

โพรไบโอติกส์: สารออกฤทธิ์ชีวภาพยุคใหม่ในนวัตกรรมอาหารฟังก์ชัน

กานต์ธิดา วดีศิริศักดิ์

ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล: ifrkttd@ku.ac.th

รับเมื่อ 27 มิถุนายน 2568 แก้ไขเมื่อ 14 กรกฎาคม 2568 ตอรับเมื่อ 16 กรกฎาคม 2568

จุดเด่น

- องค์ความรู้เกี่ยวกับโพรไบโอติกส์ ทั้งในแง่องค์ประกอบ กลไกการออกฤทธิ์ และผลกระทบต่อสุขภาพ
- ศักยภาพของโพรไบโอติกส์ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพในอนาคต
- วิเคราะห์เปรียบเทียบข้อดีของโพรไบโอติกส์กับพรีไบโอติกส์ โดยเฉพาะในด้านความปลอดภัยและความคงตัว

บทคัดย่อ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา “โพรไบโอติกส์” (postbiotics) ได้รับความสนใจอย่างมากในวงการอาหารและโภชนาการ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ โดยไม่จำเป็นต้องมีจุลินทรีย์มีชีวิตร่วมด้วย โพรไบโอติกส์ประกอบด้วยสารหลากหลาย เช่น กรดไขมันสายสั้น เปปไทด์ต้านจุลชีพ เอนไซม์ พอลิแซ็กคาไรด์ และเซลล์จุลินทรีย์ที่ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งสารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมสุขภาพลำไส้ เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน และอาจช่วยในการดูดซึมโปรตีน จากคุณสมบัติดังกล่าว อุตสาหกรรมอาหารเริ่มนำโพรไบโอติกส์มาใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น อาหารหมัก ผลิตภัณฑ์นมพืช และอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ โพรไบโอติกส์ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความปลอดภัยและความคงตัวทางชีวภาพสูงกว่าเมื่อเทียบกับพรีไบโอติกส์หรือพอสไบโอติกส์ในบางบริบท บทความนี้จึงมุ่งนำเสนอองค์ความรู้เกี่ยวกับประเภท กลไกการออกฤทธิ์ คุณประโยชน์ และแนวโน้มการประยุกต์ใช้โพรไบโอติกส์ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพในอนาคต

คำสำคัญ: โพรไบโอติกส์ จุลินทรีย์ที่ไม่สามารถเจริญได้ อาหารหมัก อาหารฟังก์ชัน สุขภาพลำไส้

Postbiotics: Next-gen bioactives for functional food innovation

Kanthida Wadeesirisak

Department of applied microbiology, Institute of food research and product development, Kasetsart University

E-mail: ifrkttd@ku.ac.th

Received 27 June 2025; **Revised** 14 July 2025; **Accepted** 16 July 2025

Highlights

- A comprehensive overview of postbiotics is presented, focusing on their composition, mechanisms of action, and associated health benefits
- The potential applications of postbiotics in the development of future functional food products are discussed.
- The comparative advantages of postbiotics over probiotics, particularly regarding safety and stability, are analyzed.

Abstract

In recent years, postbiotics have attracted significant attention in the fields of food and nutrition as bioactive compounds produced by beneficial microbes, independent of live microorganisms. Postbiotics consist of various substances, including short-chain fatty acids, antimicrobial peptides, enzymes, polysaccharides, and inactivated microbial cells. These compounds play important roles in promoting gut health, boosting immunity, and potentially improving protein absorption. Due to these functional properties, the food industry has begun incorporating postbiotics into various product categories such as fermented foods, plant-based dairy alternatives, and dietary supplements. Compared to prebiotics and probiotics, postbiotics offer notable advantages in terms of safety and biological stability in certain applications. This article aims to present knowledge on the types, mechanisms of



action, benefits, and trends in the application of postbiotics in the food industry, providing insights for the development of future functional food products.

