าวที่รอดชีวิตในตัวอย่าง

ในขณะที่ หากเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ใช้เป็น เป็นที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ค่า log reduction เพิ่มขึ้นเป็น 6.72, 8.27, 8.27, 8.27 และ 8.27 ตามลำดับ โดยหลังการให้ความดันนาน 600 วินาที จะพบปริมาณเชื้อที่รอดชีวิตเพียง 1.56 log CFU/g และพบว่าการเพิ่มระยะเวลาการให้ความดันนาน 900, 1,200, 1,500 และ 1,800 วินาที จะสามารถทำลายเชื้อดังกล่าวได้ทั้งหมด โดยไม่พบเชื้อ *L. innocua* ที่รอดชีวิตในตัวอย่าง ดัง (Figure 2) ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ความดันสูงในการผลิตเยลลี่กล้วยเสริมใยอาหาร คือ การใช้ความดันสูง 600 เมกกะพาสคาล ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 600 วินาที

3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเยลลี่กล้วยพร้อมเติมเสริมใยอาหารระหว่างการเก็บรักษา

ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยพร้อมเติมเสริมใยอาหาร ที่ผ่านกระบวนการใช้ความดันสูง 600 เมกกะพาสคาล ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 600 วินาที เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 90 วัน มีแนวโน้มของค่าสี (L^* , a^* , b^* , C^* และ h) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และค่าพีเอชคงที่ ในขณะที่ค่า ΔE ค่าการแยกตัวของน้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ค่าความแข็งของเจล และความคงตัวของเจลมีแนวโน้มลดลง และไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อยีสต์และรา ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 90 วัน ดัง (Figure 3(A-I))

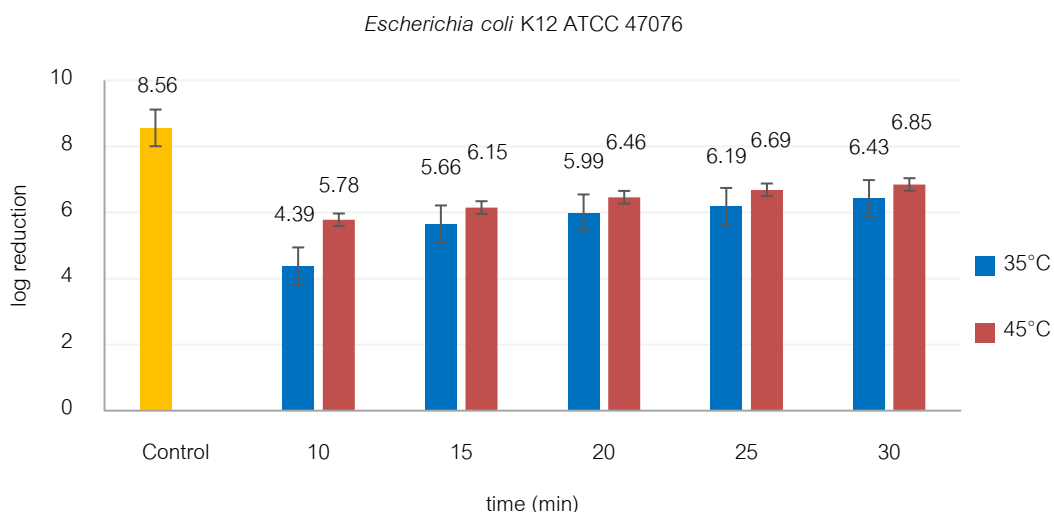


Figure 1 Log reduction of artificially inoculated *E. coli* K12 ATCC 47076 in banana jelly supplemented with dietary fiber through high-pressure processing at 35 and 45°C.

