

■ Research Article



ผลของการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมี ของสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ด

Effect of high-pressure process on physical and chemical properties of Doi-Saket purple rice extract

สุวิวรรณ ราชสม¹, พรสวรรค์ สมบัติบัณฑิต¹, จรรยาพรรณ ตันท์เจริญรัตน์ วุฒิจำนงค์¹, พฤทธิ เนตรสว่าง^{2*} และนิพัทธวรรณ ไชยะนันท์³

¹ วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 128 ถ.ห้วยแก้ว, ต.สุเทพ, อ.เมืองเชียงใหม่, จ.เชียงใหม่, 50300

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 128 ถ.ห้วยแก้ว, ต.สุเทพ, อ.เมืองเชียงใหม่, จ.เชียงใหม่, 50300

³ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 110 ถ.อินทวงโรส ซ.2, ต.สุเทพ, อ.เมืองเชียงใหม่, จ.เชียงใหม่, 50200

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหารด้วยความดันสูง (High pressure processing, HPP) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดเพื่อที่จะนำมาพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวท่าดอยสะเก็ดที่สามารถคงคุณค่าทางสารอาหารได้ โดยทำการศึกษาการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงที่ระดับความดัน 600 MPa ระยะเวลา 15 นาที ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารสกัด ได้แก่ ค่าสี $L^* a^* b^*$ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมทั้งหมด และร้อยละการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ด จากการทดลองพบว่า การฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงสามารถคงปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมทั้งหมดได้ โดยพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ (57.00 ± 3.45 และ 55.52 ± 1.72 mg/l ตามลำดับ) และไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของร้อยละการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ด ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อเช่นกัน (ร้อยละ 54.25 ± 2.11 และ 52.83 ± 0.13 ตามลำดับ) แต่การฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพเพียงเล็กน้อย โดยค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเล็กน้อยและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ ด้านค่าสีพบว่าค่าความสว่าง (L^*) รวมทั้งค่า a^* และ b^* ของสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดัน มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามค่าความแตกต่างของสี (ΔE) มีค่าต่ำมากแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของสีไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

คำสำคัญ: การฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง, ข้าวท่าดอยสะเก็ด, แอนโทไซยานิน, ความปลอดภัยของอาหาร, การปรับปรุงสุขภาพ, ผลิตภัณฑ์และกระบวนการ

Received:
23 September 2024
Revised:
27 December 2025
Accepted:
29 December 2025
Published:
29 December 2025

***Corresponding Author:**
prud@rmutl.ac.th

Copyright:
© Rajamangala
University of
Technology Lanna.
All right reserved

ISSN
Print: 2586-8500
Electronic: 2586-8632

Abstract

This study investigated the effects of high-pressure processing (HPP) on the physical and chemical properties of Doi Saket purple rice extract, with the aim of further developing a functional beverage product that retains its nutritional value. HPP was conducted at a pressure level of 600 MPa for 15 minutes, and its effects on physical and chemical characteristics were evaluated, including color parameters (L^* , a^* , b^*), pH, total anthocyanin content, and antioxidant activity. The results demonstrated that HPP effectively preserved the total anthocyanin content of the extract, with no difference ($p>0.05$) observed between the HPP-treated extract and the untreated control (57.00 ± 3.45 and 55.52 ± 1.72 mg/L, respectively). Similarly, no difference ($p>0.05$) was found in antioxidant activity between the treated and untreated extracts ($54.25\pm 2.11\%$ and $52.83\pm 0.13\%$, respectively). However, HPP had a minor effect on the physical properties of the extract. The pH value showed a slight decrease with statistically significant ($p<0.05$) compared to the untreated sample. In terms of color characteristics, the lightness (L^*), redness (a^*), and yellowness (b^*) values of the HPP-treated extract were significantly lower ($p<0.05$) than those of the untreated extract. Nevertheless, the total color difference (ΔE) was very low, indicating that the color changes could not be observed.

