เนื้อเทียมจากพืช ทางเลือกเพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

อัญชลี อุษณาสุวรรณกุล[1*]
กัญญ์วรา ทองกระจ่าง[1]

[1]ฝ่ายเคมีและกายภาพอาหาร
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[*]ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : ifrala@ku.ac.th
รับเมื่อ 27 กันยายน 2566 **แก้ไขเมื่อ** 23 มกราคม 2567 **ตอบรับเมื่อ** 18 มีนาคม 2567

จุดเด่น

- กระบวนการผลิตเนื้อเทียม
- คุณภาพทางกายภาพและโภชนาการของเนื้อเทียม
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์เพิ่มมากขึ้นในทุกพื้นที่ทั่วโลกจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมการบริโภคอาหาร ซึ่งการบริโภคเนื้อสัตว์ที่มากขึ้นทำให้อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์จำเป็นต้องเพิ่มการผลิตให้ตอบสนองต่อตลาด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สวัสดิภาพของสัตว์ และสุขภาพของมนุษย์ ตั้งแต่การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การตัดไม้ และภาวะขาดแคลนน้ำจากการปศุสัตว์ เพื่อจัดการกับปัญหานี้ แนวคิดเกี่ยวกับอาหารทดแทนเนื้อสัตว์จึงเกิดขึ้นเพื่อเพิ่มทางเลือกที่เหมาะสมและยังคงตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค โดยการจำลองเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์คาดหวังว่า จะสามารถตอบสนองความต้องการบริโภคและแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการปศุสัตว์ได้ เนื้อเทียมสามารถใช้วัตถุดิบได้หลากหลาย ทั้งสาหร่าย แมลงที่สามารถกินได้ และถั่วต่าง ๆ เพื่อให้ได้รับประสบการณ์ที่เหมือนกับการบริโภคเนื้อสัตว์จริง โปรตีนที่นำมาผลิตเนื้อเทียมจึงถูกผสมกับไขมันและส่วนผสมอื่น ๆ ผ่านกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบความชื้นสูง (high-moisture extrusion) ถือเป็นกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเมื่อเทียบกับการผลิตเนื้อเทียมด้วยวิธีการอื่น ๆ และกระบวนการผลิตเนื้อสัตว์

คำสำคัญ : เนื้อเทียม อาหารจากพืช มังสวิรัติ อาหารที่ยั่งยืน

Plant-based meat : A new option for health and the environment

Aunchalee Aussanasuwannakul[1*], and
Kanwara Tongkrajang[1]

[1]Department of Food Chemical and Physical,
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University
[*]Corresponding author, e-mail : ifrala@ku.ac.th
Received 27 September 2023; **Revised** 23 January 2024; **Accepted** 18 March 2024

Highlights

- Meat analogue production process
- Physical and nutrition of meat analogue
- Environmental impact

Abstract

Growth in meat consumption is projected to increase in developing regions due to high population levels and growth rates. This has led to increased production to meet market demand, which causes environmental damage, animal welfare, and human health. To solve this problem, the concept of meat analogue has to emerge as a more sustainable and satisfying consumer. The process of making meat analogue entails a variety of ingredients, including algae, edible insects, and legumes, to imitate the texture and taste of meat. In meat analogue production, the proteins are mixed with fat and other ingredients through an extrusion. High-moisture extrusion is the most environmentally friendly process for producing meat analogue, and it is also more efficient than other meat analogue manufacturing processes. Meat analogue has the potential to reduce the environmental impact of the food system, improve animal welfare, and promote human health. However, it is still a relatively new product, and more research is needed to optimize its production and nutritional value.

Keywords : meat analogue, plant-based food, vegetarian, sustainable food

บทนำ

ในปัจจุบันมีความต้องการเนื้อสัตว์เพิ่มมากขึ้นในทุกพื้นที่ทั่วโลก มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีจำนวน 8.5 พันล้านคน ในปี ค.ศ. 2030 และเป็น 1 หมื่นล้านคน ในปี ค.ศ. 2050[1] ความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ของประชากรที่มีรายได้สูงขึ้น และรูปแบบการบริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป ความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สวัสดิภาพของสัตว์ และสุขภาพของมนุษย์อย่างมาก ดังนั้นแนวคิดเกี่ยวกับการผลิตอาหารทดแทนเนื้อสัตว์อย่างเนื้อเทียมจึงเป็นวิธีการจัดการปัญหาที่ดีและเป็นทางเลือกที่ยั่งยืน