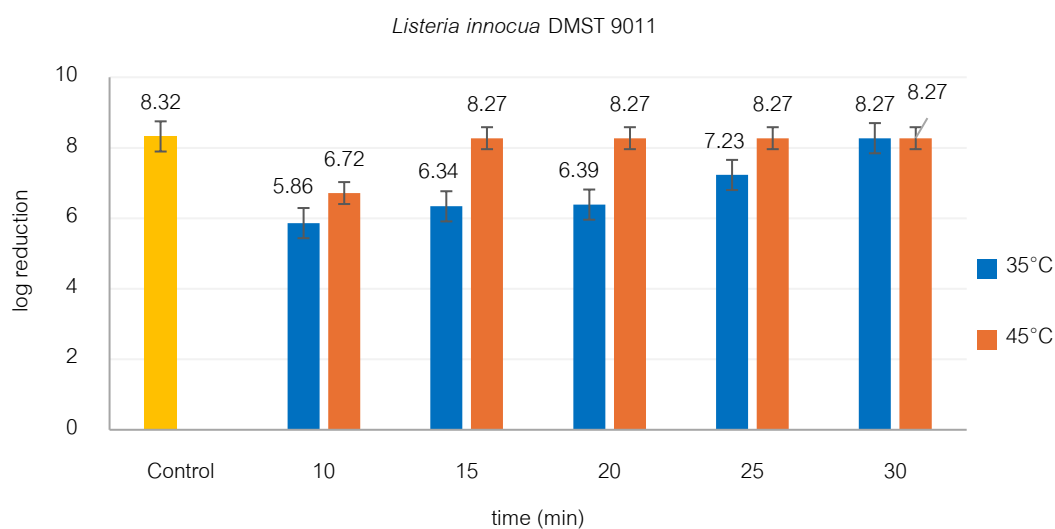
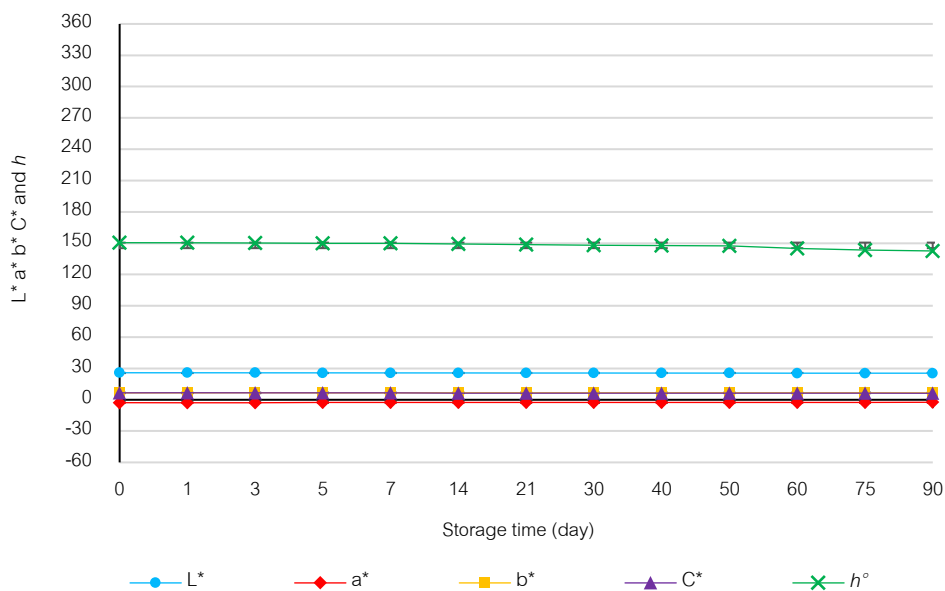
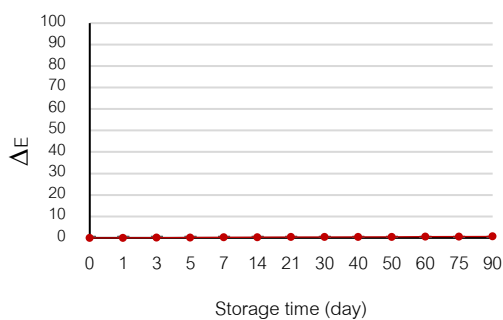


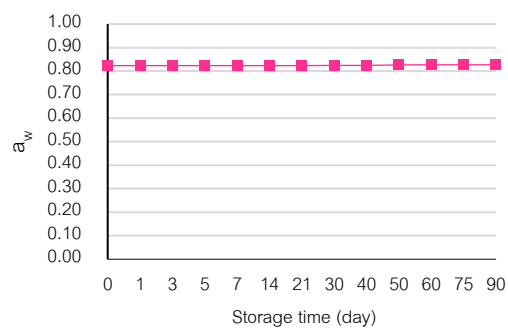
Figure 2 Log reduction of artificially inoculated *L. innocua* DMST 9011 in banana jelly supplemented with dietary fiber through high-pressure processing at 35 and 45°C.