Keywords: high-pressure processing, Doi-saket purple rice, anthocyanin, food security, health reform, product and process

1. บทนำ

ข้าวทำ (*Oryza sativa* L. *indica*) เป็นข้าวเหนียวที่มีเมล็ดมีเปลือกหุ้มภายนอกเป็นสีม่วงเข้มถึงดำ อุดมไปด้วยรงควัตถุสำคัญคือ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) (อภิรัตน์ และคณะ, 2563) โดยคุณสมบัติของแอนโทไซยานินนั้นมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระและสามารถช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคร้ายแรง ได้แก่ โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคมะเร็ง เป็นต้น (Cao และคณะ, 2025) ข้าวทำนั้นสามารถนำมาบริโภคเป็นอาหารเพื่อดูแลสุขภาพ และสามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพได้ เช่น เครื่องดื่มสกัดจากข้าวทำ พงสารสกัดข้าวทำ และอาหารเสริมอัดเม็ดจากข้าวทำ เป็นต้น (ศูนย์บริการวิชาการและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2565) โดยการแปรรูปข้าวทำคือการสกัดและจำเป็นต้องผ่านกระบวนการการฆ่าเชื้อ นอกจากกรรมวิธีการสกัดจะส่งผลถึงความเสถียรของแอนโทไซยานินแล้วกระบวนการการฆ่าเชื้อสารสกัดข้าวทำนั้นอาจจะส่งผลให้แอนโทไซยานินเสื่อมสลายลงเช่นกัน เนื่องจากความร้อนจะส่งผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานิน (Yamuangmorn และ Prom-u-Thai, 2021)

แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพในปัจจุบันนี้มีกระบวนการพัฒนาที่หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อคงคุณค่าและคุณสมบัติของสารสำคัญของผลิตภัณฑ์ไว้ อีกทั้งเพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น ถึงแม้ว่าการฆ่าเชื้ออาหารด้วยความร้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัย แต่อย่างไรก็ตามความร้อนสามารถส่งผลให้คุณค่าทางสารอาหารของผลิตภัณฑ์ลดลง (ทิสันท์ และณัฐพร, 2562) ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการฆ่าเชื้อโดยไม่ใช้ความร้อน (Non-thermal process) ที่สามารถยังคงคุณค่าทางสารอาหารของผลิตภัณฑ์และสามารถฆ่าเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคได้ โดยกระบวนการฆ่าเชื้ออาหารที่ไม่ใช้ความร้อนในปัจจุบันตัวอย่างเช่น การฆ่าเชื้ออาหารด้วยความดันสูง (High pressure processing) การใช้แสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet light processing) และการใช้สนามไฟฟ้าพัลส์ (Pulse electric field) เป็นต้น (หทัยชนก, 2560) ปัจจุบันกระแสการใช้ความดันสูงในการฆ่าเชื้ออาหารกำลังเป็นที่นิยม โดยเฉพาะการนำมาฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ผัก ผลไม้สด เนื้อสัตว์ อาหารทะเล คุณสมบัติเด่นของกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ละลายตัวได้ง่ายจากความร้อน ซึ่งจะสามารถคงคุณค่าทางสารอาหารไว้ได้ เช่น วิตามินต่าง ๆ เป็นต้น (Black และคณะ, 2007)

เทคโนโลยีการฆ่าเชื้ออาหารด้วยความดันสูงนั้นมีการเริ่มใช้ในต่างประเทศ ได้แก่ ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส อังกฤษ และเยอรมนี โดยประเทศไทยนั้นได้นำกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มพร้อมดื่ม เช่น น้ำมะพร้าว และน้ำผักผลไม้ เป็นต้น (มยุรา, 2562) หลักการทำงานของกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง เป็นกระบวนการฆ่าเชื้ออาหารที่ไม่ใช้ความร้อนแต่ใช้ความดันสูงที่มีระดับความดันสูงกว่าบรรยากาศ ซึ่งจะส่งผลให้เอนไซม์ที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมเสียและยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ (Sehrawat และคณะ, 2020) โดยบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหารต้องใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นและนำมาผ่านความดันสูงเริ่มต้นที่ 100 ถึง 900 MPa ณ อุณหภูมิห้อง โดยผลิตภัณฑ์อาหารจะได้รับความดันจากตัวกลาง เช่น น้ำ หรือของเหลว อื่น ๆ อย่างสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด โดยปกติจะใช้เวลาประมาณ 2-30 นาที (สุกรีณี, 2564) โดยในช่วงศตวรรษที่ 20 มีการใช้เทคโนโลยีฆ่าเชื้ออาหารด้วยความดันสูงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มต่าง ๆ เช่น น้มนม น้ำผลไม้ หรืออาหารทะเล เป็นต้น

