วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 (2559) 41-48
Available online at www.tci-thaijo.org/index.php/TSAEJ

บทความปริทัศน์

ISSN 1685-408X

ผลของการใช้ความดันสูงในการทำลายจุลินทรีย์และสปอร์ของจุลินทรีย์ในอาหาร

Effects of High Pressure Processing on Microbial and Food Spoilage Eliminating

ฤทธิชัย อัศวราชันย์[1]*

Rittichai Assavarachan[1]*

[1]คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่, 50290

[1]Faculty of Engineering and Agro-Industry; Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-8-5704-9146, Fax: +66-34-351-896, E-mail: rittichai.assawarachan@gmail.com

บทคัดย่อ

การใช้ความดันสูง (HPP) เป็นวิธีการแปรรูปสมัยใหม่ของการยั้บการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารที่สามารถรักษาคุณลักษณะ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางประสาทสัมผัสของอาหารที่ถูกแปรรูปด้วยการใช้ HPP สามารถรักษา กลิ่น สี รส ใกล้เคียงอาหารสด การใช้ความดันสูงเป็นวิธีการแปรรูปแบบไม่ใช่ความร้อนซึ่งเป็นเทคนิคการถนอมอาหารที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และมีความสามารถในการทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผักได้ดีกว่าการพาสเจอร์ไซส์เซชั่นด้วยความร้อน การใช้ความดันสูงสำหรับการแปรรูปจะใช้แรงดันที่ระดับ การใช้ความดันสูงเป็นการแปรรูปอาหารโดยไม่ใช้ความร้อนแต่เป็นการใช้ความดันสูงกว่าความดันที่ระดับ 400–600 MPa หรือ 58,000–87,000 psi ในการทำลายจุลินทรีย์ การแปรรูปโดยการใช้ความดันสูงนับเป็นเทคนิคการพาสเจอร์ไซส์เซชั่นระบบเย็น องค์ประกอบของการใช้ HPP นั้นจะประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์อาหารในบรรจุภัณฑ์, แคปซูลที่ใช้บรรจุอาหาร น้ำตัวกลางในส่งถ่ายพลังงานกลจากแรงดัน และเครื่องกำเนิดแรงดันไฮโดรสเตตริก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 การใช้ความดันสูงประสบความสำเร็จในการแปรรูปอาหารในระดับอุตสาหกรรมอย่างมาก สามารถช่วยรักษาความสด กลิ่น และรสชาติได้ใกล้เคียงกับอาหารสดรวมถึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จัดเป็นการแปรรูปทางเลือกที่สามารถใช้ในระดับทดแทนการแปรรูปด้วยความร้อนแบบดั้งเดิม และการใช้สารเคมีในการถนอมอาหาร

คำสำคัญ: การใช้ความดันสูง, พาสเจอร์ไรซ์ระบบเย็น, การแปรรูปสมัยใหม่

Abstract

High-pressure processing (HPP) is a novel method of food processing to achieve microbial inactivation or to alter the food attributes. The unique physical and sensory properties of HPP processed foods offer many potential opportunities for food processing. HPP is a nonthermal food preservation technique that inactivates harmful pathogens and vegetative spoilage microorganisms by using pressure rather than heat to effect pasteurization. HPP utilizes intense pressure (about 400–600 MPa or 58,000–87,000 psi). HPP is a cold pasteurization technique which consists of subjecting food, previously sealed in flexible and water-resistant packaging, to a high level of hydrostatic pressure (pressure transmitted by water) up to 600 MPa (87,000 psi) for a few seconds to a few minutes. Since 2000, HPP has been successfully implemented in all type of food industries worldwide. HPP is a natural, environmentally friendly process that respects the ingredient and helps maintain the fresh food characteristics like flavour and nutrients. It is a real alternative to traditional thermal and chemical treatments.

Keywords: High-pressure processing, Cold pasteurization, Novel food processing

1 บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารมีอัตราการแข่งขันด้านเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารทำให้เกิดการพัฒนารูปแบบการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีความต้องการ ด้านการรักษา กลิ่น สี รสของอาหารแปรรูปให้ใกล้เคียงกับอาหารสด ส่งผลให้เกิดการแข่งขันด้านนวัตกรรมการผลิตด้วยเทคโนโลยีที่สามารถรักษาคุณภาพของอาหาร นวัตกรรมการแปรรูปให้การความดันสูง (HPP) ประสบความสำเร็จในการนำมาใช้ในการแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางประสาทสัมผัสของอาหาร (กลิ่น สี รส) เทียบเคียงอาหารสด