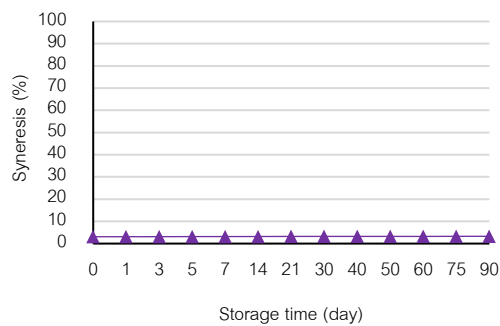
(A)



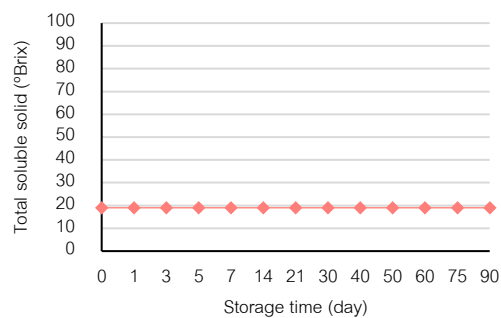
(B)



(C)



(D)



(E)

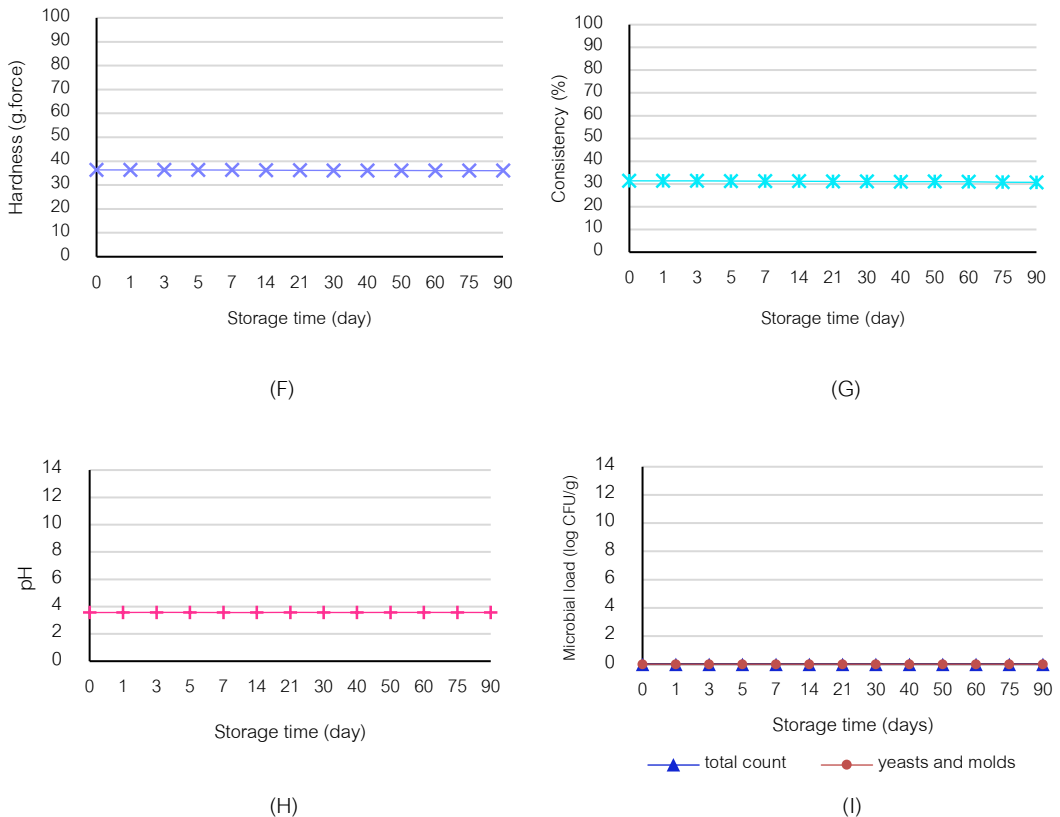


Figure 3 Quality changes in banana jelly supplemented with dietary fiber (600 MPa/45°C pressure medium/10 min) during 3 months of storage at 4°C: (A) color value, (B) ΔE value, (C) a_w value, (D) syneresis, (E) TSS, (F) pH, (G) hardness, (H) consistency and (I) total count and yeasts and molds.