พบว่าการใช้ความดันสูงที่ระดับ 600 MPa สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหาร, 2555)

2. วัตถุประสงค์

จุดประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง (HPP) ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของสารสกัดข้าวทำดอยสะเกิด โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* a^* b^* ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมทั้งหมด และร้อยละการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวทำดอยสะเกิดโดยเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวทำดอยสะเกิดที่สามารถคงคุณค่าทางสารอาหารได้

3. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงเป็นกระบวนการถนอมอาหารที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ (Non thermal processing) แต่เป็นการใช้ความดันระดับชั้นบรรยากาศที่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (Pathogen) หรือ เอนไซม์ (Enzyme) ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพในอาหารได้ อีกทั้งยังสามารถคงคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ได้ ได้แก่ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส ได้ดีกว่าการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (ภาวินี และคณะ, 2563) โดยมีการศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารสำคัญหลักของสารสกัดข้าวทำดอยสะเกิดในการวิจัยนี้ มีคุณสมบัติไม่ทนต่อความร้อน ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

de Oliveira และคณะ (2021) ได้ทำการศึกษาผลของการฆ่าเชื้อด้วยความดัน (HHP) ที่สภาวะความดัน 200, 350 และ 500 MPa เป็นเวลา 5, 7.5 และ 10 นาที ต่อปริมาณแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำจัสซารา (Euterpe edulis) พบว่าสภาวะการฆ่าเชื้อด้วยความดันที่ 200 MPa นาน 5 นาที ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แต่ที่ความดัน 500 MPa เวลา 10 นาที ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลง 82% และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง 46% สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยรวมของน้ำจัสซาราที่ไม่ผ่านกระบวนการ และน้ำผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูง (HHP)

Adhikari และคณะ (2024) ศึกษาผลของการฆ่าเชื้อด้วยความดัน (HPP) ที่สภาวะความดัน 300 MPa เทียบกับการฆ่าเชื้อด้วยวิธีพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิสูงเวลาสั้น (HTST) ที่อุณหภูมิ 90°C 15 วินาที ที่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินและวิตามินซีในน้ำลูเบอร์รี่ พบว่าน้ำลูเบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการ HPP ที่ความดัน 300 MPa มีปริมาณแอนโทไซยานินคงเหลือ 54% ในขณะที่น้ำลูเบอร์รี่ที่ฆ่าเชื้อด้วยวิธีพาสเจอร์ไรส์มีการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินและวิตามินซีสูง นอกจากนี้ยังพบว่า การฆ่าเชื้อด้วยความดันมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) และทำให้เกิดการสลายของแอนโทไซยานินและวิตามินซี โดยพบว่าน้ำลูเบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการ HPP มีปริมาณเอนไซม์ PPO ลดลง >80% จึงทำให้น้ำลูเบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการ HPP มีคุณภาพและคุณสมบัติทางเคมีดีกว่า

Torres และคณะ (2011) ได้ศึกษาความคงตัวของแอนโทไซยานินและกรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์น้ำส้มที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง (HPP)

ที่สภาวะ 400, 500 และ 600 MPa เป็นเวลา 15 นาที พบว่าที่ 600 MPa สามารถรักษาปริมาณแอนโทไซยานินและกรดแอสคอร์บิกได้ 93.4 และ ร้อยละ 85 ตามลำดับ และพบว่ากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของสารสำคัญได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำส้มที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 วัน

Morata และคณะ (2023) ศึกษาผลของการใช้แรงดันน้ำสูง (High Hydrostatic Pressure; HHP) ที่ความดัน 500–600 MPa เวลา 1–10 นาที ในกระบวนการแปรรูปน้ำอุนต่อคุณภาพของน้ำอุน พบว่ากระบวนการใช้ความดันสูงเป็นกระบวนการที่อ่อนโยนไม่ก่อให้เกิดความร้อนสูงจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียปริมาณสารสำคัญในน้ำอุน อีกทั้งยังช่วยปกป้องสารดังกล่าวอีกด้วย ได้แก่ สารประกอบฟีนอล เทอร์ปีน แอนโทไซยานิน และวิตามิน ผลการทดลองพบว่าที่สภาวะความดัน 550 MPa เวลา 10 นาที มีปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำอุนสูงสุด

Barba และคณะ (2013) ได้ศึกษาผลของการใช้กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง ในสภาวะที่แตกต่างกัน (ความดัน 200 400 และ 600 MPa เป็นเวลา 5 9 และ 15 นาที) ต่อความเสถียรของแอนโทไซยานินและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของน้ำบลูเบอร์รี่ จากผลการศึกษาพบว่าที่ความดัน 400 MPa เวลา 15 นาที สามารถคงปริมาณแอนโทไซยานินได้เทียบเท่ากับน้ำบลูเบอร์รี่ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบลูเบอร์รี่ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง เช่นเดียวกับค่าสี $L^* a^* b^*$ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในทุกสภาวะการทดลอง

Marszałek และคณะ (2019) ได้ศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อสตรอว์เบอร์รี่ฟูเรด้วยความดันสูงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยใช้ความดันที่ 300 และ 600 MPa เป็นเวลา 15 นาที พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเพียงร้อยละ 5 หลังจากผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดัน 600 MPa แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ อีกทั้งยังสามารถช่วยยับยั้งเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ และยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของสตรอว์เบอร์รี่ฟูเรได้นานถึง 28 สัปดาห์

4. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมน้ำข้าวทำสกัด

ข้าวทำดอยสะเก็ดรับมาจากวิสาหกิจชุมชน ตำบลลองใต้ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ โดยการเตรียมน้ำข้าวทำสกัดใช้อัตราส่วนข้าวทำต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 2 สกัดโดยใช้สนามไฟฟ้าพัลส์ (Pulse electric field) ที่แรงดันไฟฟ้า 5 kv/cm จำนวน 3,000 พัลส์ (Rajchasom และคณะ, 2022)

2. การฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการความดันสูง (High pressure processing)

บรรจุข้าวทำสกัดลงในขวด PET (Polyethylene Terephthalate) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงด้วยเครื่องฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง (BTKF-HPP HPP600MPa/65L, TSUS Premium Processing Co., Ltd.) โดยใช้ระดับความดันที่ 600 MPa เป็นเวลา 15 นาที

3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของสารสกัดข้าวทำดอยสะเก็ด ก่อนและหลังจากผ่านกระบวนการการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง

3.1 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพของสารสกัดข้าวทำดอยสะเก็ด โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ วิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIE $L^* a^* b^*$ ใช้เครื่องวัดค่าสี (HunterLab, ColorFlex EZ) โดย L^* คือความสว่าง (มีค่าระหว่าง 0-100 โดย 0 หมายถึงสีดำ และ 100 หมายถึงสีขาว), a^* คือค่าความเป็นสีแดง-เขียว ($-a^*$ คือสีเขียว,

+a* คือสีแดง), b* คือค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (-b* คือสีน้ำเงิน, +b* คือสีเหลือง) โดยใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์ปริมาตร 40 มิลลิลิตร (Zheng และคณะ, 2022) และนำค่าสีที่วัดได้มาคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ดังสมการที่ 1 และวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่องวัด pH meter โดยทำการวัดตัวอย่างทั้งหมด 3 ซ้ำ

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (1)$$

3.2 ศึกษาคุณภาพทางเคมีของสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ด โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมทั้งหมด และร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ

3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมทั้งหมด

ปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมทั้งหมด ทำการวิเคราะห์โดยวิธีการ pH differential ดัดแปลงจากวิธีการของ (Tonutare และ Moor, 2014) โดยนำตัวอย่างสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดมาเจือจาง 10 เท่า โดยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000 rpm เป็นเวลา 15 นาที (Hettich zentrifugen, EBA 20) จากนั้นนำตัวอย่างส่วนใสมาปริมาตร 200 ไมโครลิตร และเติมบัฟเฟอร์ pH 1 หรือ pH 4.5 ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตรลงในตัวอย่างการทดลอง จากนั้นนำไปเก็บไว้ในที่มืดและอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 และ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Spectrum Instruments, SP-UV 200 spectrophotometer) คำนวณหาค่าปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมทั้งหมด โดยใช้สมการที่ 2

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมทั้งหมด (mg/l)} = \frac{(A_{510} - A_{700})_{pH1} - (A_{510} - A_{700})_{pH4.5} \cdot MW \cdot DF \cdot 1,000}{\epsilon} \quad (2)$$

เมื่อ A510 = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร

A700 = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร

MW = molecular weight of cyanidin-3-glucoside (449.20 g/mol)

DF = ค่าการเจือจาง

ϵ = molar absorptivity coefficient values ($\epsilon = 26900 \text{ m}^2/\text{mol}\cdot\text{cm}$).