เนื้อเทียม คือ ผลิตภัณฑ์จากพืชที่ถูกสร้างขึ้นโดยเฉพาะเพื่อจำลองรสชาติ เนื้อสัมผัส และโภชนาการของเนื้อสัตว์โดยที่ไม่มีส่วนประกอบที่มาจากสัตว์เลย ส่วนใหญ่ผลิตด้วยโปรตีนที่มาจากธัญพืช ถั่วเหลือง ถั่วอื่น ๆ และผัก ในช่วงปี ค.ศ. 2015-2020 ที่ผ่านมา ตลาดเนื้อเทียมได้ขยายตัวทั่วโลกมีการเติบโตอย่างรวดเร็วตามที่แสดงในงานวิจัยของ Kyriakopoulou และคณะ (2019)[2] ตลาดเนื้อเทียมในยุโรปและอเมริกาเหนือไม่ได้มีกลุ่มผู้บริโภคเพียงแค่กลุ่มมังสวิรัติเท่านั้น แต่ได้ขยายไปถึงผู้บริโภคที่รับประทานเนื้อสัตว์และชอบกินเนื้อสัตว์ด้วย ตามผลการวิจัยของ Zion Market Report (2019)[3] คาดการณ์ว่าอุตสาหกรรมอาหารเนื้อเทียมจากพืชจะมีมูลค่าเป็น 21.23 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี ค.ศ. 2025 และมีอัตราการเติบโตประมาณร้อยละ 8.6 ระหว่างปี ค.ศ. 2019 และปี ค.ศ. 2025

เพื่อให้ผู้บริโภคได้รับประสบการณ์ที่เหมือนกับการบริโภคเนื้อสัตว์จริง โปรตีนที่นำมาผลิตเนื้อเทียมจึงถูกผสมกับไขมันและส่วนผสมอื่น ๆ โดยมีเป้าหมายเพื่อจำลองเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ โดยคาดหวังว่า จะสามารถตอบสนองความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ที่เพิ่มมากขึ้น และแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการปศุสัตว์อย่างการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและการถางที่เพื่อเลี้ยงสัตว์ได้ นอกจากนี้เนื้อเทียมยังมีประโยชน์ทางสุขภาพอีกด้วยเพราะเนื้อเทียมจากพืชนั้นมีไขมันอิ่มตัว และแคลอรีที่น้อยกว่าเนื้อสัตว์ โดยที่สารอาหารสำคัญอย่างใยอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่า นอกจากนี้การบริโภคเนื้อสัตว์มากจนเกินไปยังส่งผลต่อปัญหาสุขภาพต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง และภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่อง (immunodeficiency) เป็นต้น

1. วัตถุดิบหลักของการผลิตเนื้อเทียม

ในปัจจุบันการผลิตเนื้อเทียมสามารถใช้วัตถุดิบได้หลากหลายทั้งสาหร่าย แมลงที่สามารถกินได้ และพืชอย่างถั่วเหลืองหรือโปรตีนที่เกิดจากการหมักเชื้อรา (mycoproteins) โปรตีนที่ใช้ในการผลิตเนื้อเทียมเป็นสิ่งสำคัญในการบอกความแตกต่างของเนื้อเทียมแต่ละประเภท โปรตีนที่ใช้ผลิตเนื้อเทียมนั้นมีบทบาทที่สำคัญในด้านต่าง ๆ เช่น การเติมน้ำ (hydration) การละลายน้ำ (solubility) ความสามารถในการเป็นตัวผสาน (emulsification) การเกิดโฟม (foaming) ความหนืด (viscosity) ความเป็นเจล (gelation) เนื้อสัมผัสและโครงสร้างการก่อตัวเส้นใยของแป้ง[4] ซึ่ง

โดยส่วนมากแล้วมักจะใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบในการวิจัยและการผลิตเนื้อเทียม

แหล่งโปรตีนที่แตกต่างกัน เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลันเตา และข้าวสาลี มีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมจากพืช[5-7] เนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมจะถูกกำหนดโดยปัจจัยต่าง ๆ เช่น องค์ประกอบ (โปรตีน แป้ง ไขมัน สารเพิ่มปริมาณอาหาร) และกระบวนการแปรรูป[5] เป็นต้น คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโปรตีน เช่น ค่า sedimentation coefficients องค์ประกอบของกรดอะมิโน ความเข้มข้นในการเกิดเจลที่น้อยที่สุด อุณหภูมิที่ทำให้เสียสภาพ ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน ความหนืด การทำงานของโปรตีนอาจแตกต่างกันจากชนิดของวัตถุดิบ เช่น คุณสมบัติในการเกิดเจลของโปรตีนถั่วเหลืองและถั่วลันเตา การจับกับน้ำมันทำให้เกิดอิมัลชัน การสร้างเส้นใย โปรตีนจากข้าวสาลีที่มีที่มีคุณสมบัติของเส้นใยที่มีความยืดหยุ่นและขยายตัวสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาลักษณะและชนิดของวัตถุดิบก่อนการแปรรูป[6] นอกจากนี้ส่วนผสมอื่น ๆ เช่น น้ำ ไขมัน สารแต่งรส สารช่วยยึดเกาะ สี วิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระ ยังส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมอีกด้วย[8] โดยรวมแล้วการเลือกแหล่งโปรตีนและการกำหนดสูตรในการผลิตเนื้อเทียมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาเนื้อสัมผัสที่เลียนแบบเนื้อสัตว์แบบดั้งเดิม[9]

ไขมันเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายและยังเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เนื้อสัตว์มีรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชุ่มฉ่ำ[10] ดังนั้นสิ่งสำคัญในการผลิตเนื้อเทียมจากพืช คือ การเติมไขมันและน้ำมันเพื่อปรับปรุงสี ความนุ่ม เนื้อสัมผัส และโครงสร้าง การเติมไขมันจะส่งผลต่อปฏิกิริยาของโมเลกุลโปรตีนในผลิตภัณฑ์ แต่การเพิ่มไขมันในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์นุ่มและเกินไปและลดคุณค่าทางโภชนาการ ในขณะที่การเพิ่มไขมันในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแห้งและเหนียว ทำให้ต้องมีการศึกษาปริมาณไขมันที่เหมาะสมในการผลิตเนื้อเทียม ซึ่งปริมาณไขมันที่เหมาะสมในการเติมลงในการผลิตเนื้อเทียม คือ ประมาณร้อยละ 2-10 นอกจากนี้ประเภทของไขมันที่แตกต่างกันยังส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและรสชาติของผลิตภัณฑ์ การเติมไขมันในรูปของแข็งที่สกัดได้จากมะพร้าวและเมล็ดโกโก้ผสมกับน้ำมันทานตะวันและคาโนล่าจะให้รสชาติและเนื้อสัมผัสที่เหมือนเนื้อสัตว์ที่สุด และสามารถผสมไขมันสีขาวในรูปของแข็งลงในผลิตภัณฑ์เพื่อให้รูปลักษณ์ภายนอกของเนื้อเทียมมีลักษณะใกล้เคียงเนื้อสัตว์มากขึ้น[11]

สารเติมแต่งอาหารเป็นองค์ประกอบที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมีลักษณะและเนื้อสัมผัสเหมือนเนื้อสัตว์ มักมีการเติมสารเติมแต่งอาหารลงในวัตถุดิบ สารให้ความคงตัว เช่น กัวร์กัม เมทิล เซลลูโลส คาราจีแนน และแซนแทนกัม มีความสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม[12] สารเหล่านี้ทำงานโดยการจับน้ำและโปรตีนเข้าด้วยกัน ช่วยสร้างโครงสร้างเส้นใยที่คล้ายกับเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงความแน่นเนื้อและความเป็นเนื้อเดียวกันของเนื้อเทียม นอกจากสารให้ความคงตัวแล้วยังมีสารเติมแต่งอาหารอื่น ๆ เช่น สาร calcium alginate สาร titanium dioxide กลูตามีนจากจุลินทรีย์ และสารสกัดจากแอปเปิล ที่

สามารถเพิ่มแรงยึดเกาะกับโปรตีนจากพืชและเชื่อมพันธะกรดอะมิโนภายในได้ ปรับปรุงความแข็งและยืดหยุ่นของเนื้อสัมผัสโดยรวมของเนื้อเทียม

ตัวอย่างการใช้สารเติมแต่งอาหารอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม เช่น การใช้สตาร์ชข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง แป้งดัดแปร สารแซนแทนกัม สารกัวร์กัม เพื่อเพิ่มความข้นหนืด คุณสมบัติในการตรึงน้ำ การจับตัวกับไขมันและความคงตัวของอิมัลชัน การเพิ่มปริมาณสารคาราจีแนนในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันความชื้นสูงสามารถเพิ่มค่าความหนืด ความดัน และแรงบิดในกระบวนการได้[13] การเติมสาร calcium alginate ลงในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมสามารถเพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่างกรดอะมิโน ปรับปรุงคุณสมบัติการยึดเกาะ ความแข็งหรือความยืดหยุ่นของเนื้อเทียมได้[14] อย่างไรก็ตามควรใช้อย่างพอประมาณและเลือกสารเติมแต่งที่ปลอดภัยและได้รับมาตรฐานสำหรับใช้ในอาหารเท่านั้น

2. กระบวนการผลิตเนื้อเทียม

การเลือกกระบวนการแปรรูปเนื้อเทียมเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมสุดท้ายที่เราต้องการ กระบวนการผลิตนั้นส่งผลอย่างมากต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียม ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีและเทคนิคมากมายที่ใช้ในการผลิตเนื้อเทียม เช่น กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) การอบแห้ง การเลี้ยงเนื้อเยื่อ เทคโนโลยีเหล่านี้ส่งผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมเปลี่ยนไป เช่น กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันจะช่วยทำให้เนื้อเทียมมีโครงสร้างที่แน่นและเหนียวขึ้น

งานวิจัยของ Dekkers และคณะ[15] ได้สรุปประเภทของกระบวนการผลิตเนื้อเทียมออกเป็น 2 ประเภท (Table 1) ประเภทแรกเรียกว่า "bottom-up" เป็นการผลิตที่สร้างเส้นใยแต่ละเส้นจากแหล่งโปรตีนแล้วประกอบเข้าด้วยกันเป็นโครงสร้าง ประเภทที่สองเรียกว่า "top-down" เป็นการผลิตที่มุ่งเน้นไปที่โครงสร้างขนาดใหญ่เพื่อสร้างเส้นใยขนาดเล็กโดยการบังคับให้ส่วนประกอบยืดขยายออก