อภิปรายผล

ชนิดและปริมาณของสารก่อเจลที่นำมาใช้ได้แก่ คาราจีแนน โคลด์สปริงกัม และแซนแทนกัม มีผลต่อความแข็ง ความยืดหยุ่น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี การขับน้ำออกจากเจล และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ คาราจีแนนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นชนิดแคปปา-คาราจีแนน (K-carrageenan) สามารถละลายได้ดีในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยเมื่อละลายน้ำจะมีโครงสร้าง random coil และเมื่อเย็นตัวลงจะ

เกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โพลีเมอร์แต่ละสายจะรวมตัวเข้ามาใกล้กัน มีกลไกการเกิดเป็น double helix carrageenan polymers และเกิดเป็น junction point ซึ่งเมื่อเกาะรวมกันมากขึ้นจะทำให้เกิดการแข็งตัวเป็นเจล โดยลักษณะของเจลจะแข็งเปราะและเป็นแบบ thermoreversible aqueous gel คือ สามารถที่จะละลายเมื่อได้รับความร้อนและเกิดเจลอีกครั้งเมื่อเย็นตัวลง (Phoonphun, 2004) ในขณะที่โคลด์สปริงกัมซึ่งนำมาใช้เป็นส่วนผสมของสารก่อเจลในการศึกษาครั้งนี้ จะทำ

หน้าที่เพิ่มความหนืด และความคงตัวให้กับเจล และช่วยยับยั้งการเกิดซินเนอริซิส แต่อย่างไรก็ตาม โลคัส-ปินกัมไม่สามารถเกิดเจลได้ต้องนำมาผสมร่วมกับคาราจีแนนหรือแซนแทนกัมจึงจะทำให้เกิดเจลได้ดี และจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจล (gel strength) (Rattanapanont, 2002) ดังนั้นการใช้โลคัส-ปินกัมร่วมกับแคปปา-คาราจีแนนจะช่วยเสริมให้มี gel strength เพิ่มขึ้น ทำให้ลักษณะเนื้อเจลจากที่เปราะและแตกง่าย (กว่าการใช้คาราจีแนนเพียงอย่างเดียว) เป็นเจลที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและลดการเกิดซินเนอริซิส (Treinthong, Raksakulthai, & Runglerdkriangkrai, 2016) อย่างไรก็ตาม โลคัส-ปินกัมไม่สามารถละลายในน้ำเย็น จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลาย โดยจะให้สารละลายที่มีความหนืดสูงที่สุดเมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 95 องศาเซลเซียส (Rattanapanont, 2002) ดังนั้นการนำกลูโคแมนแนนและโลคัส-ปินกัมมาผสมในสารก่อกำเนิดเจลจึงสามารถช่วยเพิ่มความคงตัวของเจลของผลิตภัณฑ์ได้ ทั้งนี้ชนิดและปริมาณสารก่อกำเนิดที่ใช้ในผลิตภัณฑ์กลุ่มเจลลี่ จะให้เนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารนี้เป็นเยลลี่อ่อนซึ่งมีค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 36.23 ± 0.05 นิวตัน (N) จะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งแรงน้อยกว่า และแตกต่างจากเยลลี่กัมมี่ที่มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างเหนียว ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติของเจลาตินที่ใช้ในการผลิต โดยหลังการละลายและลดอุณหภูมิจะเกิดการสร้างโครงข่าย ส่งผลให้เจลมีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งผลการศึกษาของ Pajareon, Liaotrakoon, & Tarawood (2022) ในกรณีของเยลลี่โหระพา (เยลลี่กัมมี่) พบว่าการใช้ปริมาณเจลาตินร้อยละ 7.50 ร่วมกับสารสกัดจากโหระพาร้อยละ 15 จะทำให้เยลลี่โหระพามีค่าความแข็งแรงที่ 293.77 ± 7.82

