เทคโนโลยีใหม่ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากโปรตีนพืช

นิพัฒน์ ลิ้มสงวน

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล : ifrnpl@ku.ac.th
รับเมื่อ 9 ตุลาคม 2566 **แก้ไขเมื่อ** 16 มกราคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 18 มีนาคม 2567

จุดเด่น

- ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากโปรตีนพืช
- เทคโนโลยีใหม่ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม
- คุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมด้วยการใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันกระแสของการทดแทนโปรตีนจากสัตว์ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ด้วยโปรตีนพืชมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภคที่มีความห่วงใยในสุขภาพรวมทั้งสภาพสิ่งแวดล้อมซึ่งสัมพันธ์กับประเด็นความมั่นคงทางอาหารในอนาคต เนื่องด้วยโปรตีนจากพืชเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีต้นทุนต่ำ กอปรกับคุณค่าเชิงสุขภาพจากสารพฤกษเคมีและใยอาหารสูง แหล่งของโปรตีนจากพืชหลัก ๆ ได้แก่ พืชตระกูลถั่ว โดยเฉพาะถั่วเหลืองซึ่งมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง นำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเนื้อเทียม ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมชนิดความชื้นต่ำและความชื้นสูง โดยเนื้อเทียมชนิดความชื้นต่ำมีการผลิตจำหน่ายอย่างแพร่หลายมากว่า 40 ปี ในขณะที่เนื้อเทียมชนิดความชื้นสูงจะให้คุณลักษณะใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์จริง เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยในประเทศไทยมาไม่นาน ทำให้ในท้องตลาดยังมีผลิตภัณฑ์ชนิดนี้อยู่น้อยมาก กระบวนการดั้งเดิมของการผลิตเนื้อเทียม เช่น กระบวนการเอกซ์ทรูชัน ยังมีข้อจำกัดในการพัฒนาคุณลักษณะและคุณภาพของเนื้อเทียมให้ตรงตามความต้องการของตลาด จำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น การใช้ความดันสูง การปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า เทคโนโลยีโคลด์พลาสมา การพิมพ์อาหารสามมิติ เป็นต้น ร่วมกับการวิจัยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่มีคุณลักษณะที่ดี มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีความปลอดภัยในการรับประทาน เป็นต้น

คำสำคัญ : เทคโนโลยีใหม่ โปรตีนจากพืช ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์

Neo technology for research and development of meat analogue from plant-based protein

Nipat Limsangouan

Department of Food Processing and Preservation,
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
E-mail : ifrnpl@ku.ac.th
Received 9 October 2023; **Revised** 16 January 2024; **Accepted** 18 March 2024

Highlights

- Meat analogue from plant-based protein
- Neo technology related to research and development of meat analogue
- Characteristics and quality of meat analogue using different technologies

Abstract

Nowadays, there is a growing trend to replace animal proteins in food products with plant-based ones, which is mainly driven by consumers' health concerns and environmental concerns associate with food sustainability issues due to its low-cost source of protein. In addition to the health benefit from phytochemical substances and high dietary fiber. The main sources of plant-based protein are legumes. Especially soybeans, which have a relatively high protein content and been used as the main raw material in the production of meat analogue. There are two types of meat analogue, low and high moisture products. The low moisture type has been widely produced and sold for more than 40 years, while the high moisture type that gave the characteristics similar to real meat has been done in Thailand recently. Then, there are few products of this type on the market. By the traditional process of producing meat analogue, such as the extrusion process. There are limitations in the texture and quality requirement for the market. There is a need for neo technology applications such as high pressure, electrostatic spinning, cold plasma, 3-D printing, etc. for research and development to reach the best characteristics, high nutrition and safe for consumption.

Keywords : neo technology, plant-based protein, meat analogue, product research and development

บทนำ

ในปัจจุบันกระแสรักสุขภาพและตลาดอาหารเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ผู้คนจำนวนไม่น้อยหันมาเลือกรับประทานอาหารมังสวิรัติ ลดการบริโภคเนื้อสัตว์ และเลือกรับประทานอาหารที่มีไขมันและคอเลสเตอรอลต่ำ แต่เพื่อให้ร่างกายได้ปริมาณโปรตีนตามความต้องการในแต่ละวัน การรับประทานโปรตีนจากพืชโดยเฉพาะพืชตระกูลถั่วจึงมีแนวโน้มได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องด้วยเป็นแหล่งของโปรตีนและใยอาหารสูงที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย รวมถึงสารพฤกษเคมี โดยเฉพาะในถั่วที่มีสี ที่ช่วยส่งเสริมคุณค่าเชิงสุขภาพ อีกทั้งตลาดผลิตภัณฑ์โปรตีนทดแทนเนื้อสัตว์กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุผลทางด้านสุขภาพและเหตุผลทางด้านสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างผลิตภัณฑ์โปรตีนทดแทนเนื้อสัตว์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่ เต้าหู้ ถั่วหมัก และเนื้อเทียม

โปรตีนเกษตรเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่ผลิตจากแป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน ซึ่งมีส่วนแบ่งทางการตลาดสูง ผลิตโดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นผู้นำทางด้านการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากถั่วเหลืองที่มีองค์ความรู้ในด้านกระบวนการผลิตและมีนักวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญในด้านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน และการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์คล้ายเนื้อสัตว์ที่มีการผลิตและจำหน่ายในประเทศไทยในปัจจุบันยังค่อนข้างมีข้อจำกัดในแง่ของการออกแบบลักษณะเนื้อสัมผัสให้ใกล้เคียงเนื้อสัตว์จริง เช่น เนื้อวัว เนื้อปลา เนื้อไก่ หรือผลิตภัณฑ์ เบคอน แฮม ประกอบกับผลิตภัณฑ์โปรตีนเกษตร (Figure 1a) หรือ textured vegetable protein นั้นมีความชื้นต่ำ ส่วนใหญ่อยู่ในลักษณะของแห้งมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 ซึ่งต้องนำมาดูดน้ำกลับก่อนนำไปใช้ประกอบอาหารเพื่อบริโภค และยังค่อนข้างจำกัดในแง่ของลักษณะเนื้อสัมผัสและรูปร่างที่มีการออกแบบหรือพัฒนาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โปรตีนคล้ายเนื้อสัตว์ ด้วยเหตุนี้จึงมีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์โปรตีนเกษตรรูปแบบใหม่นี้ให้เป็นโปรตีนคล้ายเนื้อจากถั่วด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ความชื้นสูง[1] จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนคล้ายเนื้อที่เรียกว่า high moisture meat analogue (Figure 1b) มีลักษณะโครงสร้างเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์จริงมากขึ้น โครงสร้างของเส้นใยมีความเหนียวแน่นหนึบมากขึ้นเมื่อเทียบกับโปรตีนเกษตรรูปแบบเดิม สามารถนำมาประกอบอาหารได้ทันทีโดยไม่ต้องนำไปแช่น้ำ และควรเก็บรักษาในตู้เย็นหรือแช่แข็ง จากการสำรวจเอกสารในช่วงเวลาที่ผ่านมาพบว่า การใช้เทคโนโลยีการผลิตด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันชนิดความชื้นสูงสามารถเปลี่ยนรูปโมเลกุลของโปรตีนถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์คล้ายเนื้อสัตว์ที่มีการจัดเรียงโครงสร้างคล้ายมัดกล้ามเนื้อเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งผลิตภัณฑ์โปรตีนเกษตรรูปแบบใหม่นี้ได้เกิดขึ้นจากการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงและดัดแปลงเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนคล้ายเนื้อจากถั่วชนิดอื่น ๆ ให้อยู่ในรูปแบบหรือใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม (meat analogue) ก็ย่อมจะเป็นผลดีต่อผู้บริโภคด้วย[2]