3.2.2 การวิเคราะห์ร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ

นำตัวอย่างสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดมาวิเคราะห์ร้อยละการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay โดยนำตัวอย่างเครื่องดื่มข้าวท่าดอยสะเก็ดมา 200 ไมโครลิตร จากนั้นเติมเมทานอล ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร และใช้สารละลายมาตรฐาน 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ที่ความเข้มข้น 0.12 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร สำหรับการทดสอบร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ สำหรับตัวอย่างการทดลองควบคุม (control) ใช้เมทานอล ปริมาตร 2 มิลลิลิตรกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างการทดลองเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที โดยเก็บที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างทดสอบและตัวอย่างควบคุมมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 517 นาโนเมตร โดยคำนวณร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ (%DPPH inhibition) ดังสมการที่ 3 (Sueaman และคณะ, 2019)

$$\% \text{DPPH inhibition} = \frac{(\text{AbsControl} - \text{AbsSample})}{(\text{AbsControl})} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ AbsControl = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างควบคุม
AbsSample = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างการทดลอง

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลผลการทดลองทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างสารสกัดข้าวท่าโดยสะกัดที่วัดได้ทั้ง 2 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อหรือตัวอย่างควบคุม (no treatment) และตัวอย่างที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง (HPP treatment) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำมาทำการคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วยโปรแกรม Excel และแสดงผลโดย ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean \pm SD) และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดย One-way ANOVA t-test โดยใช้โปรแกรม Minitab Statistic Software version 20

5. ผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการฆ่าเชื้อเครื่องดื่มสกัดข้าวท่าโดยสะกัดด้วยกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง (HPP) ที่ระดับ 600 MPa เป็นเวลา 15 นาที แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 1 โดยแสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มสกัดจากข้าวท่าโดยสะกัดที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง พบว่าคุณสมบัติด้านกายภาพด้านค่าความสว่าง (L^*) และค่า a^* และ b^* ของเครื่องดื่มสกัดข้าวท่าโดยสะกัดที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงมีค่าลดลงและมีความแตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อนำมาคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ระหว่าง 2 ตัวอย่างพบว่ามีค่า 0.08 ± 0.03 สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่าเครื่องดื่มสกัดข้าวท่าโดยสะกัดที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 5.36 ± 0.01 เป็น 5.44 ± 0.01 และเมื่อคำนวณทางสถิติแล้วพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในส่วนของคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสกัดจากข้าวท่าโดยสะกัด พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินของเครื่องดื่มสกัดข้าวท่าโดยสะกัดที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงมีค่าเท่ากับ 57.00 ± 3.45 และ 55.52 ± 1.72 mg/l ตามลำดับ โดยจากการเปรียบเทียบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระพบว่าเครื่องดื่มสกัดข้าวท่าโดยสะกัดที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวท่าโดยสะกัดที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ (ร้อยละ 54.25 ± 2.11 และ 52.83 ± 0.13 ตามลำดับ)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารสกัดข้าวท่าโดยสะกัดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อและผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูง

Parameter	No treatment	HPP treatment
L^*	0.20 ± 0.01^a	0.14 ± 0.01^b
a^*	1.27 ± 0.02^a	0.89 ± 0.05^b
b^*	0.35 ± 0.00^a	0.23 ± 0.01^b
ΔE	0.08 ± 0.03	
pH	5.36 ± 0.01^b	5.44 ± 0.01^a
Total anthocyanin content (mg/l)	57.00 ± 3.45^{ns}	55.52 ± 1.72^{ns}
%DPPH inhibition (%)	54.25 ± 2.11^{ns}	52.83 ± 0.13^{ns}