Keywords: postbiotics, non-viable microbes, fermented food, functional food, gut health

บทนำ

อาหารหมักเป็นผลผลิตจากภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีการสืบทอดกันมาหลายชั่วอายุคน โดยอาศัยจุลินทรีย์ธรรมชาติในการถนอมอาหาร เพิ่มรสชาติ และยืดอายุการเก็บรักษา ตัวอย่างเช่น กิมจิ จากเกาหลี นัตโตะจากญี่ปุ่น และน้ำปลาจากเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ด้วยความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระบวนการหมักได้รับการพัฒนาให้มีความปลอดภัยมากขึ้น โดยมีการคัดเลือกจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ทั้งด้านความสามารถในการควบคุมการหมัก การสร้างสารชีวภาพที่เป็นประโยชน์ และความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ อาหารหมักได้รับความสนใจในแง่ของการเป็นอาหารฟังก์ชันที่มีองค์ประกอบสำคัญทางชีวภาพ ได้แก่ โพรไบโอติกส์ (probiotics) พรีไบโอติกส์ (prebiotics) และโพสโตไบโอติกส์ (postbiotics) ซึ่งมีบทบาทในการส่งเสริมสุขภาพ เช่น การปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหาร และการลดความเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง noncommunicable diseases, NCDs เช่น โรคหัวใจ โรคเบาหวาน และโรคอ้วน^(1, 2) เป็นต้น

ในศตวรรษที่ 21 แนวโน้มการดูแลสุขภาพแบบองค์รวมและการบริโภคอาหารฟังก์ชันได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่

เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์สุขภาพ เช่น โพรไบโอติกส์ และโพสโตไบโอติกส์ แม้ว่าโพรไบโอติกส์จะได้รับความนิยมน้อยแพร่หลาย แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความคงตัว ความปลอดภัย และความสามารถในการคงตัวระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา⁽³⁾ จึงเกิดความสนใจในการพัฒนาทางเลือกใหม่อย่าง “โพสโตไบโอติกส์” ซึ่งหมายถึงสารชีวภาพที่ผลิตขึ้นจากจุลินทรีย์มีชีวิต หรือเกิดขึ้นหลังจากจุลินทรีย์ตายแล้ว โดยยังคงคุณสมบัติทางสุขภาพที่สำคัญไว้ได้ งานวิจัยในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ชี้ให้เห็นว่า ประโยชน์ต่อสุขภาพจากอาหารหมักอาจไม่ได้เกิดจากจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงสารชีวภาพที่ผลิตขึ้นระหว่างกระบวนการหมักด้วยสารเหล่านี้⁽²⁾ ได้แก่ กรดไขมันสายสั้น (short chain-fatty acids) เอนไซม์ วิตามิน พอลิแซ็กคาไรด์ เปปไทด์ต้านจุลชีพ เช่น แบคเทรีโอซิน (bacteriocins) และเซลล์จุลินทรีย์ที่ตายแล้ว ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของโพสโตไบโอติกส์สามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักที่ผ่านการแปรรูปหรือฆ่าเชื้อแล้ว โดยไม่จำเป็นต้องมีจุลินทรีย์มีชีวิตเหลืออยู่ โพสโตไบโอติกส์มีข้อได้เปรียบที่สำคัญในด้านความปลอดภัย ความคงตัว และความยืดหยุ่นในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ โดยยังคงให้ผลทางสุขภาพ เช่น การเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน ลดการอักเสบปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ และเสริมการทำงานของระบบเมแทบอลิซึม⁽¹⁾

สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร การพัฒนาอาหารหมักที่อุดมด้วยโพรไบโอติกส์จึงกลายเป็นแนวทางใหม่ที่มีศักยภาพสูง ทั้งในด้านความปลอดภัยทางอาหาร การออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่คาดการณ์ได้ และการลดข้อจำกัดของโพรไบโอติกส์ เช่น ความไม่คงตัวต่อความร้อนและความเป็นกรด รวมทั้งความเสี่ยงต่อกลุ่มผู้บริโภคที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ การศึกษาบทบาทของโพรไบโอติกส์ในอาหารหมักจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งต่อการส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค และต่อการพัฒนานวัตกรรมอาหารฟังก์ชันในอนาคต

โพรไบโอติกส์

โพรไบโอติกส์ คือ จุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของร่างกายเมื่อบริโภคในปริมาณที่เหมาะสม การเสริมโพรไบโอติกส์ในอาหารช่วยส่งเสริมสุขภาพแก่ผู้บริโภคในหลายด้าน อย่างไรก็ตาม โพรไบโอติกส์จะออกฤทธิ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องสามารถมีชีวิตอยู่รอดผ่านสภาวะแวดล้อมในระบบทางเดินอาหารได้ และผลของโพรไบโอติกส์ต่อร่างกายขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และปริมาณที่ได้รับ⁽⁴⁾ นอกจากนี้จุลินทรีย์มีชีวิตหลายชนิดที่เป็นโพรไบโอติกส์มักไวต่อความร้อนและ/หรือออกซิเจน จึงจำเป็นต้องมีแนวทางในการคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยทั่วไป ผู้ผลิตมักเติมโพรไบโอติกส์ใน