(a) (b)

Figure 1 Extrudate soy-based meat analogue[1]: a) texture vegetable protein, and b) high moisture meat analogue

เดิมการรับประทานผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์จากพืชเป็นที่แพร่หลายในช่วงเทศกาลถือศีลกินเจในประเทศไทยอยู่แล้ว อีกทั้งหลังจากทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยต้องเจอกับสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (Covid-19) มีการให้ความสำคัญกับการใส่ใจสุขภาพจากการเลือกรับประทานอาหารมากขึ้น คุณประโยชน์จากการเลือกรับประทานโปรตีนจากพืช จากงานวิจัยได้แนะนำว่า อาหารที่เน้นพืชเป็นหลักจะมีเส้นใยอาหารที่อาจมีบทบาทในการป้องกันโรคอ้วน มะเร็งลำไส้ เบาหวาน ลดปริมาณคอเลสเตอรอล และลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจ[3] ซึ่งเนื้อเทียมจากพืชนั้นให้พลังงาน ไขมันรวม และไขมันอิ่มตัว ต่ำกว่าเนื้อสัตว์ แต่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์[4] การรับประทานโปรตีนจากพืชจะช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันร่างกายให้แข็งแรงมากขึ้น เพราะโปรตีนจากพืชบางชนิดมีส่วนสำคัญที่จะช่วยเพิ่มปริมาณกลูตาไธโอนให้กับร่างกายเปรียบเสมือนเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ[5] ในขณะที่ เรไร[6] ชี้ให้เห็นถึงการบริโภคโปรตีนจากพืชยังช่วยในเรื่องของการสร้างความมั่นคงทางด้านอาหาร ซึ่งเป็นวาระเร่งด่วนของโลกในปัจจุบัน โดยเฉพาะสภาวการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส Covid-19 การดำเนินชีวิตวิถีปกติใหม่ (new normal) ยิ่งทำให้คนตื่นตัวและตระหนักถึงความสำคัญมากขึ้น[7]

กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากโปรตีนพืช

กระบวนการในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากโปรตีนพืชนั้น มีการค้นคว้าและวิจัยอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ซึ่งมีการใช้เทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย โดยแบ่งได้ 2 เทคนิคหลัก คือ top-down เป็นการขึ้นรูปจากส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้เครื่องมือเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ได้เป็นโครงสร้างคล้ายเนื้อสัตว์ และ bottom-up เป็นการสังเคราะห์สร้างเนื้อเยื่อจากขนาดเล็ก ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นกลายเป็นชิ้นอาหารที่สามารถรับประทานได้ โดยทั้ง 2 เทคนิคนี้มีทั้งเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการและเทคโนโลยีที่สามารถผลิตได้ในเชิงพาณิชย์[8]

ผลิตภัณฑ์โปรตีนพืชในลักษณะของเนื้อเทียมชนิดความชื้นสูง (high moisture meat

analogue: HMMA) ผลิตจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ซึ่งแต่เดิมใช้กระบวนการผลิตแบบ fiber spinning process มีข้อด้อยในแง่ของกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน มีการใช้สารเคมี เช่น กรดด่าง เข้ามาเกี่ยวข้อง และผลิตได้น้อยเนื่องจากกระบวนการผลิตเป็นแบบชุดไม่ต่อเนื่อง อีกทั้งยังใช้โปรตีนถั่วเหลืองบริสุทธิ์ที่มีราคาแพงเป็นวัตถุดิบ โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่ที่มีการออกแบบหน้าแปลนเป็นพิเศษในรูปแบบของ long cooling die (Figure 2) โดยมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน (defatted soy flour) และ/หรือ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (isolated soy protein) ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์แต่ใช้วัตถุดิบจากพืช ใช้บริโภคทดแทนเนื้อสัตว์ มีลักษณะเนื้อแน่น มีความเป็นเส้นใยสูง โครงสร้างเส้นใยเป็นชั้น ๆ ยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม คงความเป็นเส้นใยเมื่อผ่านความร้อนในการประกอบอาหารและมีความน่าเคี้ยว แต่เนื่องด้วยเนื้อสัมผัสที่มีความชุ่มฉ่ำและมีความชื้นสูง ผลิตภัณฑ์นี้จึงยังคงต้องเก็บรักษาในสภาวะที่เย็นหรือแช่แข็ง เพื่อให้คงอายุการเก็บรักษาได้เป็นเวลาที่นานยิ่งขึ้น ผลิตภัณฑ์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประกอบอาหารเพื่อบริโภคหลากหลายรูปแบบได้มากขึ้น[2] สอดคล้องกับการรายงานผลการวิจัยของ Sman และ Goot[9] ซึ่งได้อธิบายถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนพืชในกระบวนการผลิตเนื้อเทียมจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ในแง่ของการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเส้นใยในระหว่างกระบวนการแปรรูปจนได้ลักษณะคล้ายเนื้อ รวมถึงผลของการหมักเนื้อเทียม และการแช่แข็งที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