Table 1 Artificial meat production process : bottom-up and top-down

Type	Process	Material
Bottom–up	Cultured meat	Precursor skeletal muscle cells
	Mycoprotein	Precursor skeletal muscle cells
	Wet spinning	Protein isolate
	Electrospinning	Protein isolate
Top-down	Extrusion	Defatted soy flour/ Protein concentrates/ Protein isolates
	Mixing proteins and hydro-colloids	Protein isolate, Hydrolloid
	Freeze structuring	Protein isolate
	Shear cell	Protein isolate

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการผลิตที่นำวัตถุดิบไปใส่ในถังต่อกับสกรู วัตถุดิบจะถูกอัดผ่านอุณหภูมิและความดันสูง ทำให้เกิดการเสียสภาพ โครงสร้างเปลี่ยนแปลงจนเกิดโครงสร้างใหม่ และถูกบีบอัดผ่านแม่พิมพ์พร้อมทำรูปร่างตามแม่พิมพ์ที่กำหนดโดยผ่านสกรู คุณภาพของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ อัตราการไหล รูปทรงของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ และความดันของระบบ การควบคุมปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้าไปในระบบ สามารถทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติต่างกันแม้จะใช้วัตถุดิบชนิดเดียวกันได้ โดยเมื่อสูตรของวัตถุดิบที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบถูกอัดขึ้นรูปโดยมีความชื้นสูงและมีแม่พิมพ์ที่หล่อเย็นจนอุณหภูมิต่ำกว่า จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างของเส้นใยคล้ายกับเนื้อสัตว์ วัตถุดิบโปรตีนที่มักใช้ เช่น ถั่วเหลือง ข้าวสาลี ถั่วลิสง จะถูกผสมกับสารที่มีหน้าที่ช่วยประสานหรือทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน สารให้ปรุงแต่งรส เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะและรสชาติที่เหมาะสม เมื่อสารผสมของโปรตีนและน้ำไหลผ่านแม่พิมพ์และถูกทำให้เย็นลง จะส่งผลให้ชั้นของโมเลกุลโปรตีนเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ การผสมผสาน และการเรียงตัวใหม่เพื่อสร้างโครงสร้างเส้นใยที่มีลักษณะเฉพาะ โครงสร้างที่ได้ของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับคุณสมบัติของวัตถุดิบ ลักษณะการไหลภายในแม่พิมพ์ ดีไซน์ของแม่พิมพ์ และการถ่ายโอนความร้อน กระบวนการการอัดขึ้นรูปแบบความชื้นสูง (high-moisture extrusion: HME) โดยทั่วไปมักจะมีปริมาณน้ำเกินร้อยละ 50 เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักและมีลักษณะคล้ายกับเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอัดขึ้นรูปอย่างการอัดขึ้นรูปแบบความชื้นต่ำ (texturized low moisture extrusion) มีความสามารถในการผลิตเนื้อเทียมที่มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ได้[16] กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันถือเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมเนื้อเทียม เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพและมีศักยภาพในการผลิตเนื้อเทียมในปริมาณมากเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการบริโภคเนื้อเทียมที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

นอกจากการผลิตเนื้อเทียมด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันซึ่งเป็นกระบวนการทางอุตสาหกรรมแล้ว ยังมีเทคนิคอื่น ๆ ใช้ศึกษาการผลิตเนื้อเทียมในระดับห้องปฏิบัติการ เช่น การเพาะเลี้ยงเซลล์เนื้อสัตว์ (cultured meat) เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมเนื้อเยื่อที่สามารถทำในหลอดทดลอง เพาะเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อของสัตว์จนเกิดเป็นเนื้อสัตว์ได้ นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีชีวภาพอย่างการเพาะเลี้ยงเชื้อราเพื่อผลิตโปรตีนทางเลือกจากจุลินทรีย์ (mycoprotein) โดยเส้นใยที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปอย่างการขึ้นรูปหรือการนึ่งไอน้ำ[15]

3. องค์ประกอบและสารอาหาร

โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นโปรตีนที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์อาหารแบบทดแทนเนื้อสัตว์ มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับประโยชน์เชิงสุขภาพของโปรตีนจากถั่วเหลือง ไม่ว่าจะเป็นการช่วยสลายไขมันและบำรุงหัวใจ[17] ปัจจุบันโปรตีนจากถั่ว เช่น ถั่วเขียว ถั่วลันเตา ถั่วลูพิน ถั่วลูกไก่ และอื่น ๆ ได้เพิ่มความนิยมเพิ่มขึ้นในการผลิตเนื้อเทียม

หรือผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ งานวิจัยของ Kyriakopoulou[2] และคณะ ได้รายงานถึงการใช้โปรตีนถั่วในการผลิตเนื้อเทียมผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบความชื้นสูง ในเชิงโครงสร้างและเชิงโภชนาการว่า โปรตีนจากถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนบางชนิด เช่น เมทิโอนีนที่ส่งผลต่อการการย่อยและดูดซึมสารอาหาร[18]