ปริมาณที่มากกว่าที่ระบุไว้บนฉลาก เพื่อชดเชยการลดลงของจำนวนเซลล์โพรไบโอติกส์ที่ยังมีชีวิตเมื่อสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา⁽⁵⁾ อาหารหมัก เช่น กิมจิ กะหล่ำปลีดอง โยเกิร์ต และคอมบูชา มีจุลินทรีย์ที่ส่งผลดีต่อสุขภาพเช่นกัน อย่างไรก็ตามปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานไว้ ขณะที่จุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ในอาหารหมักทั่วไปมักมีอายุการเก็บรักษาที่จำกัดด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาแนวทางเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาแนวคิด “โพรสโตไบโอติกส์” (postbiotics)^(2,6)

โพรสโตไบโอติกส์

คำว่า "postbiotic" เป็นการรวมกันของคำว่า "biotic" ที่หมายถึง “สิ่งที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตหรือเกิดจากสิ่งมีชีวิต” และคำว่า "post" ซึ่งเป็นคำนำหน้าที่มีความหมายถึง “ภายหลัง” เมื่อนำมารวมกันจึงมีความหมายว่า “หลังจากมีชีวิต” หรือ “สิ่งที่ไม่ใช่สิ่งมีชีวิตอีกต่อไป” แนวคิดที่ว่าสิ่งมีชีวิตจุลชีพที่ตายแล้วอาจยังสามารถส่งเสริมหรือคงไว้ซึ่งประโยชน์ต่อสุขภาพได้นั้นไม่ใช่เรื่องใหม่ และในอดีตมีการใช้คำเพื่อบรรยายสารในลักษณะนี้ที่หลากหลายและแตกต่างกันไป ดัง Table 1 ได้แก่ paraprobiotics, ghost probiotics, para-psychobiotics, metabiotics, tyndallized probiotics และ bacterial lysates⁽⁷⁾ การพัฒนาของแนวคิดเรื่อง “โพรสโตไบโอติกส์”

แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของคำจำกัดความ และขอบเขตของโพรไบโอติกส์ในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยเริ่มต้นจากแนวคิดเบื้องต้นที่เน้นการกล่าวถึง ส่วนประกอบที่ไม่ใช่เซลล์ของโพรไบโอติกส์ ไปจนถึง แนวคิดปัจจุบันที่ได้รับการนิยามอย่างเป็นทางการจาก ISAPP ในปี 2021 ซึ่งระบุว่าโพรไบโอติกส์หมายถึง

“การเตรียมผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ถูกทำให้ตายแล้วและ/หรือองค์ประกอบของจุลินทรีย์ ซึ่งให้ ประโยชน์ต่อสุขภาพของเจ้าบ้าน” ทำให้เห็นภาพรวม ของการเปลี่ยนแปลงเชิงแนวคิด และตระหนักถึง ความสำคัญของการมีนิยามที่ชัดเจนสำหรับการพัฒนา ในด้านวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมอาหารฟังก์ชัน

Table 1 Evolvement of the concept “postbiotics”⁽⁷⁾

Concept	Date	Bacterial Strains Tested	Main Findings
Paraprobiotics or ghost probiotics	2009	Multiple	The health benefits of probiotics can be achieved without the risks related to administration of a live organism.
	2011	Multiple	Propose the new term “paraprobiotics” to refer to the inactivated microbial cells or cell fractions.
	2016	<i>Lactobacillus</i>	Paraprobiotic <i>Lactobacillus</i> affects intestinal functionality due to the brain-gut interaction.
	2018	<i>Lactobacillus</i>	<i>L. paracasei</i> MCC1849 improves resistance to common cold infections in vulnerable individuals and maintain a favorable emotional state.
	2018	Multiple	Paraprobiotics could be safe alternatives to probiotics in preterm neonates.
	2018	Multiple	Review the effectiveness of paraprobiotics for the prevention or treatment of virally-induced infections.