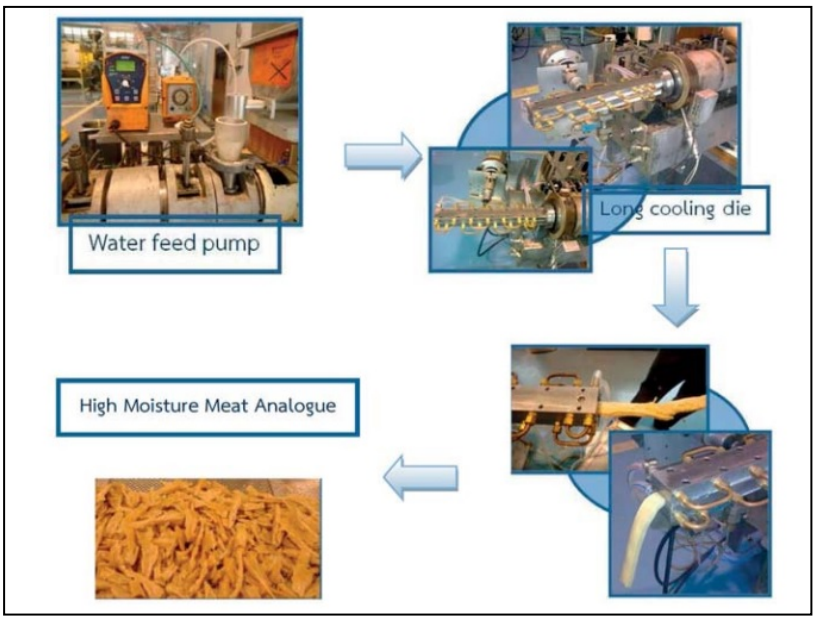

Figure 2 High moisture meat analogue production[1]

เทคโนโลยีใหม่ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

จากความต้องการผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชมีแนวโน้มที่สูงมากขึ้นในแต่ละปี จึงทำให้เกิดงานวิจัยที่ศึกษา ค้นคว้าเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากวัตถุดิบต่าง ๆ รวมถึงคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ด้วยกระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของการสร้างนวัตกรรมอาหารจากโปรตีนพืชที่สามารถตอบสนองความต้องการผู้บริโภคในยุคปัจจุบันได้เป็นอย่างดี บทความนี้ขอนำเสนอตัวอย่างงานวิจัยที่แสดงผลของเทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม เพื่อเป็นข้อมูลในการต่อยอดงานวิจัยทางด้านนี้ของประเทศไทยให้มีความเข้มแข็งและสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพในเชิงพาณิชย์

การแปรรูปด้วยความดันสูง (high pressure processing)

กระบวนการใช้ความดันสูง เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีการศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้กับอาหารเป็นเวลานานกว่าศตวรรษ และในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตและแปรรูปโดยใช้กระบวนการนี้ประสบผลสำเร็จทางการค้ามากมาย ข้อดีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากเดิม จึงทำให้ยังคงรักษาคุณค่าทางอาหารไว้ได้ อีกทั้งยังมีรายงานถึงการใช้ความดันสามารถปรับปรุงคุณลักษณะทั้งด้านการละลาย (solubility) การเป็นอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) การอุ้มน้ำ (water holding) การเกิดโฟม (foaming) รวมถึงความสามารถในการย่อย (digestion) ของโปรตีนจากพืชเมล็ดและพืชตระกูลถั่ว[10] แม้ว่ากระบวนการใช้ความดันสูงนั้นจะต้องใช้งบประมาณเริ่มต้นในการลงทุนค่อนข้างสูง แต่จะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าในระยะยาว อีกทั้งเทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีสะอาดไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีการใช้ความดันสูงนี้ มีการศึกษาผลของความดันต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนจากถั่วลันเตาต่อการเกิดเจลพบว่า ที่ความดัน 400 MPa เป็นเวลา 15 นาที สามารถส่งเสริมการเกิดและความแข็งแรงของเจลทดแทนการใช้โปรตีนจากนมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้[11]

ในปี พ.ศ. 2565 นิพัฒน์ และคณะ[12] ศึกษาผลของกระบวนการให้ความดันต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมชนิดความชื้นสูงที่ใช้แป้งถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลัก จากการทดลองในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ จุลินทรีย์และสารระเหยให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมชนิดความชื้นสูงเมื่อผ่านการใช้ความดันที่สภาวะที่แตกต่างกัน (200 400 และ 600 MPa ที่เวลา 5 10 และ 15 นาที) เมื่อผ่านระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (56 วัน) พบว่า ความดันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ที่สว่างกว่าตัวอย่างควบคุมจากการยับยั้งการเกิดสารสีน้ำตาลได้ แต่เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ความสว่างลดลง ในขณะที่ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะความแข็งและความเหนียวของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความดันจะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งให้ลักษณะที่ดีคล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์มากขึ้นโดยเฉพาะค่าความเหนียว เมื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ตลอดระยะการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความดันสูง (600 MPa) สามารถลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้สูงที่สุด แต่ข้อเสียของการใช้ความดันคือจะทำให้กลิ่นของถั่วเด่นชัดมากยิ่งขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ยอมรับกลิ่นถั่วได้

การปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต (electrostatic spinning)

การปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้าสถิต เป็นการอาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงไปที่ปลายเข็มทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่ผิวพอลิเมอร์เหลว เมื่อความเข้มของสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจนทำให้แรงผลักมีมากกว่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ทำให้สารละลายพอลิเมอร์ยืดยาวออกอย่างต่อเนื่อง[13] เนื่องด้วยผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดผลิตจากแป้งหรือโปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเรียงต่อกันคล้ายพอลิเมอร์จึงมีการประยุกต์วิธีนี้มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น เช่นมีการใช้กระบวนการนี้ในการดัดแปลงเนื้อสัมผัสอาหารสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะเนื้อนุ่มนิ่ม ชุ่มชื้น เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่มีปัญหาการเคี้ยวหรือการกลืนได้[14] การทดลองของ Yang และคณะ[15] ซึ่งศึกษากระบวนการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้าโดยใช้วัตถุดิบหลักเป็นโปรตีนจากเมล็ดของดอกคำฝอย (safflower seed meal protein: SMP) เพื่อผลิตแผ่นเนื้อเทียมจากเส้นใยขนาดนาโน (plant protein-based nanofibers) ที่มีรูพรุน มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ โดยการเตรียมในสารละลาย cinnamaldehyde และล้างในสารละลายบัฟเฟอร์ของกรดซิตริก โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง SMP ต่อ พูลลูแลน (pullulan: มิวโคพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ สามารถทำให้เกิดลักษณะเจล) คือ 5:5 เตรียมให้ได้ร้อยละ 20 (w/v) ในสารละลายที่ใช้ในการ spinning ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการกำจัดพูลลูแลนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แล้วจะทำให้ได้แผ่นเนื้อเทียมที่มีการสานของเส้นใยโปรตีนขนาดนาโนที่มีรูพรุน มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ที่สามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น และมีความคงทนต่อความร้อนได้มากขึ้นด้วย ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถต่อยอดในการผลิตนวัตกรรมอาหารเพื่อสุขภาพโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่มีความใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์มากยิ่งขึ้นด้วย