(Da-Wen Sun, 2014) การใช้ HPP เป็นการแปรรูปอาหารโดยไม่ใช้ความร้อน (non thermal processing) แต่เป็นการใช้ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ (400-600 MPa) ซึ่งความดันเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญของปฏิกริยาทางเทอร์โมไดนามิกส่งผลให้เกิดงาน (work) ที่เกิดในระหว่างการกดอัดในระหว่างการให้ความดัน (Pressurization) ภายใต้สภาวะ Adiabatic heat ส่งผลต่อการเพิ่มของอุณหภูมิในระบบน้อยมากประมาณ 3°C ต่อการเพิ่มความดัน 100 MPa ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นของการแปรรูปด้วยการใช้ HPP จะหายจากระบบทันที ที่มีการปรับสภาวะความดันกลับเข้าสู่ความดันปกติหรือความดันบรรยายกาศ (Farkas and Hoover, 2000) และมีผลต่อโครงสร้างและกระบวนการทางชีวเคมีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร (microbial spoilage) จุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) นอกจากนี้ความดันสูงยังทำลาย เอนไซม์ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร รวมถึงสปอร์และเอนไซม์ที่ไม่ต้องการในอาหารโดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร และทำให้อาหารมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น การแปรรูปด้วย HPP มีผลเทียบเคียงกับการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน (thermal processing) ระดับการพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) ด้วยวิธีใช้ความร้อนสูง - เวลาสั้น (HTST : High Temperature - Short Time) และสำหรับอาหารที่มีความกรด (Acid foods) หรือมีค่า pH ≤ 4.5 พบว่าประสิทธิภาพของทำลายจุลินรีย์มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง (Ultra-High Temperature process; UHT) เพราะสามารถทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ได้หมด แม้ว่ากระบวนการแปรรูป HPP นั้นอาจจะมีลงทุนในด้านวิศวกรรมที่สูงกว่าการแปรรูปอื่น มากถึง 10-30 เท่า แต่จะให้ผลตอบแทนดีในระยะยาว เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด รักษาคุณภาพของอาหารในด้านต่างๆ และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วย HPP มีความสด กลิ่น สี รสที่ใกล้เคียงธรรมชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และสามารถเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี (ฤทธิชัย, 2558) อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วย HPP และได้รับการยกย่องว่าเป็น Super foods ด้วยจุดเด่นของการแปรรูปอาหารที่สามารถสร้างมูลค่าที่เพิ่มเติมได้ส่งผลให้เกิดการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปด้วยเทคโนโลยี HPP มากขึ้นโดยประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกที่ประสบความสำเร็จในการนำเทคโนโลยี HPP ในการแปรรูปอาหารในระดับอุตสาหกรรม และแพร่หลายไปยังกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรป อย่างไงก็ตามการใช้ความดันสูงยังคงเป็นเทคโนโลยีการแปรรูปที่ยังไม่แพร่หลายมากนักในประเทศไทย ดังนั้นบทความวิชาการนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการรวบรวมเนื้อหาจากบทความวิจัย เอกสารทางวิชาการที่เชื่อถือได้มาเรียบเรียงเนื้อหา โดยประกอบหลักการ และกลไกการทำลายจุลินทรีย์ด้วยเทคโนโลยี HPP ผลของความดันสูงต่อปฏิกิริยาชีวเคมีและคุณภาพของอาหาร รวมถึงการเปรียบเทียบกับการแปรรูปด้วยความร้อน เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้อ่านนำไปใช้ในการศึกษาและนำไปพัฒนาสู่อุตสาหกรรมการผลิตอาหารด้วยเทคโนโลยี HPP ในอนาคต

2 หลักการของการใช้ความดันสูง

การใช้แรงดันสูงเป็นแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับนิยมเชิงการค้าอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีการใช้แรงดันสูง (HPP) เป็นวิธีการพาสเจอร์ไรซ์ที่ใช้แรงกล (แรงดัน) ทดแทนวิธีการให้ความร้อนเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร

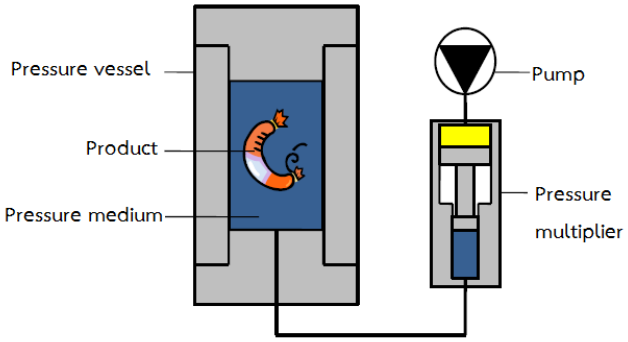

Figure 1 Schematic of an HPP high pressure processing (Source: Ferstl and Ferstl; The National food lab, 2013).