Concept	Date	Bacterial Strains Tested	Main Findings
Para- psychobiotic	2017	<i>Lactobacillus</i>	Para-psychobiotic <i>L. gasseri</i> CP2305 regulates stress responses depending on specific cell component(s).
Metabiotics	2013	Multiple	The concept, function and advantages of metabiotics.
	2020	<i>L. rhamnosus</i>	The isolated probiotic <i>L. rhamnosus</i> MD 14 generated metabiotics exhibiting antigenotoxic and cytotoxic effects against colon cancer.
Tyndallized probiotics	2016	<i>L. rhamnosus</i>	<i>L. rhamnosus</i> IDCC 3201 tyndallizate has potential for treating atopic dermatitis.
	2017	Multiple	Gelatin tannate and tyndallized probiotics can be used to restore the gut barrier physiological functions and prevent dysbiosis.
	2019	Multiple	Tyndallized bacteria and purified components confer probiotic properties.
Bacterial lysates	2018	Multiple	Bacterial lysates minimize the incidence of recurrent respiratory infections in children and adults when orally administrated.

อย่างไรก็ตาม ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา คำว่า “โพรไบโอติกส์” ได้รับการใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด สมาคมวิทยาศาสตร์นานาชาติว่าด้วยโพรไบโอติก และพรีไบโอติกส์ หรือ The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP)

เป็นองค์กรวิชาการนานาชาติที่รวมผู้เชี่ยวชาญด้าน จุลชีพ สุขภาพ และโภชนาการจากทั่วโลก โดยในปี 2021 ISAPP ได้ออกแถลงการณ์ฉันทามติ (consensus statement) เพื่อให้คำจำกัดความอย่างเป็นทางการของโพรไบโอติกส์ และระบุขอบเขตของคำว่า

โพรสโตไบโอติกส์ หมายถึง “การเตรียมสารที่มีจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถแบ่งตัวได้อีก (inanimate microorganisms) และ/หรือองค์ประกอบของจุลินทรีย์เหล่านั้น ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพของเจ้าบ้าน (host)” โดยมีประเด็นสำคัญในแถลงการณ์⁽²⁾ ได้แก่

1. โพรสโตไบโอติกส์ ไม่ได้หมายถึงแค่สารเมแทบอลิต์ที่จุลินทรีย์ผลิต เช่น กรดไขมันสายสั้นเท่านั้น แต่หมายรวมถึง ทั้งตัวเซลล์ที่ตายแล้วหรือ

ชิ้นส่วน เช่น ผนังเซลล์ โปรตีน ดีเอ็นเอ เอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ (exopolysaccharide) เป็นต้น

2. โพรสโตไบโอติกส์ ไม่ใช่สิ่งที่ “เคยเป็นโพรไบโอติกส์แล้วถูกฆ่า” เท่านั้น แต่ต้องผ่านการศึกษาและพิสูจน์แล้วว่า “มีประโยชน์และผลดีต่อสุขภาพ

3. โพรสโตไบโอติกส์ มีความแตกต่างจากคำว่า “paraprobiotic” ที่เคยใช้เรียกสิ่งที่คล้ายกัน แต่ ISAPP เลือกใช้ “โพรสโตไบโอติกส์” เป็นคำกลางที่ครอบคลุมและเหมาะสมกว่า