กระบวนการเกิดโฟมขนาดไมโคร (micro-foaming)

จากกระแสการตื่นตัวในการหันมาบริโภคผลิตภัณฑ์โปรตีนทางเลือกจากพืชเพิ่มสูงขึ้น นักวิจัยจึงมุ่งเน้นในการค้นคว้าและศึกษาถึงกรรมวิธีในการพัฒนาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมให้มีความคล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์ ซึ่งโดยปกติแล้วผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันจะมีลักษณะเนื้อแน่น มีความเป็นเส้นใย และมีความใกล้เคียงเนื้อสัตว์ แต่ยังคงมีข้อด้อยในลักษณะของเนื้อที่แน่นเกินไป มีการอุ้มหรือซับน้ำได้น้อย ทำให้การยอมรับของผลิตภัณฑ์ยังไม่สูงมากนัก จึงมีความพยายามในการพัฒนากระบวนการสร้างโพรงอากาศในลักษณะของ micro-foaming ให้มีความคงตัวตลอดระยะเวลาในการผลิต Zink และคณะ[16] ศึกษากระบวนการสร้างโพรงอากาศจากการสร้างก๊าซในระบบ (Figure 3) และการกำหนดขนาดของโพรงอากาศให้มีขนาดเล็กแต่มีความคงตัวสูงสุด โดยใช้

วัตถุดิบ คือ ผงโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (soy protein concentrate powder) ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่ มีการฉีดน้ำมันคาโนลาและก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ระบบเพื่อให้เกิดระบบอิมัลชันและเกิดโพรงอากาศขึ้น และทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี การดูดซับน้ำและน้ำมัน คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (hardness) และการเกาะติด (cohesiveness) จากการทดลองพบว่า เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในระหว่างกระบวนการผลิตทำให้การยอมรับด้านความสว่างของสี (perceptual lightness) เพิ่มสูงขึ้น การอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น และความเหนียวหนืบของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า การสร้างโพรงอากาศในลักษณะของโฟมขนาดเล็ก ด้วยการฉีดก๊าซไนโตรเจนทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่พัฒนาขึ้นนี้มีการยอมรับจากผู้ทดสอบมากขึ้นทั้งในลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความสามารถในการอุ้มน้ำ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์มากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Schreuders และคณะ [17] ซึ่งศึกษาในโปรตีนของถั่วลันเตา และถั่วเหลืองที่มีการผสมกลูเตนในกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ทำให้การยอมรับผลิตภัณฑ์จากผู้บริโภคเพิ่มสูงขึ้นไปด้วย กระบวนการสร้างโพรงอากาศนี้จึงเป็นการส่งเสริมระบบการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นนั่นเอง

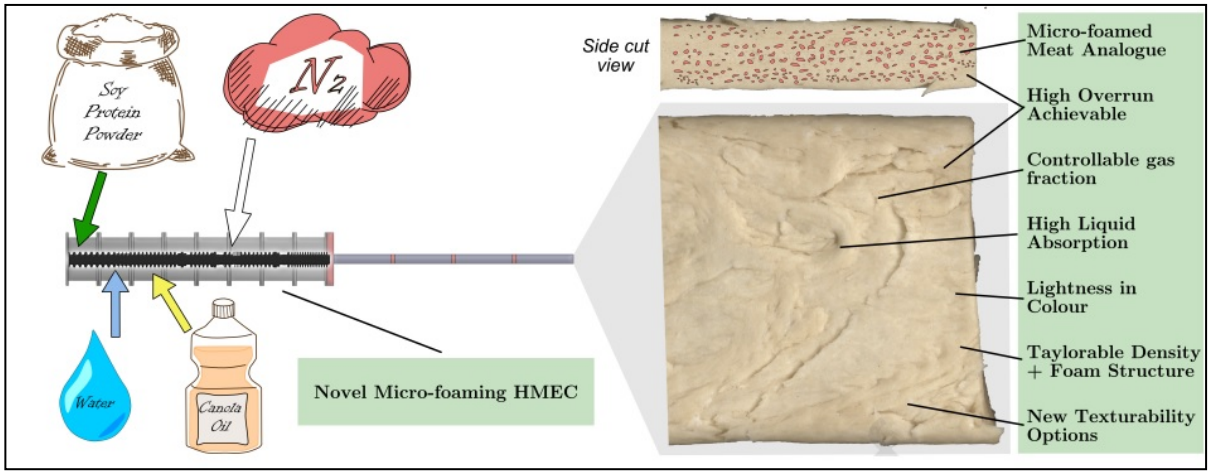

Figure 3 Preparation process of micro-foamed meat analogue[16]

เทคโนโลยีอัลตราซาวด์ (ultrasound)

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตราซาวด์ในการสกัดสารสำคัญจากวัตถุดิบทางธรรมชาติ หลักการของอัลตราซาวด์กล่าวคือใช้คลื่นเสียงความถี่ต่ำ (16-100 kHz) และความเข้มของกำลัง (power intensity) ที่ระดับ 10-1000 W/cm^3 ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีอุณหภูมิ (5000 K) และความดันสูง (1000 atm)[18] ซึ่งสามารถทำลายผนังเซลล์ของพืช ทำให้เกิดการสกัดสารต่าง ๆ ออกมาจากเซลล์ นอกเหนือจากความสามารถในการสกัดแล้ว ผลของอัลตราซาวด์ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของโปรตีนซึ่ง

เป็นองค์ประกอบที่พบได้ในเซลล์พืช Ampofo และ Ngadi[19] อธิบายถึงการเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างปฐมภูมิไปจนถึงโครงสร้างจตุรภูมิ (Figure 4) ซึ่งเกิดจากการที่คลื่นอัลตราซาวด์เข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนทำให้รูปร่างของสายโปรตีนที่มีลักษณะเป็นพอลิเมอร์เกิดการแตกหัก และจัดรูปร่างโปรตีนขึ้นใหม่ จึงทำให้สมบัติต่าง ๆ ของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ความสามารถในการละลายน้ำ[20] ความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์[21] ความสามารถในการอุ้มน้ำ[22] ความสามารถในการเกิดเจล[20] และความสามารถในการเกิดโฟม[23] เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการต่อยอดความรู้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่สามารถควบคุมสมบัติที่สำคัญเพื่อให้ได้เนื้อเทียมที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์มากที่สุด