เนื้อเทียมและผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์มักมีคาร์โบไฮเดรตอย่างแป้ง เส้นใยอาหาร และน้ำตาล ซึ่งมาจากวัตถุดิบต่าง ๆ คาร์โบไฮเดรตสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของส่วนผสมอย่างความหนืด ความคงตัว และการขึ้นรูป คาร์โบไฮเดรตช่วยเพิ่มความสัมพันธ์หรือพันธะระหว่างโปรตีน ไขมัน และน้ำ ทำให้เป็นความท้าทายในการกำหนดโภชนาการและสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตในอาหารทดแทนเนื้อสัตว์ให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม[2,19-20] วัตถุดิบที่น่าสนใจ คือ เมทิลเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมและอาหารทดแทนเนื้อสัตว์จำนวนมาก และยังใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปแล้วหลากหลายชนิด เมทิลเซลลูโลสเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการดัดแปลง เมื่อใช้ประกอบในการผลิตอาหารในปริมาณที่เหมาะสมจะทำหน้าที่เป็นสารช่วยยึดเกาะ ช่วยให้อิมัลชันในระบบคงตัวที่มีประสิทธิภาพอย่างมาก[21]

โปรตีนจากถั่วเหลือง โปรตีนจากธัญพืช (เช่น โปรตีนกลูเตนจากข้าวสาลี) อาจผสมโปรตีนจากน้ำนมเพื่อให้มีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์ มีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำและไม่มีคอเลสเตอรอล ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมีคุณค่าทางโภชนาการที่มีปริมาณโปรตีนสูงเทียบเท่าเนื้อสัตว์จริง มีปริมาณไขมันที่ดีต่อสุขภาพคือ กรดไขมันอิ่มตัวสายสั้นและกรดไขมันไม่อิ่มตัว ไม่มีคอเลสเตอรอล และมีใยอาหาร ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์

อาหารทดแทนเนื้อสัตว์หรือเนื้อเทียมในเริ่มแรกมักมีปริมาณไขมันต่ำ[19] แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้เนื้อเทียมมีปริมาณไขมันมากขึ้นและมีปริมาณเทียบเท่ากับเนื้อสัตว์จริง เนื้อเทียมในปัจจุบันมีส่วนประกอบของไขมันหลากหลายชนิด เช่น น้ำมันจากอะโวคาโด น้ำมันมะพร้าว น้ำมันทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันงา และน้ำมันพืชอื่น ๆ ไขมันเหล่านี้มีส่วนช่วยในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มฉ่ำ นุ่ม และให้เนื้อสัมผัสที่เหมือนเนื้อจริง ปริมาณน้ำมันหรือไขมันที่ใช้ประกอบการผลิตเนื้อเทียมเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุม เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต เช่น การใส่น้ำมันในปริมาณมากเกินไปจนส่วนผสมข้นหนืดจนไม่สามารถผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้ และการผสมน้ำมันหลากหลายชนิดเพื่อผลิตเนื้อเทียมยังมีส่วนเสริมปริมาณกรดอะมิโนได้อีกด้วย เนื่องจากกรดอะมิโนและวิตามินในไขมันสัตว์และพืชมีความแตกต่างกัน วิตามินที่ละลายในไขมันและสารประกอบที่เป็นประโยชน์บางชนิดที่พบในเนื้อสัตว์จึงไม่พบในไขมันพืช นอกจากนี้ไขมันพืชยังไม่มีคอเลสเตอรอลเหมือนไขมันจากสัตว์อีกด้วย งานวิจัยในปัจจุบันเกี่ยวกับผลกระทบของไขมันต่อผลิตภัณฑ์เนื้อจากพืชมุ่งเน้นไปที่ปริมาณไขมันที่เหมาะสมที่ต้องเติมเพื่อให้ได้สมดุลที่ดีที่สุดระหว่างสุขภาพและเนื้อสัมผัส จำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อทำความเข้าใจว่าประเภทไขมันที่แตกต่างกันส่งผลต่อผลิตภัณฑ์เนื้อจากพืชอย่างไร

สารปรุงแต่งรสในอาหารทดแทนเนื้อสัตว์มักถูกเพิ่มเข้าไปในรูปแบบของเครื่องปรุงและเครื่องเทศ วิธีการมากมายได้รับการศึกษาเพื่อให้สามารถทำเนื้อเทียมให้มีกลิ่นรสเหมือนเนื้อสัตว์จริงมากที่สุด จากการค้นคว้าของ Kyriakopoulou และคณะ[2] ศึกษาการแยกสารระเหยที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติด้วยการให้ความร้อนเป็นวิธีการหลักที่สามารถกักเก็บกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ นอกจากนี้สีของเนื้อเทียมก็เป็นสิ่งสำคัญในการเลือกซื้อของผู้บริโภค เนื้อเทียมมีเป้าหมายในการเลียนแบบสีของอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนเหมือนเนื้อสัตว์จริง โดยใช้ส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น สารสกัดจากบีทรูทและมะเขือเทศบด เพื่อให้ได้สีธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีซาร์โคปลาสมิกโปรตีน (sarcoplasmic proteins) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งเป็นรงควัตถุให้สีของเนื้อสัตว์ เนื้อเทียมบางประเภทก็มีการใช้ธาตุเหล็กหรือเลกฮีโมโกลบิน (leghemoglobin) จากถั่วเหลือง

4. การพัฒนาเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติทางกายภาพ

เนื้อสัมผัสที่เหมือนจริงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อเทียมสามารถเทียบเคียงเนื้อสัตว์ และตอบสนองความต้องการต่อผู้บริโภค การจะเลียนแบบเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์นั้นสามารถทำได้ด้วยการเลือกใช้กระบวนการที่เหมาะสมและวัตถุดิบที่มีหน้าที่แตกต่างกันให้พอเหมาะพอดี เช่น งานวิจัยของ Lei Sha และ Youling L. Xiong[11] ที่ได้รวบรวมงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้วัตถุดิบหลักจากพืชต่างชนิดที่มีคุณสมบัติและหน้าที่แตกต่างกันมาผลิตเนื้อเทียม โดยได้รายงานว่า โปรตีนถั่วเหลืองและโปรตีนจากถั่วนั้นมีส่วนช่วยในเรื่องของการจับตัวกัน (aggregation) ความเป็นเจล (gelation) โครงสร้างของเส้นใยเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน ความสามารถในการจับตัวกับน้ำมัน และเพิ่มความเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่โปรตีนจากแป้งสาลีและมันฝรั่งมีส่วนช่วยในเรื่องของการเพิ่มเนื้อสัมผัสความยืดหยุ่น (elasticity) และความสามารถในการยืดขยาย (extensibility) นอกจากนี้โปรตีนจากถั่วเขียวและโปรตีนจากข้าวมีคุณสมบัติในการเป็นเจลที่ดีเพื่อเพิ่มพันธะการเชื่อมระหว่างอนุภาค (bonding) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding)

โดยจากการศึกษาของ Bohrer[22] ที่เปรียบเทียบองค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อเทียมกับเนื้อเบอร์เกอร์ของอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่ปริมาณ 100 กรัม พบว่า เนื้อเทียมมีโปรตีน 17.70 กรัม ไขมัน 15.63 กรัม คาร์โบไฮเดรต 2.65 กรัม ใยอาหาร 1.77 กรัม และไม่มีคอเลสเตอรอลในขณะที่เนื้อเบอร์เกอร์จากเนื้อสัตว์ มีโปรตีน 23.33 กรัม ไขมัน 20 กรัม ไม่มีคาร์โบไฮเดรตและใยอาหาร แต่มีคอเลสเตอรอลถึง 83.33 มิลลิกรัม แสดงให้เห็นว่า ปริมาณโปรตีนของเนื้อเทียมสามารถเทียบเคียงกับเนื้อสัตว์ได้โดยมีใยอาหารและคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น และสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลรวมถึงความเสี่ยงการเกิดโรคได้

5. รสสัมผัสและการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส

เนื่องจากความแตกต่างตามธรรมชาติระหว่างเนื้อสัตว์และพืช เช่น โครงสร้างและขนาดของโมเลกุลโปรตีน องค์ประกอบของกรดอะมิโน

ทำให้เป็นการยากที่จะสร้างรสสัมผัสและเนื้อสัมผัสให้เหมือนผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ได้อย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความท้าทายในการสร้างเนื้อสัมผัสและความสามารถในการดูดซับน้ำของเนื้อสัตว์ อย่างไรก็ตามเพื่อชดเชยความแตกต่างเหล่านี้ จึงมีการเติมสารเพิ่มความข้นหนืด สารดูดซับน้ำ และสารเสริมเนื้อสัมผัสต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์จากพืช อีกหนึ่งอุปสรรคสำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากพืช คือ การขาดรสชาติของเนื้อสัตว์ที่ผู้บริโภคคุ้นเคยและคาดหวัง งานวิจัยของ Graça, Godinho และ Truninger[23] มีการเติมเครื่องเทศและสมุนไพรจำนวนมากเพื่อเลียนแบบรสชาติของเนื้อสัตว์ แต่ผลของการทดลองพบว่า ยังคงมีกลิ่นของถั่วเหลืองที่เป็นลักษณะเฉพาะ และรสขมฝาดอันเนื่องมาจากการมีไอโซฟลาโวนตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตเนื้อเทียม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวิจัยเพื่อลดรสชาติที่ไม่พึงประสงค์เหล่านี้ต่อไป นอกจากนี้สีและภาพลักษณ์ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการเลือกซื้อของผู้บริโภค สีแดงสดของเนื้อสัตว์หรือสีชมพูของเนื้อสัตว์แปรรูปเป็นข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม จึงมีการเติมเลกฮีโมโกลบินร่วมกับไนไตรต์เข้าไปในเนื้อเทียมเพื่อให้มีสีเหมือนเลือด[11]

6. อายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษา คือ ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อาหารสามารถเก็บรักษาไว้ได้โดยไม่เน่าเสีย มีปัจจัยหลายประการที่อาจส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม องค์ประกอบ ประเภทของแหล่งโปรตีนที่ใช้ ปริมาณไขมันความชื้นในผลิตภัณฑ์ การใช้สารคงตัว อุณหภูมิและความชื้นที่เก็บรักษา นอกจากนี้ประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ยังส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาได้ ในปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการในการยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อเทียม ศึกษาผลกระทบของส่วนผสมและวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกันต่ออายุการเก็บรักษา พัฒนาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์และการเก็บรักษาใหม่ที่สามารถขนส่งและจัดเก็บได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งช่วยลดการสูญเสียอาหารและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื้อเทียมจากพืชมีแนวโน้มที่จะเน่าเสียมากกว่าผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบดั้งเดิม มีเทคนิคการถนอมอาหารหลายวิธีที่สามารถนำมาใช้กับเนื้อเทียมจากพืช เทคนิคที่พบบ่อยที่สุด ได้แก่

1. การบรรจุแบบดัดแปรบรรยากาศ (modified atmosphere packaging : MAP) ทำได้โดยการบรรจุอาหารในบรรจุภัณฑ์ที่มีการปรับสัดส่วนบรรยากาศภายในให้มีอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ โดยสัดส่วนของก๊าซที่ใช้อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะเวลา ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ อัตราส่วนของก๊าซเริ่มต้นและสภาวะการเก็บรักษา เพื่อชะลอการออกซิเดชันและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ วิธีนี้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อเทียมจากพืชได้หลายวันหรือหลายสัปดาห์

2. การแปรรูปด้วยแรงดันสูง (high pressure processing : HPP) เป็นวิธีการพาสเจอร์ไรส์ที่ความดันสูงแบบไม่ใช้ความร้อนในการฆ่าแบคทีเรียที่เป็นอันตราย วิธีนี้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของ

เนื้อเทียมจากพืชโดยไม่กระทบต่อคุณภาพ ไม่ทำลายสารต้านอนุมูลอิสระหรือสารอาหารต่าง ๆ

7. การบริโภคเนื้อเทียมลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร

อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากตั้งแต่การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การตัดไม้ และภาวะขาดแคลนน้ำจากการปศุสัตว์ ในปัจจุบันมีกระแสความตระหนักรู้เกี่ยวกับการรักษาและดูแลสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องตรวจสอบผลกระทบที่มีอยู่ของอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ และสำรวจทางเลือกที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในอุตสาหกรรมนี้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มาจากอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์และการเลี้ยงสัตว์เป็นหนึ่งในประเด็นที่มีผลกระทบมากที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเลี้ยงวัวปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีเทนเป็นจำนวนมาก อีกทั้งการปลูกพืชที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์และการถางป่าเพื่อพื้นที่ทำปศุสัตว์ทำให้เกิดเป็นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมหาศาล ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อความหลากหลายทางชีวภาพ ทำลายระบบนิเวศ และใช้ทรัพยากรน้ำจำนวนมาก นอกจากนี้การปล่อยของเสียจากโรงเลี้ยงสัตว์ ไม่ว่าจะยาหรือฮอร์โมนที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ก็ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำและเกิดความเสียหายต่อสุขภาพของมนุษย์ หากสามารถเปลี่ยนแนวทางของอุตสาหกรรมอาหารให้ยั่งยืนขึ้น โดยทดแทนความต้องการเนื้อสัตว์ด้วยเนื้อเทียมได้ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมอาหารจึงจะลดลง

จากงานวิจัยของ Wiebe Saerens และคณะ[6] ได้มีการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมระหว่างเบอร์เกอร์เนื้อสัตว์และเบอร์เกอร์เนื้อเทียมพบว่า เบอร์เกอร์เนื้อวัวมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงถึงร้อยละ 95 ในทุกหมวดหมู่เมื่อเปรียบเทียบกับเบอร์เกอร์เนื้อเทียมที่ผลิตด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันประเภทความชื้นสูง และประเภทความชื้นต่ำที่แตกต่างกันด้วยปริมาณความชื้นที่ใช้ในกระบวนการ และพบว่า เบอร์เกอร์เนื้อสัตว์มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากกว่าเบอร์เกอร์เนื้อเทียมอย่างน้อย 5 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่า กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันประเภทความชื้นต่ำมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการประเภทความชื้นสูง ทำให้สามารถยืนยันได้ว่ากระบวนการเอ็กซ์ทรูชันประเภทความชื้นสูง เป็นกระบวนการในการผลิตเนื้อเทียมที่เป็นมิตรมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ

บทสรุป

ตลาดอาหารทดแทนเนื้อสัตว์ได้เจริญเติบโตอย่างมากในปัจจุบัน และมีแนวโน้มที่จะเติบโตยิ่งขึ้นในอนาคต ไม่เพียงแต่ผู้ที่รับประทานอาหารมังสวิรัติและผู้ที่รับประทานอาหารเจเท่านั้นที่เป็นกลุ่มผู้บริโภคแต่ยังรวมถึงผู้ที่ต้องการลดปริมาณเนื้อสัตว์ในอาหารของตนเองด้วย เป็นแรงผลักดันให้มีนวัตกรรมและการแข่งขันในอุตสาหกรรมอาหาร ทำให้มีบริษัทหลายรายลงทุนในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์ อาหารทดแทนเนื้อสัตว์หรือเนื้อเทียมเป็นอาหารทางเลือกที่น่าสนใจในการแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

จริยธรรม และสุขภาพที่เกิดขึ้นจากการบริโภคเนื้อสัตว์แบบดั้งเดิม มุ่งสู่การใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน โดยยังตอบสนองต่อความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ด้วยกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสที่เหมือนเนื้อสัตว์จริง เป็นทางเลือกสู่อนาคตที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Nations UNIES. World population prospects 2019: highlights. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.Nosworthy, M. G., & House, J. D. (2017).Factors influencing the quality of dietary proteins: Implications for pulses. Cereal Chemistry. 2019;94(1):49-57.
2. Kyriakopoulou K, Dekkers B, van der Goot AJ. Plant-based meat analogues. Sustainable meat production and processing: Elsevier; 2019. p. 103-26.
3. ZionMarketReport. Global Plant Based Meat Market Will Reach USD 21.23Billion by 2025: Zion Market Research. 2019. p. https://www.globenewswire.com/news-release/2019/03/28/1781303/0/en/Global-Plant-Based-Meat-Market-Will-Reach-USD-21-23-Billion-By-2025-Zion-Market-Research.html
4. Meade SJ, Reid EA, Gerrard JA. The impact of processing on the nutritional quality of food proteins. J AOAC Int. 2005;88(3):904-22.
5. Xia Y, Qian J, Zhao Y, Zheng B, Wei K, Peng B, et al. Effects of food components and processing parameters on plant-based meat texture formation and evaluation methods. J Texture Stud. 2023;54(3):394-409.
6. Webb D, Li Y, Alavi S. Chemical and physicochemical features of common plant proteins and their extrudates for use in plant-based meat. Trends Food Sci Technol. 2022.
7. Baune M-C, Terjung N, Tülbek MÇ, Boukid F. Textured vegetable proteins (TVP): Future foods standing on their merits as meat alternatives. Future Foods. 2022:100181.
8. Nowacka M, Trusinska M, Chraniuk P, Drudi F, Lukasiewicz J, Nguyen NP, et al. Developments in plant proteins production for meat and fish analogues. Molecules. 2023;28(7):2966.
9. Imran M, Liyan Z. Production of plant-based meat: functionality, limitations and future prospects. European Food Res Technol. 2023:1-25.
10. Calkins CR, Hodgen JM. A fresh look at meat flavor. Meat Sci. 2007;77(1):63-80.
11. Sha L, Xiong YL. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. Trends Food Sci Technol. 2020;102:51-61.
12. Yang D, Gao S, Yang H. Effects of sucrose addition on the rheology and structure of iota-carrageenan. Food Hydrocoll. 2020;99:105317.
13. Palanisamy M, Töpfl S, Aganovic K, Berger RG. Influence of iota carrageenan addition on the properties of soya protein meat analogues. LWT. 2018;87:546-52.
14. Wang Z, Tian B, Boom R, van der Goot AJ. Air bubbles in calcium caseinate fibrous material enhances anisotropy. Food Hydrocoll. 2019;87:497-505.
15. Dekkers BL, Boom RM, van der Goot AJ. Structuring processes for meat analogues. Trends Food Sci Technol. 2018;81:25-36.
16. Saerens W, Smetana S, Van Campenhout L, Lammers V, Heinz V. Life cycle assessment of burger patties produced with extruded meat substitutes. J Clean Prod. 2021;306:127177.
17. Hughes GJ, Ryan DJ, Mukherjea R, Schasteen CS. Protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS) for soy protein isolates and concentrate: Criteria for evaluation. J Agric Food Chem. 2011;59(23):12707-12.

18. Nosworthy MG, House JD. Factors influencing the quality of dietary proteins: Implications for pulses. Cereal Chem. 2017;94(1):49-57.
19. Kumar P, Chatli M, Mehta N, Singh P, Malav O, Verma AK. Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. Critical reviews in food science and nutrition. 2017;57(5):923-32.
20. Tarté R. Ingredients in meat products: properties, functionality and applications: Springer; 2009.
21. Schuh V, Allard K, Herrmann K, Gibis M, Kohlus R, Weiss J. Impact of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) on functional characteristics of emulsified sausages. Meat Sci. 2013;93(2):240-7.
22. Bohrer BM. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. Food Sci Hum Wellness. 2019;8(4):320-9.
23. Graça J, Godinho CA, Truninger M. Reducing meat consumption and following plant-based diets: Current evidence and future directions to inform integrated transitions. Trends Food Sci Technol. 2019;91:380-90.