นิวตัน และผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด นอกจากนี้ ผลการศึกษาของ Hiran-akkharawong, & Panyathitipong (2015) ในกระบวนการผลิตวุ้นกรอบจากน้ำตาลมะพร้าว โดยใช้ผงวุ้นร้อยละ 1.75 หลังผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 17 ชั่วโมง พบว่าค่าความแข็งแรงของวุ้นกรอบจากน้ำตาลมะพร้าวที่ได้ มีค่าเท่ากับ 6922.85 ± 548.28 กรัมแรง (g.force)

ชนิดและปริมาณสารก่อกำเนิดที่เหมาะสม (คาราจีแนนร้อยละ 0.2 กลูโคแมนแนนร้อยละ 0.10 และโลคัส-ปินกัมร้อยละ 0.1) ของปริมาณส่วนผสมน้ำกล้วยน้ำว้าเสริมใยอาหารที่ใช้พาราตินทดแทนน้ำตาลทรายร้อยละ 50 (w/w) โดยจากการเปรียบเทียบคุณลักษณะกับเยลลี่คาราจีแนนพร้อมดื่มที่มีจำหน่ายทางการค้า (ยี่ห้อ A) โดยพบว่ามีค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}$ Brix) ความแข็งแรง (N) และความยืดหยุ่น (%) ของเจลคือ 3.82 ± 0.02 , 11.30 ± 0.07 , 36.26 ± 1.19 และ 33.01 ± 0.48 ใกล้เคียงกับเยลลี่ที่ทำการศึกษาที่มีค่าอยู่ที่ 3.80 ± 0.05 , 12.00 ± 0.00 , 36.23 ± 0.05 และ 30.03 ± 0.06 ตามลำดับ (data not show) โดยชนิดและปริมาณของสารก่อกำเนิดดังกล่าว จะทำให้ความสามารถในการกักน้ำในโครงสร้างของเจลได้มากขึ้น เนื่องจากทำให้พันธะคู่ที่เกิดขึ้นในระบบมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้โครงข่ายตาข่ายของเจลมีความแข็งแรง และมีความคงตัวมากขึ้น (Na Ayutthaya, & Putduang, 2016) เจลที่มีความแข็งแรงสูงจะสามารถกักเก็บน้ำไว้ในเจลได้ดี จึงทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำน้อยลงส่งผลให้การขับน้ำออกจากเจล (% syneresis) ลดลงตามลำดับ โดยรายงานผลการวิจัยของ Na Ayutthaya & Putduang (2016) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารที่ทำให้เกิดเจล (คาราจีแนน และกลูโค-

แมนแนนในอัตราส่วน 9:1) จะส่งผลให้ค่าการแยกตัวของน้ำลดลง โดยมีค่าดังกล่าวเท่ากับร้อยละ 2.20, 1.71 และ 1.06 เมื่อใช้ปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจลเป็นร้อยละ 0.8, 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ ในผลิตภัณฑ์เยลลี่ธัญพืช นอกจากนี้ สภาวะในการฆ่าเชื้อโดยกระบวนการใช้ความดันสูง 600 เมกกะพาสกาล ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 600 วินาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร เนื่องจากเป็นสภาวะที่สามารถลดเชื้อก่อโรคทั้ง 2 ชนิด คือ *E. coli* K12 และ *L. innocua* ได้อย่างน้อย 5 log reduction ตามเกณฑ์ทั่วไปและขอบเขตผลิตภัณฑ์ที่ใช้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ด้วยการใช้ความดันสูง (Food and Drug Administration, 2019) ผลของระดับความดันและระยะเวลาการให้ความดัน (holding time) ที่แตกต่างกันในการศึกษาครั้งนี้ จะส่งผลต่อการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด เนื่องจาก *E. coli* K12 และ *L. innocua* มีผนังเซลล์ที่แตกต่างกัน โดย *E. coli* K12 ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ จะมีผนังเซลล์หลายชั้นที่ประกอบไปด้วย outer membrane, lipoprotein และ peptidoglycan ในขณะที่ *L. innocua* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก ผนังเซลล์จะมีชั้นเดียวและเป็นส่วนประกอบของ peptidoglycan เพียงเท่านั้น จึงทำให้ทนต่อแรงดันสูงได้น้อยกว่า *E. coli* K12 ที่มีผนังเซลล์หลายชั้น (Erkmen, & Bozoglu, 2016) การเพิ่มระยะเวลา และอุณหภูมิของน้ำที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความดันส่งผลต่อการลดลงของ *E. coli* K12 และ *L. innocua* เนื่องจากในตัวอย่างอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันขึ้นทันที และสม่ำเสมอโดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอาหาร (isostatic pressure) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความดันที่