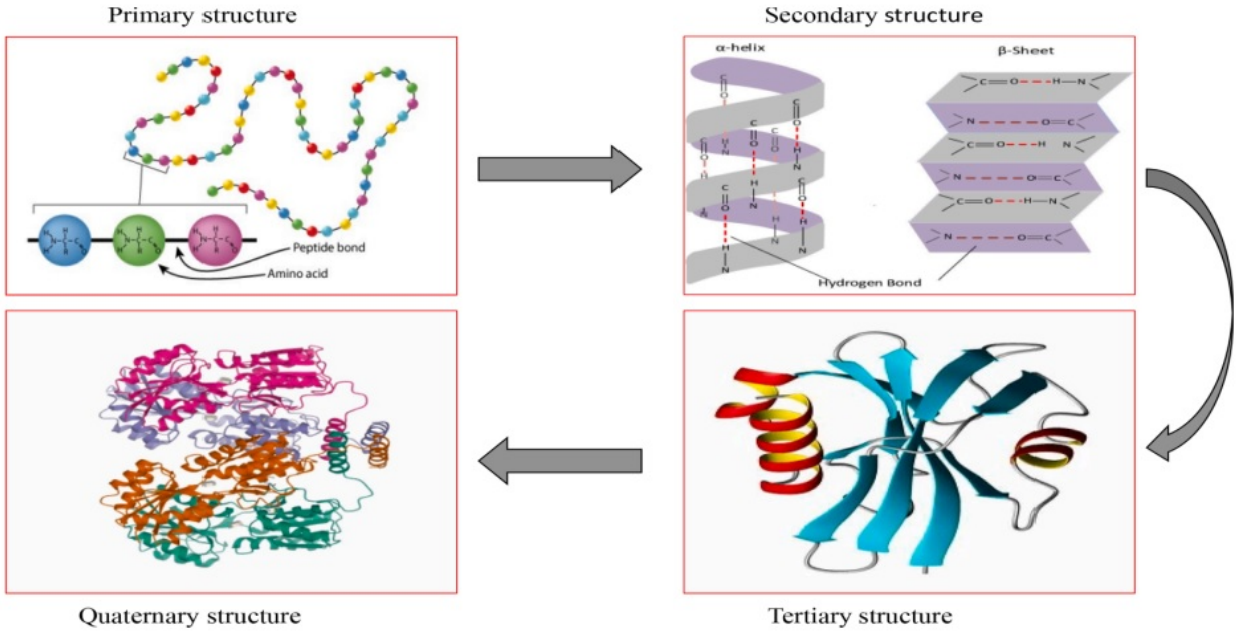

Figure 4 Schematic illustration of protein conformational levels[19]

เทคโนโลยีโคลด์พลาสมา (cold plasma)

คำว่า “พลาสมา” ถูกใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1928 โดย Irving Langmuir ผู้ค้นพบสถานะที่ 4 เป็นสถานะของ neutral ionized gas ซึ่งเป็นก๊าซที่ประกอบไปด้วยอิเล็กตรอน (electron) โฟตอน (photons) positive และ negative ions อนุมูลอิสระ (free radical) โมเลกุลของก๊าซ (gases molecules) และอะตอม (atom) ซึ่งอยู่ทั้งในสถานะพักและสถานะกระตุ้น พลาสมาสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายวิธีการ เช่น การใช้ลำแสงกำลังสูง หรือการใช้กระแสไฟฟ้ากำลังสูง เป็นต้น โดยปกติสามารถทำให้เกิดความร้อน และไม่ก่อให้เกิดความร้อน (โคลด์พลาสมา : cold plasma) ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งและกระบวนการในการสร้างพลาสมา ในกรณีของโคลด์พลาสมา ซึ่งถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อน

เกิดขึ้นจากช่องของกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง ในรูปของก๊าซที่อุณหภูมิห้องซึ่งการที่ไอออนและองค์ประกอบของก๊าซมีอุณหภูมิต่ำ จึงส่งผลดีต่อการนำโคลด์พลาสมามาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อช่วยคงคุณภาพและความพึงพอใจทางด้านประสาทสัมผัสในตัวผลิตภัณฑ์อาหารที่นำมาใช้[24] Oner และคณะ[25] ได้อธิบายถึงสถานการณ์ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโคลด์พลาสมาสำหรับผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช โดยเทคโนโลยีนี้ในเบื้องต้นใช้เพื่อการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ โดยภายหลังการทดลองพบว่า เทคโนโลยีนี้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่ผ่านการพาสเจอไรส์ จากกลไกในการทำให้ผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เกิดรูรั่ว และทำลายองค์ประกอบภายในเซลล์ มีการศึกษาผลของโคลด์พลาสมาต่อองค์ประกอบของโปรตีนในอาหาร ซึ่งช่วยในการส่งเสริมสมบัติเฉพาะทางเคมีกายภาพ เช่น การเพิ่มความสามารถในการจับกับน้ำของโปรตีนถั่วลิสงกับ sesbania gum[26] ที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 160 หรือการเพิ่มความคงตัวของโฟมโปรตีน gliadin ของข้าวสาลี[27] ที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 70 ในขณะที่ Bormashenko และคณะ[28] รายงานผลของโคลด์พลาสมาต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 32 เมื่อผ่านการใช้เทคโนโลยีโคลด์พลาสมาที่ 15 kV นาน 5-120 วินาที ซึ่งสมบัติดังกล่าวบ่งชี้ถึงความสามารถในการอุ้มน้ำและทำให้เนื้อเทียมที่ผ่านการใช้โคลด์พลาสมามีความนุ่มและคล้ายเนื้อสัตว์มากยิ่งขึ้น โดยสรุปแล้วเทคโนโลยีโคลด์พลาสมานอกเหนือจากการทำลายเชื้อจุลินทรีย์และทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมีอายุการเก็บรักษาที่นานมากขึ้นแล้ว ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางด้านเคมีกายภาพของโปรตีนที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากพืช

เทคโนโลยีพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง (pulsed electric field)

Pulsed electric field (PEF) คือ การใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะ เป็นเทคนิคการให้กระแสไฟฟ้าที่มีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง ที่มีลักษณะเป็นจังหวะ (pulse) แก่อาหารโดยผ่านขั้วอิเล็กโทรดในช่วงเวลาสั้น จัดเป็นวิธีการแปรรูปอาหารแบบไม่ใช้ความร้อน (non-thermal process) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ที่อุณหภูมิปกติ โดยหลักการทำงานของ PEF คือ การให้สนามไฟฟ้า ผ่านขั้วอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับอาหาร เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อมีการสะสมประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จนทำให้มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤตที่จะส่งผลทำให้เกิดการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งจะใช้เวลาสั้นมาก และทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “electroporation” หรือ “poreformation” ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดการแตกเป็นรู ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะการเป็นเยื่อเลือกผ่านเพิ่มขึ้น มีการไหลเข้า-ออก ของสารมากขึ้น[29] Guo และคณะ[30] ทำการศึกษาผลของ PEF ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของเนื้อเทียมที่ทำมาจากกลูเตน โดยวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ การอุ้มน้ำมัน โครงสร้างภายใน เนื้อสัมผัส