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

6. การอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีของสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ด โดยใช้สภาวะการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงที่ 600 MPa เป็นเวลา 15 นาที พบว่าค่า L^* a^* b^* ของสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดมีความเปลี่ยนแปลง โดยมีค่า L^* a^* b^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) พบว่ามีค่า < 1 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมากไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ด้วยการมองเห็น แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตามค่าสีที่ลดลง อธิบายได้ว่าสีของสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดมีสีคล้ำขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อสัมผัสกับแสงและอากาศทำให้โครงสร้างทางเคมีของปริมาณแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงไป (Enaru และคณะ, 2021) และเมื่อพิจารณาปริมาณแอนโทไซยานินพบว่าสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงมีปริมาณแอนโทไซยานินลดลงจาก 57.00 ± 3.45 mg/l สารสกัด เหลือ 55.52 ± 1.72 mg/l สารสกัด แต่ผลการคำนวณความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแอนโทไซยานินพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากระบวนการใช้ความดันสูงไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณแอนโทไซยานิน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ma และคณะ (2019) ได้ศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันที่ 400, 500, 600 MPa ที่เวลา 3, 5, 7 และ 10 นาที เปรียบเทียบกับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ของผลิตภัณฑ์น้ำกับทิมหมัก จากผลการทดลองพบว่าค่าความแตกต่างสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์น้ำกับทิมหมักที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงในทุกสภาวะการทดลองไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ ซึ่งต่างจากการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน โดยการทดลองของ Worametrachanon และ Apichartsrangkoon (2014) พบว่ากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรส์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่า L^* a^* b^* ของเครื่องดื่มข้าวท่าดอยสะเก็ดเมื่อเทียบกับการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงที่ 500 และ 600 MPa เป็นเวลา 20 นาที พบว่าเครื่องดื่มข้าวท่าดอยสะเก็ดที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงมีค่า L^* สูงกว่าเครื่องดื่มสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอร์ไรส์ (อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 10, 20 และ 30 นาที) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากความร้อนส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทำให้สีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวท่าดอยสะเก็ดคล้ำขึ้น อีกทั้งยังพบด้วยว่าค่า a^* และ b^* ของตัวอย่างที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนมีค่าลดลงอีกด้วย สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเครื่องดื่มสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ด พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงมีผลในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค (Pathogen) ซึ่งการเจริญเติบโตของเชื้อดังกล่าวมีการผลิตกรดส่งผลให้ค่า pH ลดลง แต่ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจึงไม่มีการผลิตกรดขึ้น ค่า pH ของเครื่องดื่มสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Palamae และคณะ 2025)

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระพบว่า ค่าปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องดื่มสกัดข้าวท่าดอยสะเก็ดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ เนื่องจาก

กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยแรงดันสูงนั้นทำลายเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) จึงทำให้ไม่มีการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินไปเนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าว (Marszałek และคณะ, 2019 และ Adhikari และคณะ, 2024) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Morata และคณะ (2023) ที่ได้ริบยาว่าการใช้ความดันสูงเป็นกระบวนการที่อ่อนโยนไม่ก่อให้เกิดความร้อนสูงจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ปริมาณสารสำคัญในน้ำองุ่น ได้แก่ สารประกอบฟีนอล เทอร์ปีน แอนโทไซยานิน และวิตามิน อีกทั้งยังช่วยปกป้องสารดังกล่าวอีกด้วย โดยงานวิจัยได้ศึกษาผลของการใช้แรงดันน้ำสูง (High Hydrostatic Pressure; HHP) ที่ความดัน 500–600 MPa เวลา 1–10 นาที ในกระบวนการแปรรูปน้ำองุ่นต่อคุณภาพของน้ำองุ่น ผลการทดลองพบว่าน้ำองุ่นที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะความดัน 550 MPa เวลา 10 นาที มีปริมาณแอนโทไซยานินในน้ำองุ่นสูงสุด นอกจากนี้การใช้ความดันสูงยังมีผลต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ เช่นเดียวกับการใช้ความร้อนแต่การฆ่าเชื้อด้วยความดันไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณแอนโทไซยานินได้มากเท่าการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน โดย Marszałek และคณะ (2019) ได้ศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อสตรอว์เบอร์รี่ด้วยความดันสูงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยใช้ความดันที่ 300 และ 600 MPa เป็นเวลา 15 นาที พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเพียงร้อยละ 5 หลังจากผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความดัน 600 MPa แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ อีกทั้งยังสามารถช่วยยับยั้งเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ และยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของสตรอว์เบอร์รี่ได้นานถึง 28 สัปดาห์ นอกจากนี้ Ma และคณะ (2019) ได้ศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความดันที่ 400, 500, 600 MPa ที่เวลา 3, 5, 7 และ 10 นาที เปรียบเทียบกับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ของผลิตภัณฑ์น้ำทับทิมหมัก จากผลการทดลองพบว่าการฆ่าเชื้อด้วยความดัน (HPP) สามารถคงปริมาณแอนโทไซยานินและร้อยละการต้านอนุมูลอิสระได้สูงถึงร้อยละ 95.69 และ 95.89 ตามลำดับ และมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ฆ่าเชื้อด้วยความร้อนถึงร้อยละ 26.83 และ 7.08 ตามลำดับ