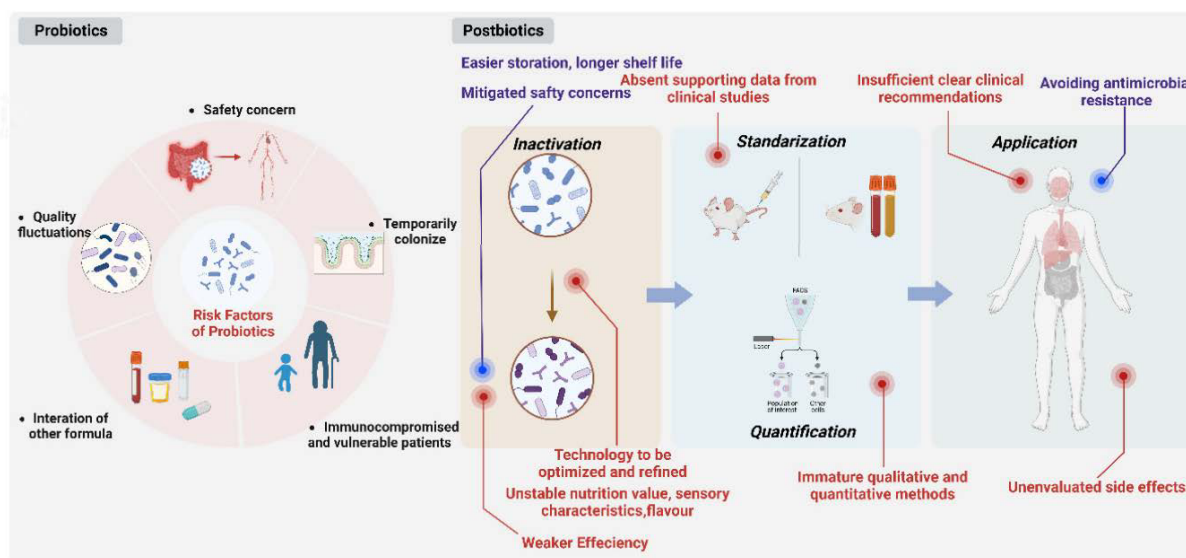


Figure 1 Comparison between probiotics and postbiotics in application⁽⁷⁾

Figure 1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโพรไบโอติกส์และโพรสโตไบโอติกส์ในแง่ของการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชัน โดยเน้นให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของโพรสโตไบโอติกส์ซึ่งมีความคงตัวสูงกว่าในกระบวนการผลิต การเก็บรักษา และการผ่านระบบทางเดินอาหาร เมื่อเทียบกับโพรไบโอติกส์ที่มีข้อจำกัดด้านความไวต่ออุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง

และปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อมอื่น ๆ ทั้งนี้ การใช้โพรสโตไบโอติกส์ยังสามารถควบคุมปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพได้อย่างแม่นยำ ลดความเสี่ยงของการปนเปื้อนหรือการรบกวนของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิต จึงมีแนวโน้มได้รับความนิยมมากขึ้นในอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภคที่มีข้อจำกัดด้านภูมิคุ้มกัน หรือไม่

สามารถบริโภคจุลินทรีย์มีชีวิตได้ นอกจากนี้ยังแสดงถึงข้อได้เปรียบของโพรไบโอติกส์ในแง่ของความคงตัวทางกายภาพและชีวภาพ รวมถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้บริโภคที่มีข้อจำกัดทางสุขภาพ เช่น ผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ หรือไม่สามารถบริโภคจุลินทรีย์ที่มีชีวิตได้

การออกฤทธิ์ของโพรไบโอติกส์

โพรไบโอติกส์เป็นสารชีวภาพที่ได้จากการเพาะเลี้ยงของจุลินทรีย์หรือจากการสลายตัวของเซลล์จุลินทรีย์ที่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่ยังคงมีผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยการออกฤทธิ์ผ่านกลไกที่มีความซับซ้อน ได้แก่

1. การเสริมสร้างความแข็งแรงของเยื่อบุลำไส้

กรดไขมันสายสั้น เช่น บิวทีเรตโพรพิโอ-เนต และอะซิเตต ซึ่งเป็นผลผลิตจากการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้ มีบทบาทในการเสริมความแข็งแรงของเยื่อบุลำไส้ การต้านการอักเสบ และเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน⁽²⁾

2. การปรับสมดุลของระบบภูมิคุ้มกัน

เอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นสารเมแทบอลิต์ที่จุลินทรีย์โพรไบโอติกส์สร้างขึ้น มีคุณสมบัติในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันโดยออกฤทธิ์ต่อแมคโครฟาจ

(macrophage) ซึ่งช่วยเสริมความสามารถของโพรไบโอติกส์ในการต่อสู้กับการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหารและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของอาหารบางชนิด⁽⁸⁾

สารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งอาจเป็นผลิตภัณฑ์หรือผลพลอยได้จากการเผาผลาญของแบคทีเรียที่มีชีวิตหรือที่ปล่อยออกมาหลังจากการแตกสลายของเซลล์แบคทีเรีย เช่น เอนไซม์ เปปไทด์ กรดทีโคอิก (teichoic acid) มิวโรเปปไทด์ที่ได้จากเปปติโดไกลแคน พอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีนที่ผิวเซลล์ และกรดอินทรีย์ โพรไบโอติกส์เหล่านี้เป็นสารที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ชัดเจน จึงสามารถศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและผลลัพธ์ทางชีวภาพได้อย่างแม่นยำ ทำให้สามารถระบุขนาดที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานทางสุขภาพได้ มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน และมีกลไกการส่งสัญญาณที่อาจมีฤทธิ์ด้านการอักเสบ การปรับสมดุลของระบบภูมิคุ้มกัน ด้านการอ้วน ด้านความดันโลหิตสูง ลดคอเลสเตอรอล ดังนั้น โพรไบโอติกส์จึงมีศักยภาพในการปรับสมดุลของระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งสามารถนำไปสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือยาในอนาคต⁽³⁾