การแปรรูปโดยใช้ HPP ให้ผลเหมือนกับการให้ความร้อนในการแปรรูปอาหาสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของอาหาร ประกอบไปด้วยยีสต์และแบคทีเรียกรดแลคติค และช่วยให้อาหารให้มีความปลอดภัยขึ้นโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เช่น Escherichia coli, Salmonella และ Listeria monocytogenes ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารโดยรักษาคุณภาพของอาหาร และลดการทำลายคุณภาพขององค์ประกอบที่สำคัญในอาหารน้อยกว่า เช่น วิตามิน รสชาติ และสี ซึ่งจะช่วยให้การแปรรูปผลิตภัณฑ์ในลักษณะนี้มีคุณภาพเหมือนกับของสด Ferstl and Ferstl (2013) ได้อธิบายส่วนประกอบของอุปกรณ์ในการสร้างระบบความดันสูงประกอบด้วย ปั๊มแรงดันสูง ตัวขยายสัญญาณตัวกลางในการถ่ายพลังงานกล และถังแรงดันสูง (Figure 1)

3 กลไกการทำลายจุลินทรีย์ด้วยกระบวนการใช้ความดันสูง

3.1 ผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของจุลินทรีย์

การเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ที่ความดันบรรยากาศ (ความดันที่ 0.1 MPa) นั้นมีกลไกการการแบ่งตัว โดยเริ่มจากการสร้างระบบเส้นใยของเซลล์ (Cytoskeloton) หรือไมโครฟิลาเมนท์ (Microfilaments) ของเซลล์จุลินทรีย์ เมื่อระบบการสร้างเส้นใยของเซลล์สมบูรณ์ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการแบ่งตัวของจุลินทรีย์ ดังนั้นจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอยู่กับการสร้างเส้นใยหรือไมโครฟิลาเมนท์ของจุลินทรีย์ ซึ่งหากการไมโครฟิลาเมนท์แบ่งเริ่มต้นด้วยการแบ่งเป็นขนาดสั้นจะเกิดการสร้างเส้นใยของเซลล์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากการไมโครฟิลาเมนท์มีการแบ่งตัวในลักษณะที่มี

ความยาวก็จะทำให้การแบ่งของจุลินทรีย์ที่จำนวนน้อยกว่า การศึกษาผลกระทบของการใช้ความดันสูงต่อการระบบการสร้างเส้นใยของเซลล์จุลินทรีย์ ของ Escherichia coli พบว่าภายใต้ความดันสูงที่ความดันที่ 40 MPa พบว่า Escherichia coli มีการสร้างระบบเส้นใยของเซลล์ที่มีขนาดยาว 10-100 nm และไมโครฟิลาเมนต์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความดันมีลักษณะเป็นเซลล์เดียวที่ไม่มีปล้อง (Single unsegmented cells) มีความกว้างประมาณ 0.6 μm เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ขนาดปกติ (1-2 nm) ซึ่งมีขนาดที่สั้นกว่า ดังนั้นการแบ่งตัวของ Escherichia coli ภายใต้ความดันสูงที่ความดันจะเกิดการแบ่งตัวของจุลินทรีย์ให้จำนวนน้อยกว่าหลายล้านเท่า เช่นเดียวกับผลกระทบของแรงความดันต่อจุลินทรีย์ Vibrio spp. จะสร้างฟิลาเมนต์ที่มีขนาดยาว 5-8 เท่าของเซลล์ปกติที่เจริญที่ 1 atm ส่วน Bacillus mycoides จะมีขนาดยาวขึ้น 2-3 เท่า เมื่อให้ความดันที่37 MPa และ Serratia marinorubra จะสร้างฟิลาเมนต์ที่ยาวถึง 200 μm ที่ความดัน 60 MPa เปรียบเทียบกับเซลล์ปกติที่มีความยาว 0.6-1.5 μm ที่เจริญที่ความดันบรรยาย การสร้างฟิลาเมนต์ของจุลินทรีย์เมื่อให้ความดันสูงจะมีความแตกต่างกันขึ้นกับสปีชี่ส์และสายพันธุ์ ดังนั้นผลกระทบของแรงความดันสูงจะส่งผลต่อการสร้างระบบเส้นใยของเซลล์ให้มีขนาดยาวส่งผลให้การแบ่งตัวของจุลินทรีย์ลดลง นอกจากนี้ผลกระทบของแรงดันสูงจะส่งผลต่อการหยุดการเคลื่อนที่ของแบคทีเรียที่เคลื่อนที่ได้โดยส่วนใหญ่จะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อให้ความดันต่อเนื่องที่ 20-40 MPa และที่ความดัน 10 MPa พบว่า Esclierichla coli, Vibrio และ Pseudomonas จะยังคงมีแฟลกเจลลา (Flagella) แต่เมื่อเพิ่มความดันเป็น 40 MPa พบว่าเชื้อเหล่านี้จะสูญเสียอวัยวะของเซลล์