เกิดขึ้นนี้จะไปยังยังเอนไซม์หรือทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Erkmen, & Bozoglu, 2016; Deng et al., 2021; Roobab et al., 2023) ความดันสูงจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการตายของจุลินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์ได้รับความดันที่สูงขึ้น จะส่งผลให้เซลล์เมมเบรนถูกทำลาย เกิดการรั่วไหลของสารจากภายในและภายนอกเซลล์สารพันธุกรรมต่าง ๆ เช่น ไรโบโซม กรดนิวคลีอิก สังเคราะห์ได้ไม่สมบูรณ์และถูกทำลาย เซลล์จุลินทรีย์จึงไม่สามารถทำงานได้และตายในที่สุด แบคทีเรียแกรมลบ ยีสต์ และแบคทีเรียแกรมบวก (ความดัน 300 เมกกะพาสกาล ที่อุณหภูมิห้อง) สามารถถูกทำลายด้วยความดันจากง่ายไปยากตามลำดับ ส่วนสปอร์ของจุลินทรีย์ในสภาวะที่ความดันในระดับต่ำ จะกระตุ้นการงอกของสปอร์ ซึ่งอาจต้องใช้ความดันในระดับสูง (ความดันมากกว่า 600 เมกกะพาสกาล) ร่วมกับอุณหภูมิสูง (50-70 องศาเซลเซียส) จึงสามารถทำลายสปอร์ได้ (Theparunrat, 2003) การแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง เป็นเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารที่ไม่ใช้ความร้อน แต่ใช้ความดันในระดับที่สูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย จุลินทรีย์ก่อโรคและเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ โดยไม่ทำลายรสชาติและความสดของอาหาร ถือว่าเป็นการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการพาสเจอร์ไรส์แบบเย็น (cold pasteurization) หลักการทำงานของกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง เป็นการนำอาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่น นำมาผ่านความดันสูงประมาณ 100-900 เมกกะพาสกาล ที่อุณหภูมิห้อง (APEC, 2017) อาหารจะได้รับความดันผ่านตัวกลางอย่างสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด ตัวกลางที่

นิยมใช้ได้แก่ น้ำ หรือของเหลวอื่น ๆ เช่น กลีเซอรอล เมื่อความดันเพิ่มขึ้นทุก ๆ 100 เมกกะพาสคาล อุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มขึ้นประมาณ 3 องศาเซลเซียส และจะลดลงทันทีที่ลดความดันลงจนถึงความดันบรรยากาศปกติ โดยใช้เวลาในการผลิตเพียง 2-30 นาที (Theparunrat, 2003) ทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์ในอาหารถูกทำลาย อาหารจึงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น และยังคงคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสที่ดีอยู่

ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 เดือน ผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความแตกต่างรวมของค่าสีทั้งหมด (เดลต้าอี: ΔE) ในช่วง 0-0.64 เท่านั้น ทำให้ผู้บริโภคไม่สามารถแยกการเปลี่ยนแปลงของสีได้ ซึ่งโดยปกติแล้วค่า ΔE หากมีค่ามากกว่า 3.50 แต่น้อยกว่า 5 ผู้ทดสอบที่ไม่มีประสบการณ์ จะสามารถแยกความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า (Mokrzycki, & Tatol, 2012) อีกทั้งไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และราในตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ผลการศึกษานี้จึงแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายจริงเชิงพาณิชย์ จากสภาวะในการฆ่าเชื้อโดยกระบวนการใช้ความดันสูง 600 เมกกะพาสคาล ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 600 วินาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร

สรุป

สภาวะในการฆ่าเชื้อโดยกระบวนการใช้ความดันสูง 600 เมกกะพาสคาล ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 600 วินาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม

สำหรับการฆ่าเชื้อเยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหาร โดยสามารถลดเชื้อก่อโรคทั้ง 2 ชนิด คือ *E. coli* K12 และ *L. innocua* ได้มากกว่า 5 log reduction ทั้งนี้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่กล้วยพร้อมดื่มเสริมใยอาหารเพียงเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มของค่าสี ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าพีเอชคงที่ ในขณะที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม (ΔE) ค่าการแยกตัวของน้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ค่าความแข็งของเจล และความคงตัวของเจลมีแนวโน้มลดลง และไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อยีสต์และรา ในตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 3 เดือน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการการพัฒนากลุ่มผลิตภัณฑ์ innovative house ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และบริษัท เนเจอร์ มี โภเภสัช จำกัด ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Almeida, F. D. L., Gomes, W. F., Cavalcante, R. S., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Frias, J. M., Bourke, P., Fernandes, F. A. N., & Rodrigues, S. (2017). Fructooligosaccharides integrity after atmospheric cold plasma and high-pressure processing of a functional orange juice. *Food Research International*, 102, 282-290.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2019). *Official method of analytical* (21st ed.). Gaithersburg Maryland: AOAC International.

- Asia Pacific Economic Cooperation (APEC). (2017). *High pressure processing*. National Science Technology and Innovation Policy Office. Retrieved 20 February 2023, from <http://www.sti.or.th/sti/article.php>
- American Public Health Association (APHA). (2001). *Compendium of methods for the microbiological examination of foods* (4th ed.). In F. P. Downes, & K. A. Ito (Eds.), Washington D.C.: American Public Health Association.
- Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Naes, T., & Varela, P. (2017). Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International*, 99, 58-71.
- Banerjee, S., & Bhattacharya, S. (2011). Compressive textural attributes, opacity and syneresis of gels prepared from gellan, agar and their mixtures. *Journal of Food Engineering*, 102, 287-292.
- Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frigola, A. (2012). High pressure treatment effect on physicochemical and nutritional properties of fluid foods during storage: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(3), 307-322.
- Chang, Y., Wu, H. S., Chen, B., Huang, H., & Wang, C. (2017). Effect of high-pressure processing and thermal pasteurization on overall quality parameters of white grape juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 3166-3172.
- Chen, X., Li, P. J., Nishiumi, T., Takumi, H., Suzuki, A., & Chen, C. (2014). Effects of high-pressure processing on the cooking loss and gel strength of chicken breast actomyosin containing sodium alginate. *Food and Bioprocess Technology*, 7(12), 3608-3617.
- Chuang, S., & Sheen, S. (2022). High-pressure processing of raw meat with essential oils-microbial survival, meat quality, and models: A review. *Food Control*, 132, 108529.
- Deng, Z., Pan, Y., Chen, W., Yu, Y., Zhong, Q., Zhang, W., & Chen, H. (2021). Effects of cultivar and growth region on the structural, emulsifying and rheological characteristic of mango peel pectin. *Food Hydrocolloids*, 103, 105707.
- Erkmen, O., & Bozoglu, T. F. (2016). *Food microbiology principles into practice, volume 2: Microorganisms in food preservation and processing*. UK: John Wiley & Son.
- Food and Drug Administration. (2019). *General criteria and product scope for use of high-pressure pasteurization (high-pressure processing (HPP))*. Bangkok: Ministry of Public Health. (in Thai)
- Gao, G., Ren, P., Cao, X., Yan, B., Liao, X., Sun, Z., & Wang, Y. (2016). Comparing quality changes of cupped strawberry treated by high hydrostatic pressure and thermal processing during storage. *Food and Bioprocess Technology*, 100, 221-229.
- Hiran-akkharawong, I., & Panyathitipong, W. (2015). Utilization of fresh coconut syrup in crispy jelly product. *RMUTSB Academic Journal*, 3(2), 109-119. (in Thai)
- Keenan, D. F., Brunton, N. P., Gormley, T. R., Butler, F., Tiwari, B. K., & Patras, A. (2010). Effect of thermal and high hydrostatic pressure processing on antioxidant activity and color of fruit smoothies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(4), 551-556.
- Kongbangkerd, T., Tassanudom, U., Sodjit, J., Chaiwat, P., & Khamluang, S. (2022). *The optimum condition of high pressure processing for the production*