และลักษณะทางกายภาพของกลูเตน จากการทดลองพบว่า PEF ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน[31] ในขณะที่ค่าวิเคราะห์ทางเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความเคี้ยวได้ (chewiness) ความเหนียว (gumminess) และการเกาะติด (cohesiveness) เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Zhang และคณะ[32] อีกทั้ง PEF ส่งเสริมการเกิดโพรงอากาศขนาดเล็ก ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสที่ทำให้เกิดความนุ่มนิ่ม อุ้มน้ำได้ดี มีความคล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์เป็นอย่างมาก

เทคโนโลยีโอห์มิก (ohmic heating)

การให้ความร้อนแบบโอห์มิก เป็นการให้ความร้อนจากความต้านทานไฟฟ้าของอาหาร เนื่องจากอาหารมีความต้านทานไฟฟ้า การส่งผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในอาหารจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นทั่วทุกส่วนของอาหารอย่างสม่ำเสมอ ลักษณะการให้ความร้อนแบบโอห์มิก คือ การเหนี่ยวนำทำให้เกิดความร้อนจากความต้านทานไฟฟ้าของอาหาร[29] และจากกระแสของการบริโภคเนื้อเทียมจากโปรตีนพืชมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการศึกษากระบวนการแปรรูปต่าง ๆ ที่สามารถส่งเสริมให้วัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ โปรตีนจากถั่วเหลือง มีคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงเนื้อให้มากที่สุด เช่น กระบวนการเอกซ์ทรูชัน การแช่แข็ง การปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่า การใช้พลังงานในกระบวนการที่ต่ำ เพื่อให้สามารถต่อยอดขยายในการจำหน่ายในท้องตลาดนอกเหนือจากลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสที่ต้องเหมาะสมควบคู่กันไปด้วย ดังนั้นเทคโนโลยีโอห์มิก จึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีศักยภาพในการแปรรูปเนื้อเทียม Jung และคณะ[33] รายงานผลการประยุกต์ใช้กระบวนการโอห์มิกในการผลิตเนื้อเทียมที่มีวัตถุดิบหลักเป็นโปรตีนจากถั่วเหลือง หลังผ่านการนวดผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ ทำให้เกิดโดแล้วนำเข้าในแม่พิมพ์ในระบบของโอห์มิก (Figure 5) ปล่อยกระแสไฟฟ้าที่ 30 V/cm ทำให้เกิดความร้อนอย่างรวดเร็วภายใน 0.66-0.87 นาที โดยผันแปรอุณหภูมิในการแปรรูปที่ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการให้ความร้อนที่ 1 3 5 และ 7 นาที จากการศึกษาพบว่า การให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งในแง่ของร้อยละของผลผลิตและการใช้พลังงานในกระบวนการแปรรูป โดยการใช้เวลา 3 นาทีที่สภาวะดังกล่าวจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่มีคุณลักษณะทางกายภาพโดยเฉพาะด้านเนื้อสัมผัส (hardness gumminess และ chewiness) ของผลิตภัณฑ์ที่ดีใกล้เคียงกับนักเก็ตไก่ (chicken nuggets) และสเต็กเนื้อวัวที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่ (restructured beef steaks) ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสนี้สัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบด้วย[34] ทั้งนี้อุณหภูมิและระยะเวลาในการแปรรูปที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก จากงานวิจัยนี้จึงทำให้เห็นศักยภาพของกระบวนการโอห์มิกในการพัฒนาต่อยอดสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมได้ในอนาคต

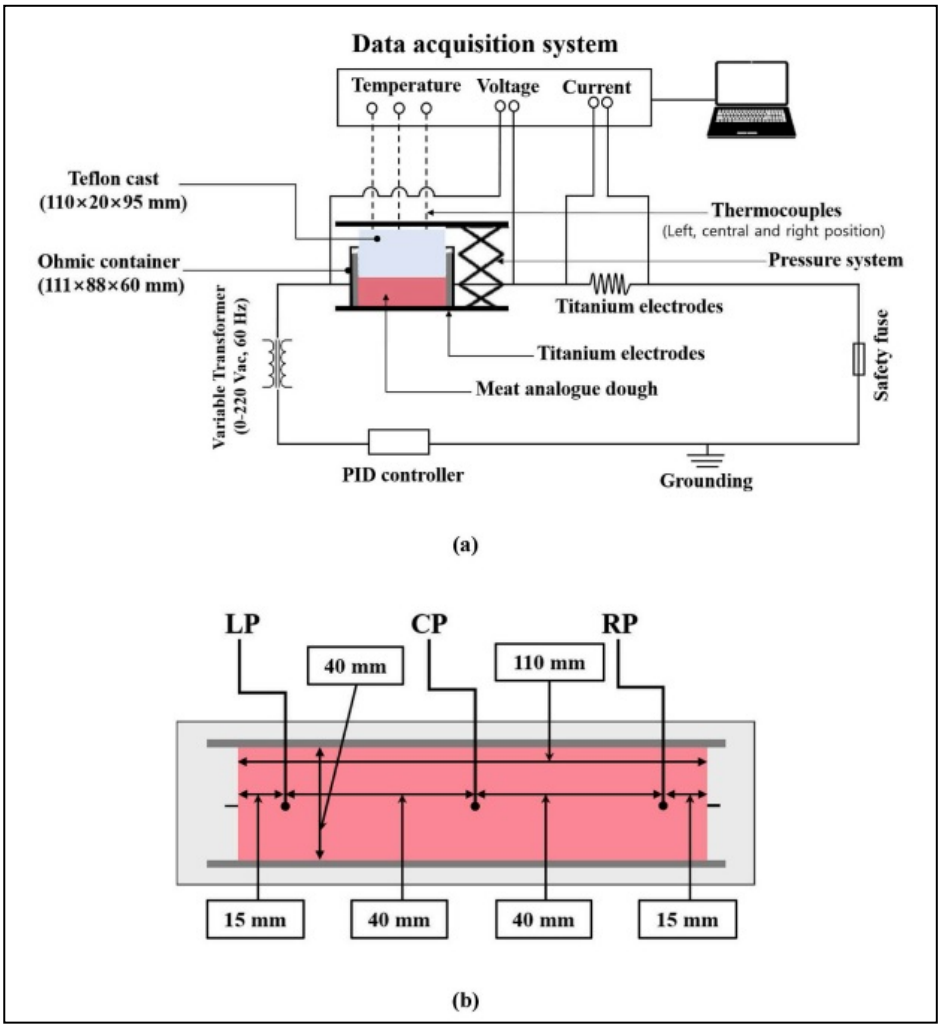

Figure 5 (a) Schematic diagram of customized ohmic cooking system, (b) installation of thermocouple into different geometry of meat analogueue (LP : left position, CP : central position, RP : right position)[33]

เทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติ (3D-printed)

เทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติ ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่สำหรับวงการอุตสาหกรรมอาหาร การนำเทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมีวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย เช่น ความแปลกใหม่ ความสนุก ความคิดสร้างสรรค์ ความสะดวก การสร้างเสริมสุขภาพและโภชนาการ การลดปริมาณของเหลือทิ้ง และเพื่อความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม นักวิจัยนำเทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติ มาใช้ในการศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ จากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) วัตถุดิบที่ตามธรรมชาติสามารถใช้เป็นวัสดุพิมพ์ได้เลย เช่น ชีส โดพิซซ่า และช็อกโกแลต 2) วัตถุดิบที่ตามธรรมชาติไม่สามารถใช้เป็นวัสดุพิมพ์ได้ทันที เช่น เนื้อสัตว์ เนื้อปลา และผักผลไม้ และ 3) วัตถุดิบทางเลือก เช่น แมลง สาหร่ายทะเล และจุลินทรีย์ เป็นต้น[35] Qiu และคณะ[36] พัฒนา

กระบวนการผลิตเนื้อเทียมด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์อาหาร 3 มิติ โดยวัตถุดิบที่ใช้เป็นหมึกพิมพ์ ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) กลูเตนจากข้าวสาลี (wheat gluten) และ โปรตีนข้าว (rice protein) ให้มีปริมาณโปรตีนสูงในการผลิตเนื้อเทียม โดยทำการประเมินสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติทางรีโอโลยี ความชื้น เนื้อสัมผัส โครงสร้างภายใน และสมรรถนะในการพิมพ์ เมื่อทำการแปรค่าของอัตราส่วนของวัตถุดิบหมึกพิมพ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่า หมึกพิมพ์โปรตีนสูงที่พัฒนาขึ้นนี้แสดงสมบัติของพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic ลักษณะความหนืดปรากฏลดลงเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของโปรตีนข้าวมากขึ้น ซึ่งจะทำให้กระบวนการพิมพ์มีสมรรถนะเพิ่มขึ้น ในขณะที่กลูเตนจากข้าวสาลีช่วยทำให้เกิดโครงสร้างเส้นใยคล้ายเนื้อมากขึ้น[37] ผลการศึกษานี้สามารถต่อยอดสู่การพัฒนาหมึกพิมพ์โปรตีนสูงเพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมได้ในอนาคต

บทสรุป

ในปัจจุบันแนวโน้มในการรับประทานอาหารจากพืชเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะจากพืชตระกูลถั่ว เนื่องด้วยเป็นแหล่งของโปรตีนและใยอาหารสูง รวมถึงอุดมด้วยสารพฤกษเคมีที่มีคุณประโยชน์และคุณค่าเชิงสุขภาพ อีกทั้งการตระหนักถึงจริยธรรมจากการทรมานสัตว์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และผลต่อสุขภาพในระยะยาว ด้วยเหตุปัจจัยเหล่านี้จึงมีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากโปรตีนพืช เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้นในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา โดยกระบวนการดั้งเดิมของการผลิตเนื้อเทียม เช่น กระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ยังมีข้อจำกัดในการพัฒนาคุณลักษณะและคุณภาพของเนื้อเทียมให้ตรงตามความต้องการของตลาด จึงจำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอื่น ๆ ร่วมด้วยในการวิจัย ได้แก่ การใช้ความดันการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า กระบวนการเกิดโฟมขนาดไมโคร เทคโนโลยีอัลตราซาวด์ โคลด์-พลาสมา พัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง โอห์มิก และการพิมพ์อาหาร 3 มิติ เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่มีคุณลักษณะโดยเฉพาะเนื้อสัมผัสที่ดี มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีความปลอดภัยในการรับประทาน (Table 1) แต่ทั้งนี้ยังคงต้องมีการศึกษาและพัฒนาต่อยอดเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีศักยภาพเชิงพาณิชย์มากยิ่งขึ้นด้วย

Table 1 Effect of neo technology on characteristic and quality of high moisture meat analogue

Neo Technology	Property, characteristic and quality
High pressure	Increase hardness and toughness More cavitation Reduce microbial
Electrostatic spinning	Increase water holding capacity Soft texture
Micro-foaming	Increase fine bubble structure Increase water holding capacity and toughness Brighten colour
Ultrasound	Increase protein solubility and water holding capacity Improve emulsification properties and pore size Soft texture
Cold plasma	Increase water holding capacity Soft texture Reduce microbial
Pulse electric field	Increase water holding capacity and air bubble Soft texture Reduce microbial
Ohmic heating	Improve hardness, gumminess and chewiness Soft texture
3D-printed	Desired shape and texture Texture depend on source of plant protein

เอกสารอ้างอิง

1. จุฬาลักษณ์ จารุนุช, นิพัฒน์ ลิ้มสงวน, วราภรณ์ ประเสริฐ, วรพล เพ็งพินิจ. รายงานฉบับสมบูรณ์ การดัดแปลงโครงสร้างของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โปรตีนคล้ายเนื้อเส้นใยสูงขึ้นรูปด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ความชื้นสูง. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2555.
2. จุฬาลักษณ์ จารุนุช, หทัยชนก กันตรง, สุวีณา จันทพิรักษ์, วรพล เพ็งพินิจ, โรสริน อัคนิจ. โปรตีนเกษตรรูปแบบใหม่: โปรตีนคล้ายเนื้อเส้นใยสูงขึ้นรูปด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ความชื้นสูง. วารสารอาหาร. 2560;47(2):53-6.
3. ทองกร พลอยเพชรา. แนวทางการวิจัยด้าน Plant-based protein. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2563;35(2):36-9.
4. Curtain F, Grafenauer SJN. Plant-based meat substitutes in the flexitarian age: An audit of products on supermarket shelves. Nutrients. 2019;11(11):1-14.
5. Gaucher C, Boudier A, Bonetti J, Clarot I, Leroy P, Parent M. Glutathione: Antioxidant properties dedicated to nanotechnologies. Antioxidants. 2018;7(5):1-21.
6. เรไร จันทร์เอี่ยม. Plant-base food อาหารแห่งโลกอนาคต. อุตสาหกรรมสาร. 2564;63:5-10.
7. เขมิสรา ชีวพฤกษ์, นิพัฒน์ ลิ้มสงวน. ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช...แนวโน้มในการบริโภคยุคปัจจุบัน.วารสารอาหาร. 2565;52(2):5-15.
8. วราภรณ์ ประเสริฐ. ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมชนิดความชื้นสูงโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันและปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติผลิตภัณฑ์. วารสารอาหาร. 2564;51(3):14-22.