3.2 การทำลายจุลินทรีย์

การแปรรูปด้วยเทคโนโลยีการใช้แรงดันสูง (HPP) ได้รับการยอมรับตามมาตรฐานความปลอดภัยของแปรรูปอาหารขององค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) และกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (USDA) ตอบโจทย์ความต้องการและความคาดหวังของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แปรรูปอาหารที่สามารถรักษาความสด กลิ่น และรสชาติได้ใกล้เคียงกับอาหารสด HPP สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ โดยทั่วไปแบคทีเรียที่อยู่ในระยะ Log phase สามารถทนต่อความดันสูงได้น้อยกว่า (มีความไวหรือ Sensitive มากกว่า) เซลล์ที่อยู่ในระยะ Stationary สปอร์และจุลินทรีย์ที่อยู่ในระยะ Death phase อย่างไรก็ตามความดันสูงขนาดปานกลาง (ระหว่าง 400-600 MPa) จะสามารถยับยั้งการเจริญหรือทำลายเซลล์ปกติ (vegetative cells) ได้ Hoover et al. (1989) รายงานว่าการใช้ความดัน 350 MPa เป็นเวลา 30 min หรือ 400 MPa เป็นเวลา 5 min จะสามารถลดปริมาณเซลล์ปกติของแบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อราได้ถึง 10 เท่า การใช้ความดันที่ระดับสูงมากจะทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของสปอร์ของแบคทีเรียและทำลายเซลล์ที่กำลังจะขยายตัว เป็นที่รู้กันว่าความดันสูงทำให้แวคคิวโอล (vacuoles) ภายในเซลล์แตกและทำลายผนังเซลล์และเซลล์เมมเบรนฉีกขาดเป็นผลให้เมตาโบลิซึมต่างๆ ถูกทำลาย โดยทั่วไปแบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ที่ความดันระหว่าง 20-30 MPa ส่วนจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ที่ความดันที่สูงกว่า 40-50 MPa เรียกว่า barophiles ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะเจริญได้น้อยมากหรือไม่เจริญเลยที่ความดันในช่วง 300-400 MPa ส่วนจุลินทรีย์ที่เจริญในช่วงความดันที่ 1-50 MPa นั้นเรียกว่า Eurybaric และจุลินทรีย์ชนิด Baroduric จะรอดชีวิตแต่จะไม่สามารถเจริญได้ที่ความดันที่สูงตั้งแต่ 50-200 MPa ผลของความดันสูงต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของจุลินทรีย์ ความดันสูงปานกลาง (20-30 MPa) มีผลทำให้อัตราการเจริญและการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ลดลง ส่วนความดันที่สูงมากจะทำลายจุลินทรีย์ได้ ขนาดของความดันสูงที่สามารถยับยั้งการขยายพันธุ์และการเจริญจะมีค่าที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิด และสปีชี่ส์ (species) ของจุลินทรีย์

Table 1 Response of microorganisms (Pathogenic bacterial) to high hydrostatic pressure processing.

HPP Treatmet (MPa/min/°C)	Microorganism	Inactivation	Product	References
350 /20 /30	Listeria monocytogenes	6.0 $\log_{10}$ CFU g^{-1}	Raw poultry meat	Patterson et al. (1995)
253 /25 /15	Aeromonas hydrophila	7.0 $\log_{10}$ CFU g^{-1}	Ground pork	Ellenberg and Hoover (1999)
550/ 20/ 5	Esclierichla coli. O157:H7	< 7.0 $\log_{10}$ CFU ml^{-1}	Orange juice (pH 3.4–3.9)	Linton et al. (1999)
400/ 30/ 18	Bacillus cereus	2.9-3.4 $\log_{10}$ CFU ml^{-1}	Skimmed milk	McClements et al. (2001)
350/ 30/ 5	Salmonella Enteritidis	> 8.0 $\log_{10}$ CFU ml^{-1}	Orange juice Sour cherry juice	Bayindirli et al. (2005)
550 /10 /25	Esclierichla coli. (ATCC 25922)	8.0 $\log_{10}$ CFU ml^{-1}	Phosphate buffer saline suspension	Koseki and Yamamoto (2006)
500 /10 /25	Listeria monocytogenes (ATCC2913)	5.1 $\log_{10}$ CFU g^{-1}	Sliced cooked ham	Koseki et al. (2007)
350 /2 /20	Esclierichla coli. O157:H7 mixing with thee stanins	3.0 $\log_{10}$ CFU ml^{-1}	Wetted green onion	Neetoo et al. (2011)
500/ 4/ 2	Esclierichla coli. O157:H7 Salmonella Typhimurium Listeria monocytogenes	5.0 $\log_{10}$ CFU ml^{-1}	Coconut water	Lukas et al. (2013)

(Source: ฤทธิชัย, 2558 ดัดแปลงจาก Doona and Feeherry, 2007; Lukas, 2013 and Da-Wen Sun, 2014)