7. บทสรุป

กระบวนการฆ่าเชื้อเครื่องดื่มสกัดข้าวทำดอยสะเกิดด้วยความดันสูงที่ 600 MPa เป็นเวลา 15 นาที มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าสี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสกัดข้าวทำดอยสะเกิดเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำกรรมวิธีการฆ่าเชื้อด้วยความดันสูงมาใช้ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้คงคุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารไว้และมีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้ดียิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณโครงการวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ปีงบประมาณ 2567 จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทสว.)

9. เอกสารอ้างอิง

- Adhikari J, Araghi LR, Singh R, Adhikari K, Patil BS. Continuous-Flow High-Pressure Homogenization of Blueberry Juice Enhances Anthocyanin and Ascorbic Acid Stability during Cold Storage. *J Agric Food Chem*. 2024 May 22;72(20):11629-11639.
- Barba, F.J., Esteve, M.J., & Frigola, A. (2013). Physicochemical and nutritional characteristics of blueberry juice after high pressure processing. *Food Research International*, 50, 545-549.
- Black, E.P., Huppertz, T., Kelly, A.L., & Fitzgerald, G.F. (2007). Baroprotection of vegetative bacteria by milk constituents: a study of *Listeria innocua*. *International Dairy Journal*, 17, 104–110.
- Cao, C., Fan, J., & Wang, Q. (2025). Black rice (*Oryza sativa* L.) and its anthocyanins: Mechanisms, food applications, and clinical insights for postprandial glycemic and lipid regulation. *Food Production, Processing and Nutrition*, 7, 1-26.
- de Oliveira, A. A., Torres, A. G., Perrone, D., & Monteiro, M. (2021). Effect of High Hydrostatic Pressure Processing on the Anthocyanins Content, Antioxidant Activity, Sensorial Acceptance and Stability of Jussara (*Euterpe edulis*) Juice. *Foods*, 10(10), 2246.
- Enaru, B., Dreţcanu, G., Pop, T. D., Stănilă, A., & Diaconeasa, Z. (2021). Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. *Antioxidants*, 10(12), 1967.
- Ma, Y., Yin, X., Bi, X., Su, F., Liang, Z., Luo, M., Fu, D., Xing, Y., & Che, Z. (2019). Physicochemical properties and bioactive compounds of fermented pomegranate juice as affected by high-pressure processing and thermal treatment. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1250-1269.
- Marszałek, K., Woźniak, Ł., & Skąpska, S. (2019). The application of high pressure–mild temperature processing for prolonging the shelf-life of strawberry purée. *High Pressure Research*, 36(2), 220-234.
- Morata, A., del Fresno, J. M., Gavahian, M., Guamis, B., Palomero, F., & López, C. (2023). Effect of HHP and UHPH High-Pressure Techniques on the Extraction and Stability of Grape and Other Fruit Anthocyanins. *Antioxidants*, 12(9), 1746.
- Palamae, S., Patil, U., Sinlapapanya, P., Hong, H., Zhao, Y., Zhang, B., & Benjakul, S. (2025). Impact of High-Pressure Processing on Prevention of Quality Loss and Spoilage Bacteria Diversity in Precooked Baby Clam (*Paphia undulata*) During Refrigerated Storage. *Foods*, 14(8), 1421.
- Rajchasom, S., Sombatnan, P., Kantala, C., & Tancharoenrat Vuttijamnong, J. (2022). Effect of pulse electric field assisted extraction on anthocyanin content and antioxidant activity of purple rice. *SNRU Journal of Science and Technology*, 14(2), 1-10.