9. Sman RGM, Goot AJ. Hypotheses concerning structuring of extruded meat analogues. Curr Res Food Sci. 2023;6:1-14.
10. Zhang H, Feng X, Liu S, Ren F, Wang J. Effects of high hydrostatic pressure on nutritional composition and cooking quality of whole grains and legumes. Innov Food Sci Emerg Technol. 2023;83:1-12.
11. Ma X, Feng R, Ahrné L, Orlien V. Pressure-induced gelation of blended milk and pea protein suspensions. Food Hydrocoll. 2024;146:1-13.
12. นิพัฒน์ ลิ้มสงวน, ณฐิฒา รอดขวัญ, กนกวรรณ ยอดอินทร์, วิชชา ตรีสุวรรณ, พิศมัย ศรีชาเยช, หทัยชนก กันตรง, และคณะ. รายงานฉบับสมบูรณ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมพร้อมปรุงและพร้อมรับประทาน: ผลของกระบวนการให้ความร้อน ความดัน การหมัก และการขึ้นรูปแบบแพตตี้ต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2565.
13. ธนโชติ ธรรมชาติ. การเตรียมและการประเมินผลเส้นใยอิเล็กโทรสปันเซลแล็กที่บรรจุสารต้านจุลชีพ [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต] นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2553.
14. ณฐิฒา รอดขวัญ. การดัดแปลงเนื้อสัมผัสอาหารสำหรับผู้สูงอายุ. วารสารอาหาร. 2564;51(2):1-8.
15. Yang Y, Peng C, Zeng D, Yang Z, Wang X, Zhang S, *et al*. Electrospinning is a potential way for preparing edible plant protein-based nanofibers with porous surface using safflower seed meal. Food Hydrocoll. 2024;146:1-11.
16. Zink J, Zeneli L, Windhab EJ. Micro-foaming of plant protein based meat analogueues for tailored textural properties. Curr Res Food Sci. 2023;7:1-11.
17. Schreuders FK, Dekkers BL, Bodnar I, Erni P, Boom RM, Goot AJ. Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation. J Food Eng. 2019;261:32-9.
18. Jambrak AR, Mason TJ, Lelas V, Herceg Z, Herceg IL. Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. J Food Eng. 2008;86:281-7.
19. Ampofo J, Ngadi M. Ultrasound-assisted processing: Science, technology and challenges for the plant-based protein industry. Ultrason Sonochem. 2022;84:1-10.
20. Arzeni C, Martinez K, Zema P, Arias A, Perez OE, Pirosof AMR. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. J Food Eng. 2021;108(3):463-72.
21. Zhu Z, Zhu W, Yi J, Liu N, Cao Y,Lu J, *et al*. Effects of sonication on the physicochemical and functional properties of walnut protein isolate. Food Res Int. 2018;106:853-61.
22. Hu H, Fan X, Zhou Z, Xu X, Fan G, Wang L, *et al*. Acid-induced gelation behavior of soybean protein isolate with high intensity ultrasonic pre-treatments. Ultrason Sonochem. 2013;20(1):187-95.
23. Zhang H, Claver IP, Zhu KX, Zhou H. The effect of ultrasound on the functional properties of wheat gluten. Molecules. 2011;16:4231-40.
24. นิพัฒน์ ลิ้มสงวน. เทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปและถนอมอาหาร: เทคโนโลยีโคลด์พลาสมา. วารสารอาหาร. 2563;50(1):13-21.
25. Oner ME, Subasi BG, Ozkan G, Esatbeyoglu T, Capanoglu E. Efficacy of cold plasma technology on the constituents of plant-based food products: Principles, current applications, and future potentials. Food Res Int. 2023;172:1-14.
26. Yu J, Chen G, Zhang Y, Zheng X, Jiang P, Ji H, *et al*. Enhanced hydration properties and antioxidant activity of peanut protein by covalently binding with sesbania gum via cold plasma treatment. Innov Food Sci Emerg Technol. 2021;68:1-9.
27. Sun F, Xie X, Zhang Y, Ma M, Wang Y, Duan J, *et al*. Wheat gliadin in ethanol solutions treated using cold air plasma at atmospheric pressure. Food Biosci. 2021;39:1-11.
28. Bormashenko E, Bormashenko Y, Legchenkova I, Eren NM. Cold plasma hydrophilization of soy protein isolate and milk protein concentrate enables manufacturing of surfactant-free water suspensions. Part I: Hydrophilization of food powders using cold plasma. Innov Food Sci Emerg Technol. 2021;72:1-7.
29. นิพัฒน์ ลิ้มสงวน. เทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปและถนอมอาหาร ตอนที่ 1. วารสารอาหาร. 2554;41(3):232-7.

30. Guo L, Nie X-M, Yang Y-H, Ren Y, Ding X, Qian J-Y. Using electric field to modify wet gluten as meat analogue material: A comparative study between pulsed and direct current electric fields. Innov Food Sci Emerg Technol. 2023;84:1-10.
31. Zhang L, Wang L-J, Qian, J-Y. Effect of pulsed electric field on quality of canola oil by treating oilseed grain. LWT. 2017;42(11):32-7.
32. Zhang C, Yang Y-H, Zhao X-D, Zhang L, Li Q, Wu C, *et al*. Assessment of impact of pulsed electric field on functional, rheological and structural properties of vital wheat gluten. LWT. 2021;147:1-9.
33. Jung AH, Hwang J, Jun S, Park SH. Application of ohmic cooking to produce a soy protein-based meat analogue. LWT. 2022;160:1-8.
34. Bakhsh A, Lee S-J, Lee E-Y, Hwang Y-H, Joo S-T. Evaluation of rheological and sensory characteristics of plant-based meat analog with comparison to beef and pork. Food Sci Anim Resour. 2021;41(6):983-96.
35. นิพัฒน์ ลิ้มสงวน. เทคโนโลยีใหม่ในการแปรรูปอาหาร: การพิมพ์อาหาร 3 มิติ. วารสารอาหาร. 2563; 50(3):5-14.
36. Qiu Y, McClements DJ, Chen J, Li C, Liu C, Dai T. Construction of 3D printed meat analogues from plant-based proteins: Improving the printing performance of soy protein- and gluten-based pastes facilitated by rice protein. Food Res Int. 2023;167:1-11.
37. Wang S, Liu S. 3D printing of soy protein- and gluten-based gels facilitated by thermosensitive cocoa butter in a model study. ACS Food Sci Technol. 2021;1(10):1990-6.