การศึกษาการทนต่อความดันสูงของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ สามารถทำลายจุลินทรีย์พวก Bacillus cereus Campylobacter jejuni Candida utilis Esclierichla coli. Mocrococcus luteus Pseudomas aeruginosa Saccharomyces cerevisiae Salmonella typhimurium Staphylococcus aureus Streptococcus faecalis และ Yersinia enterotica ลงไปในเนื้อหมูบดเหลว (pork slurries) และทดลองทำลายจุลินทรีย์ด้วยแรงดันที่ 300-600 MPa ผลการศึกษาพบว่าสามารถทำลาย จุลินทรีย์ทั้งหมด ยกเว้น Bacillus cereus ซึ่งเป็นชนิดที่สร้างสปอร์โดยลดปริมาณลงเหลือน้อยกว่า 10 CFU mL-1 จากการสังเกตลักษณะของเนื้อหมูบดเหลวที่ผ่านการให้ความดันสูงพบว่ามีสีชีดจางลงและเกิดตกตะกอน ซึ่งลักษณะตะกอนที่ได้จะมีสีขาวกว่าและมีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความดันที่สูงกว่า 300 Mpa (Shigehisa et al., 1991) การเจริญและการขยายพันธุ์ของ Esclierichla coli ถูกยับยั้งที่ความดันระหว่าง 100-300 MPa และการขยายพันธุ์ (การเพิ่มจำนวนของเซลล์ที่มีชีวิต) จะถูกยับยั้งมากกว่าการเจริญและถูกทำลายที่ความดันสูงกว่า 400 Mpa โดยจะลดปริมาณลงมากกว่า 6 log10 cycle ภายในเวลา 10 min ที่ความดันสูง 400 Mpa และสปอร์ของเชื้อ Bacillus cereus จะถูกทำลายลดลงน้อยกว่า 1 log10 cycle เมื่อใช้ความดันสูง 600 Mpa การใช้ความดันสูงประสบความสำเร็จในการแปรรูปอาหารในระดับอุตสาหกรรมและถูกนำมาใช้ในการแปรรูปอย่างแผ่หลายและถูกนำมาใช้ในการแปรรูปผลิตผลิตภัณฑ์อาหารหลายรูปแบบภายใต้สภาวะการแปรรูปที่แตกต่างกันไปต่างๆ

Table 1 แสดงรายงานสรุปการศึกษาผลการทำลายจุลินทรีย์ภายใต้ความดันสูงในช่วง 350-500 MPa ของอาหารพวกเครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ประสิทธิภาพทำลายจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และสมบัติของอาหาร การแปรรูปโดยใช้ HPP เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารที่ความ

เป็นกรดอ่อน เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำส้ม น้ำเชอร์รี่แปรรูปพร้อมดื่ม พบว่า การแปรรูปด้วยแรงดันสูงที่ระดับ 350 MPa เป็นเวลา 30 min และใช้ตัวกลางน้ำที่อุณหภูมิ 5°C พบว่าสามารถลดปริมาณ Salmonella Enteritidis ได้มากกว่า 8.0 $\log_{10}$ CFU mL^{-1} สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Linton et al. (1999) พบว่าการแปรรูปด้วยแรงดันสูงมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ที่มีลักษณะผนังเซลล์หนาและมีความทนทานต่อการโดนทำลาย เช่น Esclierichla coli. O157:H7 โดยการใช้แรงดันสูงที่ระดับ 550 MPa เป็นเวลา 20 min และใช้ตัวกลางน้ำที่อุณหภูมิ 5°C เป็นตัวกลางสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้มากถึง 7.0 $\log_{10}$ CFU mL^{-1} ในขณะที่ผลการศึกษาของ Neetoo et al., (2011) พบว่าการให้ HPP ที่ 350 MPa เป็นเวลา 2 min และใช้ตัวกลางน้ำที่อุณหภูมิ 20°C ต่อการลดปริมาณ Esclierichla coli. O157:H7 ได้เท่ากับ 3.0 $\log_{10}$ CFU mL^{-1} จาก 3 รายงานวิจัยที่กล่าวมากพบว่า ผลของสมบัติของอาหาร เช่นความเป็นกรด จะช่วยเสริมประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ด้วยการใช้ HPP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ผลการศึกษาของ Lukas (2013) พบว่าการใช้ HPP ที่ระดับ 500 MPa เป็นเวลา 30 min และใช้ตัวกลางน้ำที่อุณหภูมิที่ 2°C สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์พวก Esclierichla coli. O157:H7 Salmonella Typhimurium Listeria monocytogenes ได้มากถึง 5.0 $\log_{10}$ CFU mL^{-1} ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรม ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปด้วยแรงดันสูง ด้วยวิธีการเปลี่ยนตัวกลางจากน้ำเป็น corbon dioxide ที่อุณหภูมิที่ 40°C ในการส่งถ่ายพลังงานกลในการทำลายจุลินทรีย์ และเพิ่มประสิทธิภาพในหยุดกระบวนการเมทาโบริซึมของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้ตัวกลางของน้ำ โดยใช้แรงดันเพียง 120 MPa เป็นเวลา 30 min แต่สามารถรักษาสมบัติทางกายภาพ กลิ่น สี รส อย่างเหมาะสม เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางประสาทสัมผัสพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะพร้าวสด (Cappelletti et al., 2015)

3.3 การทำลายสปอร์ (Damage in spores using HPP)