- Sehrawat, R., Kaur, B. P., Nema, P. K., Tewari, S., & Kumar, L. (2020). Microbial inactivation by high pressure processing: Principle, mechanism and factors responsible. *Food Science and Biotechnology*, 30(1), 19–35.
- Sueaman, K., Paksee, S., Arpsuwan, A., Chalongsuppunyoo, R., Samang, P., Jannoey, P., & Pinwattana, K. (2019). Determination of antioxidant capacity of riceberry and khao dok mali 105 cultivars. *PSRU Journal of Science and Technology*, 4(3), 95-108.
- Tonutare, T., Moor, U., & Szajdak, L. (2014). Strawberry anthocyanins differentiation by pH differential spectroscopic method, *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 13(3), 35-47.
- Torres, B., Tiwari, B.K., Patras, A., Cullen, P.J., Brunton, N., & O'Donnell, C.P. (2011). Stability of anthocyanins and ascorbic acid of high pressure processed blood orange juice during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12, 93-97.
- Worametrachanon, S., & Apichartsrangkoon, A. (2014). Viscoelastic characteristics and phytochemical properties of purple-rice drinks following ultrahigh pressure and pasteurization. *High Pressure Research*, 34(4), 482-493.
- Yamuangmorn, S., & Prom-u-Thai, C. (2021). The potential of high-anthocyanin purple rice as a functional ingredient in human health. *Antioxidants*, 10, 833.
- Zheng, Rui-long & Ren, Tao & Niu, Cheng-tuo & Zheng, Fei-yun & Wang, Jin-jing & Liu, Chun-feng & Li, Qi. (2022). Anthocyanins composition and antioxidant activity of purple rice and color degradation under sunlight exposure of purple rice wine. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 16. 1-12.
- ทินันท์ ศรีภักษ์ชัย และณัฐพร โชตยะกุล. (2562). ผลของการให้ความดันสูงต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในหมูปิ้งปรุงรสที่อายุการเก็บรักษาต่างกัน. *แก่นเกษตร*, 2, 875-880.
- ภาวินี อินทร์มณี, ปิยวรรณ วงศ์วิสุ และ วราลี จ้อยมาก. (2563). เทคนิคการยืดอายุอาหาร และเครื่องดื่มนให้เหมาะสม สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคต. *สืบค้น 16 กรกฎาคม 2567, จาก <https://humanecology.stou.ac.th/blog/fbnutr5/>*
- มยุรา ปราภณาเปลี่ยน. (2562). HPP เทคโนโลยีแปรรูปอาหารอนาคต (HPP : High Pressure Processing). *NFI food innovation issue*, 1-3.
- ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหาร. (2555). การใช้ความดันสูงเพื่อถนอมอาหาร. *สืบค้น 16 กรกฎาคม 2567, จาก https://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0186/*
- ศูนย์บริการวิชาการและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2565). การวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าวพื้นเมืองล้านนาส่งเสริมความเป็นอยู่ของเกษตรกร. *สืบค้น 28 พฤษภาคม 2567, จาก <https://www.cmu.ac.th/th/article/941bd696-91e1-4d8b-a4e4-a2556b441d68>*

- สุกฤษฎี สีสงษ์. (2564). การแปรรูปอาหารด้วยความดันสูง (High pressure process) ในอุตสาหกรรมอาหารทะเล. กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี อุตสาหกรรมสัตว์น้ำกรมประมง, 1-4.
- หทัยชนก กัณตรง. (2560). การฆ่าเชื้อโดยไม่ใช้ความร้อนในผลิตภัณฑ์อาหารเหลว ด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าแบบพัลส์. *อาหาร*, 47(3), 39-43.
- อภิรัตน์ โตลำดับ, ชนาทนต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย, ต่อนภา พุสดี และ ศันสนีย์ จำจด. (2563). การคัดเลือกสายพันธุ์สุกฤษฎีข้าวเหนียวดำที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินในเมล็ดสูงจากประชากรข้าวพื้นเมืองภาคเหนือของประเทศไทย. *แก่นเกษตร*, 48 (5) ,1042-1055