- of ready-to-eat banana jelly with dietary fiber supplement (research report). Phitsanulok: Naresuan University. (in Thai)
- Marszałek, K., Woźniak, Ł., & Skąpska, S. (2016). The application of high pressure–mild temperature processing for prolonging the shelf-life of strawberry purée. *High Pressure Research*, 36(2), 220-234.
- Mokrzycki, W. S., & Tatol, M. (2012). *Color difference Delta E-A survey*. Poland: Machine Graphic & Vision.
- Mukhopadhyay, S., Sokorai, K., Ukuku, D., Fan, X., & Juneja, V. (2017). Effect of high hydrostatic pressure processing on the background microbial loads and quality of cantaloupe puree. *Food Research International*, 91, 55-62.
- Na Ayutthaya, K. T., & Putduang, N. (2016). The product development of healthy cereal jelly. *Journal of Food Technology, Siam University*, 11(1), 13-20. (in Thai)
- Nayak, B., Liu, R. H., & Tang, J. (2013). Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 887-918.
- Pajareon, S., Liaotrakoon, W., & Tarawood, V. (2022). Utilization of fresh coconut syrup in crispy jelly product. *RMUTSB Academic Journal*, 3(2), 109-119. (in Thai)
- Paranut, T., Tassanaudom, U., & Kongbangkerd, T. (2022). Product development of banana drinking jelly fortified dietary fiber using palatine as sugar–substitute sweeteners. *National Academic Conference The 18th Naresuan Research and Innovation Conference* (pp. 206-218). Phitsanulok: Research and Innovation Division Naresuan University. (in Thai)
- Pei, L., Li, J., Xu, Z., Chen, N., Wu, X., & Chen, L. (2019). Effect of high hydrostatic pressure on aroma components, amino acids, and fatty acids of Hami melon (*Cucumis melo* L var. *reticulatus* naud.) juice. *Food Science and Nutrition*, 8(3), 1394-1405.
- Phoonphun, P. (2004). *Effect of gelling agents on quality attributes of strawberry flavoured milk jelly drink* (Master's thesis). Silpakorn University, Nakhon Pathom. (in Thai)
- Pradthanaprean, M. (2019). *HPP the future food processing technology (HPP: high pressure processing)*. Retrieved 25 February 2023, from https://www.nfi.or.th/datas/files/June2019_HPP.pdf (in Thai)
- Ratpitaksanti, W. (2022). *High pressure food processing (HPP–high pressure processing)*. Retrieved 25 February 2023, from http://www.kufirst.center.ku.ac.th/fstku_hpp2022/ (in Thai)
- Rattanapanont, N. (2002). *Food chemistry*. Bangkok: Odeon store. (in Thai)
- Roobab, U., Raheem, M. I. U., Khan, A. W., Arshad, R. N., Zeng, X. A., & Aadil, R. M. (2023). Innovations in high-pressure technologies for the development of clean label dairy products: A review. *Food Reviews International*, 39(2), 970-991.
- Theparunrat, S. (2003). High pressure processing. *Department of Science Service Ministry of Higher Education, Science. Research and Innovation*, 51(163), 21-25. (in Thai)
- Treinthong, J., Raksakulthai, N., & Runglerdkriangkrai, J. (2016). Influence of carrageenan extracted from *Solieria robusta* on gel properties of freshwater

fish gel. *RMUTTO Research Journal*, 9(2), 1-12.

(in Thai)

Zhang, S., Zheng, C., Zeng, Y., Zheng, Z., Yao, X., Zhao, Y., & Jiang, Z. (2021). Mechanism of color change of carambola puree by high-pressure processing and its effect on flavor and physicochemical properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(11), 5853-5860.

Zhang, Z., Yang, Y., Tang, X., Chen, Y., & You, Y. (2015). Chemical forces and water holding capacity study of nanosized okara dietary fiber on gelation properties of silver carp surimi heat-induced myofibrillar protein gel as affected by high pressure. *Food Chemistry*, 188(12), 111-118.

Zou, H., Lin, T., Bi, X., Zhao, L., Wang, Y., & Liao, X. (2015). Comparison of high hydrostatic pressure, high-pressure carbon dioxide and high-temperature short-time processing on quality of mulberry juice. *Food and Bioprocess Technology*, 9(2), 217-231.