การศึกษาเทคโนโลยีการใช้แรงดันสูง (HPP) ในการทำลายสปอร์ของ Bacillus subtilis ปริมาณเริ่มต้น 8×10^4 spores mL^{-1} ที่อุณหภูมิ 93.6°C ที่ความดัน 1 atm พบว่าสามารถทำลายสปอร์ได้หมดภายในเวลา 1 h แต่ถ้าเพิ่มความดันเป็น 600 atm ที่อุณหภูมิ 93.6°C พบว่าต้องใช้เวลาถึง 4 h เพื่อที่จะทำลายสปอร์ได้หมด ในทางกลับกันพบว่าที่อุณหภูมิ อัตราการทำลายสปอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันสูงที่ใช้เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 25°C และความดัน 600 atm จะเร่งอัตราการทำลายสปอร์และพบสปอร์ที่รอดชีวิตปริมาณน้อยกว่า 10% ของจำนวนสปอร์เริ่มต้นหลังจากเวลาผ่านไป 48 h (Johnson and Zobell, 1949) นอกจากนั้น Sale et al. (1969) ศึกษาการทำลายสปอร์ของ Bacillus spp. โดยใช้ความดันสูงในช่วง 100 และ 800 MPa พบว่าอัตราการทำลายสปอร์จะสูงกว่าเมื่อใช้ความดันสูงในระดับต่ำกว่า (ประมาณ 100-300 MPa) และเมื่อใช้อุณหภูมิ 70°C ร่วมด้วยพบว่าอัตราการทำลายสปอร์จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นในช่วงความดันสูงระหว่าง 100-300 MPa ภายใต้แรงดันสูงประมาณ 20-30 MPaพบว่าทำให้สปอร์งอกกลายเป็นเซลล์แต่ความดันสูงระดับนี้ยังไม่สามารถทำลายเซลล์ได้และสปอร์ที่กระตุ้นด้วยความร้อน อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ความร้อนกระตุ้นการงอกของสปอร์และให้ความดันสูงกว่า 100 MPa จะมีผลน้อยกว่าการงอกของสปอร์เมื่อให้ความดันสูงในระดับต่ำกว่า (Gould and Sale, 1970) การใช้แรงดันสูงในการทำลายสปอร์นั้นพบว่าอุณหภูมิมีบทบาทที่สำคัญมาก ส่วนปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลรองลงมาได้แก่ค่า pH วอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity) และความแรงของอิออน (Ionic strength) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มงอกของสปอร์จะมีความแตกต่างกันไปตามระดับของความดันสูงลากรยับยั้งการงอกของสปอร์จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อ pH มีค่าปานกลางและมีประสิทธิภาพต่ำสุดเมื่อค่า pH สูงหรอต่ำเกินไป ความดันระดับที่ทำให้สปอร์เริ่มงอกไดดีจะมีความเหมาะสมที่ระดับ pH ปานกลาง สำหรับตัวถูกทำละลายที่ไม่แตกตัวเป็นอิออนที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำมีผลเล็กน้อยในการยับยั้งสปอร์ด้วยความดันสูง ในขณะที่สารละลายที่แตกตัวเช่น โซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ จะมีผลในการลดประสิทธิภาพในการยับยั้งสปอร์ซึ่งโดยทั่วไปสปอร์ส่วนใหญ่ไม่สามารถงอกได้ในสภาวะที่มีความดันสูง และปราศจากอิออนของสารอนินทรีย์เนื่องจากอิออนมีผลต่อการสลายตัวของสารเปปติโดไกลแคน (Peptidoglycan) จากปฏิกิริยาของเอนไซม์ระหว่างการงอก และยังมีผลทำให้การทนต่อความร้อนของสปอร์ในสารละลายบัฟเฟอร์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายสปอร์ในน้ำกลั่นที่ความดันสูงและอุณหภูมิเดียวกันในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำนมสเตอริไลส์บรรจุกระป๋องนั้นต้องใช้อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 20 min แต่วิธีนี้จะมีผลทำให้น้ำนมเกิดสีที่ผิดปกติ รวมทั้งเคซีน (Casein) เกิดการตกตะกอน (การแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูง, 2016)

Table 2 Response of spores of microorganisms (Pathogenic) to high hydrostatic pressure processing

HPP Treatmet (MPa/min/ °C)	Microorganism	Inactivation	Product	References
875 /10 /55	Clostridium botulinum nonproteolytic type B (KAP8-B)	1.8 $\log_{10}$ N_0 N^{-1}	Crabmeat blend	Reddy et al. (2006)
600 /20 /80	Bacillus cereus (AS 1.1846)	7.53 $\log_{10}$ N_0 N^{-1}	Milk buffer	Ju et al. (2008)
600 /12.5 /65	Clostridium perfringens (AS 64701)	2.54 $\log_{10}$ N_0 N^{-1}	Ultraheat-treated milk	Gao et al. (2011)
900 /5 /100	Clostridium sporogenes (PA 3679) spores	4.0 $\log_{10}$ CFU mL^{-1}	Ultraheat-treated milk	Shao et al. (2010)
520 /18 /40	Bacillus sporothermodurans LTIS27	3.3 $\log_{10}$ N_0 N^{-1}	Distilled water	Aouadhi et al. (2013)
600 /1 /75	Bacillus coagulans	4.0 $\log_{10}$ CFU mL^{-1}	Tomato Juice	Daryaei and Balasubramaniam (2013)

(Source: Da-Wen Sun, 2014)

Da-Wen Sun (2014) ได้รวบรวมเอกสารวิชาการและรายงานวิจัย การทำลายสปอร์ของแบตทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค (Pathogenic bacterial spores) ที่เกิดจากอาหารเป็นสื่อด้วยการแปรรูปอาหารด้วยแรงดันสูง (HPP) ที่สภาวะต่างๆ (Table 2) ผลของแรงดันสูงนั้นพบว่าเมื่อเปรียบเทียบข้อมูล สภาวะการแปรรูปด้วยแรงดันสูงของการทำลายจุลินทรีย์ (Table 1) พบว่าการทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์นั้นจำเป็นต้องใช้ความดันสูง รวมกับการใช้ความผ่านตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ระดับความดันสูงที่ใช้สำหรับการทำลายสปอร์มีระดับสูงถึง 520-900 MPa รวมกับการให้ความร้อนผ่านตัวกลางในช่วยอุณหภูมิ 65-80°C โดยสมบัติของอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากในการศึกษา เมื่อเปรียบเทียบรายงานวิจัยของ Shao et al. (2010) และ Daryaei and Balasubramaniam (2013) ที่ศึกษาผลของแรงดันสูงต่อการทำลายสปอร์จุลินทรีย์ของน้ำมะเขือเทศที่มีความเป็นกรด (มีระดับ ph 3.8-4.2) และน้ำนมดิบที่ไม่มีความเป็นกรดเลย พบว่าสามารถทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ได้ถึง 4.0 $\log_{10}$ CFU mL^{-1} พบว่าความเป็นกรดของอาหารจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ด้วยการใช้ความดันและอุณหภูมิของน้ำตัวกลางที่ต่ำ โดยการแปรรูปน้ำมะเขือเทศใช้ความดันที่ 600 MPa และอุณหภูมิของน้ำที่ 75°C ในขณะที่น้ำนมดิบจะใช้แรงดันสูงถึง 900 MPa และอุณหภูมิของน้ำที่ 100°C.

3.4 การประยุกต์ใช้แรงดันสูงในกระบวนการแปรรูปอาหาร

ปัจจุบันการใช้แรงดันสูงในกระบวนการแปรรูปอาหารกำลังเป็นที่นิยม และถูกพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์มาใช้ในระดับอุตสาหกรรมมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนคงที่ ของเครื่องจักรและอุปกรณ์การแปรรูปด้วยการใช้แรงดันสูงนั้นมีราคาลดลง จนสามารถนำมาใช้ในการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรมได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปด้วยระบบ HPP นั้นมีมูลค่าทางการตลาดที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปแบบดั้งเดิม โดยมีจุดเด่นในเรื่องรักษาคุณภาพ สำหรับการแปรรูปด้วยความดันสูงนั้นมีขั้นตอนการทำงานโดยการนำผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านเตรียมขั้นต้นแล้วและบรรจุในบรรจุภัณฑ์ด้วยเทคโนโลยีการบรรจุแบบปลอดเชื้อแล้วนำเข้าบรรจุการบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเวสเซล จากนั้นเวสเซลถูกลำเลียงเข้าสู่ห้องความดันในระบบปิด เติมน้ำในซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานกลจากแรงดันในการทำลายจุลินทรีย์ และสามารถกลับสู่รูปร่างเดิมได้เมื่อปรับสภาพความดันสูงกลับเข้าสู่สภาวะปกติ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ HPP เวสเซลที่บรรจุผลิตจะถูกปรับสภาพเข้าสู่ความดันปกติแล้ว และปล่อยน้ำทิ้งออกจากเวสเซล จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ออกจากเวสเซล (Figure 2) เข้าสู่การเปาแห้งและบรรจุเพื่อรอจำหน่ายต่อไป

ภาชนะบรรจุอาหาร (Package) ที่เหมาะสำหรับ HPP ต้องไม่มีส่วนผสมของแก๊ส ไม่มีที่ว่างในภาชนะบรรจุอาหาร และมีความชื้นสูง นอกจากนี้ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ต้องมีความเหมาะสม วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นพอที่และสามารถส่งความดันโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างเนื่องจากความดัน อาหารจะถูกบีบอัดและทำให้ภาชนะบรรจุอาหารเสียรูปได้ วัสดุแข็งเช่นโลหะและกระจกไม่เหมาะสมเพราะไม่สามารถทนต่อความดันสูง บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมควรมีความยืดหยุ่นและสามารถรองรับการต่อความดันสูงได้ Figure 3 แสดงภาพถ่ายของระบบการแปรรูปด้วยการใช้แรงดันสูงในระดับอุตสาหกรรมของการพาสเจอร์ไรซ์ของบริษัทเอกชนในประเทศอเมริกา

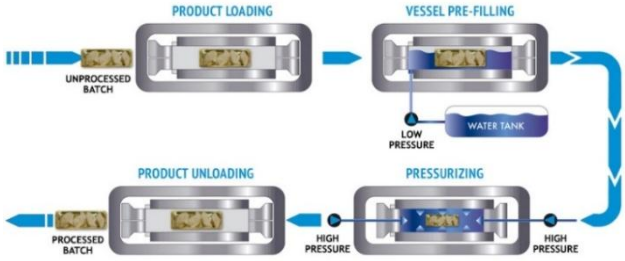

Figure 2 Diagram of high pressure food processing work (Source: http://www.hpplosangeles.com).

Figure 3 Actual photograph of a batch HPP system owned and operated by American Pasteurization Company (Source: Ferstl and Ferstl; the National food lab, 2013).

4 สรุป

การแปรรูปด้วยการใช้ความดันสูง (HPP) แต่เป็นการใช้ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ (400-600 MPa) มีความสามารถและผลการทำลายจุลินทรีย์เทียบเคียงกับการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน เช่นการพาสเจอร์ไรซ์ ด้วยวิธีใช้ความร้อนสูง - เวลาสั้น (HTST) และอาหารที่มีความกรด (Acid foods) หรือมีค่า pH ≤ 4.5 พบว่าประสิทธิภาพของทำลายจุลินรีย์มีประสิทธิภาพเทียบเท่าการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงเพราะสามารถทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ได้หมด จุดโดดเด่นของการแปรรูปด้วยเทคโนโลยี HPP เป็นเทคโนโลยีที่สะอาดแต่ใช้อุณหภูมิในการแปรรูปไม่เกินที่ 45°C การแปรรูปด้วยเทคโนโลยี HPP จะช่วยรักษาสมบัติทางเคมีและกายภาพ ผลิตภัณฑ์มีความสด กลิ่น สี รสที่ใกล้เคียงธรรมชาติ ทำให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ส่งผลต่อการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์

5 เอกสารอ้างอิง

ฤทธิชัย อัศวราชันย์. 2558. การแปรรูปด้วยแรงดันสูง เอกสารคำสอนวิชา วอ.482 การแปรรูปอาหารสมัยใหม่.คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตมหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.

การแปรรูปอาหารโดยใช้ความดันสูง. 2016. คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยนเรศวร. Available at: http://conf.agi.nu.ac.th/agmis/download/publication/70_file.pdf. Accessed on 20 April 2016.

Cappelletti, M., Ferrentino, G., Endrizzi, Aprea, E., Betta, E., Maria Laura Corollaro, M.L., Charles, M. Flavia Gasperi, F. Spilimbergo, F. 2015. High pressure carbon dioxide pasteurization of coconut water: A sport drink with high nutritional and sensory quality. Journal of Food Engineering 145, 73-81.

Da-Wen, Sun. 2014. High Pressure Processing: An overview. (2nd ed.). Emerging Technologies for Food Processing. Academic Press is an imprint of Elsevies. London: United Kingdom.

Daryaei, H., Balasubramaniam, V.M. 2013. Kinetics of bacillus coagulans spore inactivation in tomato juice by combined pressure–heat treatment. Food Control 30(1), 168-175.

Doona, C.J., Feeherry, F.E. 2007. High Pressure Processing of Foods. Blackwell Publishing Asia. Victoria: Australia.

Gould, G.W., Sale, A.J.H. 1970. Initiation of germination of bacterial spores by hydrostatic pressure. Journal of general microbiology Society for General Microbiology 60, 335-346.

Hoover, D.G., Metrick, C., Papineau, A.M., Farkas, D.F., Knorr, D. 1989. Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms. Food Technology 43(3), 99-107.

Farkans, D.F., Hoover, D.G. 2000. High pressure processing. Journal of Food Science Supplement 65, 47-64.

Ferstl, C., Ferstl, P. 2013. High pressure processing: Insights on technology and regulatory requirements. The National food lab 10, 1-6.

Johnson, F.H., Zobell, C.E. 1949. The retardation of thermal disinfection of Bacillus subtilis spores by hydrostatic pressure. Journal of Bacteriol 57, 353-358.

Neetoo, H., Lu., Y., Wu., C., Chen, H. 2012. Use of high hydrostatic pressure to inactivate Escherichia coli O157:H7 and Salmonella enternalizaed within and Adhered to preharvest contaminated green onions. Applied and Environmental Microbiology 78(6), 2063-2065.

Linton, M., McClements, J.M.J., Patterson, M.F. 1999. Inactivation of *Escherichia coil* O157:H7 in orange juice using a combination of high pressure and mild heat. Journal of Food Protection 3, 211-301.

Lukas, A.R. 2013. Use of high pressure processing to reduce foodborne pathogen in coconut water. Master of Science. Blacksbug Virginia, United States: Department of Food Science and Technology, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Sale, A.J.H., Gould, G.W., Hamilton, W.A. 1969. Inactivation of bacterial spores by hydrostatic pressure. The Journal of General and Applied Microbiology 60(3), 323-346.

Shigehisa, T., Ohmori, T., Saito, A., Taji, S., Hayashi, R. 1991. Effects of high pressure on the characteristics of pork slurries and the inactivation of micro-organisms associated with meat and meat products. International Journal of Food Microbiology 12, 207–216.