ส่วนของการส่งเสริมการทำงานของเซลล์ภูมิคุ้มกัน เช่น แมคโครฟาจ เป็นเซลล์พิเศษที่มีหน้าที่ตรวจจับ กลืนกิน และทำลายแบคทีเรียและสิ่งมีชีวิตที่เป็นอันตรายอื่น ๆ และสามารถนำ

แอนติเจนไปยังเซลล์ที (T cell) และกระตุ้นการ
อักเสบโดยการปล่อยโมเลกุล ที่เรียกว่า ไซโตไคน์
(cytokine) ซึ่งจะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ และเซลล์
เดนไดรติก (dendritic cells) คือ เซลล์เสริมของ
ระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม⁽³⁾

3. ฤทธิ์ต้านจุลชีพ

สารประกอบที่ผลิตจากกระบวนการหมัก
เช่น กรดแล็กติกและกรดแอซิติก จัดเป็นกรด
อินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการ
เจริญเติบโตของจุลชีพก่อโรค ผ่านกลไกการลดค่า
ความเป็นกรดต่าง และการแทรกแซงสมดุลของเยื่อ
หุ้มเซลล์ ในขณะที่แบคทีเรียโอสิน ซึ่งเป็นเปปไทด์
ชีวภาพที่ผลิตโดยจุลินทรีย์บางสายพันธุ์ เช่น
L. plantarum RS5 มีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลชีพ
แบบจำเพาะ โดยสามารถทำลายผนังเซลล์ของเชื้อ
แบคทีเรีย เปลี่ยนแปลงการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์
และยับยั้งกระบวนการทางชีวภาพภายในเซลล์
แบคทีเรีย ส่งผลให้เกิดการยับยั้งหรือทำลายเชื้อ
เช่น *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*
และ *Salmonella typhimurium* ได้อย่างมี
ประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ยังพบว่าผลิตภัณฑ์
โอสินจากสายพันธุ์ดังกล่าวสามารถยับยั้ง
การยึดเกาะของ *E. coli* กับเซลล์เจ้าบ้าน ซึ่งเป็น
หนึ่งในกลไกสำคัญของการป้องกันการติดเชื้อ⁽⁹⁾

แบคทีเรียโอสินในโอสินไบโอดีทส์มีศักยภาพ
ในการใช้เป็นสารต้านจุลชีพ โดยเฉพาะในการ
ควบคุมการติดเชื้อจากเชื้อดื้อยา การประเมินความ
ปลอดภัยและประสิทธิภาพของแบคทีเรียโอสินเป็น
สิ่งสำคัญก่อนนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม
อาหารและเภสัชกรรมในรูปแบบโอสินไบโอดีทส์⁽¹⁰⁾

สารสกัดของโอสินไบโอดีทส์ที่ได้จากการ
เพาะเลี้ยง *Bacillus amyloliquefaciens* และ *L.*
plantarum ด้วยการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง
(solid-state fermentation) นำมาสกัดด้วยน้ำ
(water extraction) ได้เป็นสารสกัดโอสินไบโอดีทส์
ที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อก่อโรคหลายชนิด เช่น *E. coli*,
S. aureus และ *S. typhimurium* ผ่านกลไกการ
ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย และป้องกันการยึด
เกาะของเชื้อโรค *E. coli* กับเซลล์เจ้าบ้าน โดยมี
กรดแล็กติกและกรดแอซิติกเป็นองค์ประกอบสำคัญ
ในการต้านจุลชีพ แต่มีความปลอดภัยต่อเซลล์ของ
สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีความคงตัวสูงต่อการย่อยสลาย
ด้วยเอนไซม์และความร้อน กล่าวได้ว่าโอสินไบโอดีทส์ที่
ได้นี้มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร
ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽¹¹⁾

4. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

โอสินไบโอดีทส์ที่ผลิตจาก *Lactocaseibacillus*
casei มีความเข้มข้นของสารฟีนอลิกสูงถึง 99.46
มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม (mg GAE/g) และแสดง
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่แสดง

ความเป็นพิษต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์ของมนุษย์ ซึ่งเป็นเซลล์เนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีหน้าที่สำคัญในการสังเคราะห์คอลลาเจนและแมทริกซ์นอกเซลล์ (extracellular matrix) ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของโพรไบโอติกส์ในการพัฒนาเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอุตสาหกรรมอาหารและเภสัชกรรม ทั้งในฐานะสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านจุลชีพ และวัตถุดิบเสีย⁽¹²⁾

การเสริมโพรไบโอติกส์จาก *L. acidophilus* และ *L. plantarum* ในโยเกิร์ตช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะเมื่อเก็บรักษาโยเกิร์ตไว้เป็นเวลา 14 วัน ภายใต้สภาวะการทดลอง พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 48.81 เมื่อเทียบกับโยเกิร์ตที่ไม่ได้เสริมโพรไบโอติกส์ ซึ่งทำให้เห็นว่าโพรไบโอติกส์สามารถคงฤทธิ์และออกฤทธิ์ได้ในระหว่างการเก็บรักษา และอาจช่วยลดความเสี่ยงจากโรคที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระได้ พร้อมทั้งส่งเสริมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร⁽¹³⁾

โพรไบโอติกส์ที่ได้จากแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดแล็กติก *L. plantarum* มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงถึง 449.97 mg GAE/g และแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยชนิดและปริมาณของสารออกฤทธิ์ที่ผลิตขึ้นมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยง โดยเฉพาะอาหารที่มีเวย์เป็นส่วนประกอบ และการ

เติมอินูลินในระดับที่เหมาะสม พบว่าการเสริมอินูลินที่ระดับร้อยละ 2 ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ เช่น *L. plantarum* 299v, *L. casei* Shirota และ *B. lactis* BPL1 ซึ่งส่งผลให้มีการผลิตกรดแล็กติก กรดแอซิติก และกรดไขมันสายสั้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองนี้แสดงถึงศักยภาพของการใช้เวย์และเส้นใยอาหารเป็นวัตถุดิบในการผลิตโพรไบโอติกส์อย่างยั่งยืน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและส่งเสริมการทำงานของระบบทางเดินอาหาร⁽¹⁴⁾

5. การมีอิทธิพลต่อการสื่อสารระหว่างลำไส้และสมอง

กรดไขมันสายสั้น ซึ่งเป็นเมแทบอไลต์ที่ผลิตจากการหมักใยอาหารโดยไมโครไบโอตาในลำไส้ มีบทบาทสำคัญในการเป็นสื่อกลางของการสื่อสารระหว่างไมโครไบโอตา-ลำไส้-สมอง (microbiota-gut-brain axis) โดยส่งผลต่อการสื่อสารระหว่างลำไส้และสมองผ่านหลายกลไก ได้แก่ การกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนจากเซลล์เอนเทอโรเอนโดคริน (enteroendocrine cells) ในลำไส้ การปรับสมดุลของระบบภูมิคุ้มกัน การส่งสัญญาณผ่านเส้นประสาทเวกัส (vagus nerve) รวมถึงการเข้าสู่สมองโดยผ่านตัวขนส่งโมโนคาร์บอกซิเลต (monocarboxylate transporters) และแนวกั้นเลือดและสมอง (blood-brain barrier) การเปลี่ยนแปลงของระดับ

กรดไขมันสายสั้นในร่างกายอาจเกี่ยวข้องกับ ความผิดปกติทางระบบประสาท เช่น ภาวะซึมเศร้าหรือ ความผิดปกติด้านพฤติกรรมและอารมณ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กรดไขมันสายสั้นอาจเป็นเป้าหมายเชิงชีวภาพ ที่สำคัญสำหรับการบำบัดในอนาคต เนื่องจากกรดไขมันสายสั้นสามารถมีผลโดยตรงหรือโดยอ้อมต่อ ระบบประสาทส่วนกลาง ทั้งผ่านการกระตุ้น เส้นประสาทเวกัส การส่งสัญญาณผ่านสารสื่อประสาท และการมีอิทธิพลต่อสมดุลของภูมิคุ้มกัน และการอักเสบในร่างกาย ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ กรดไขมันสายสั้นจึงมีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐาน ในการพัฒนาวิธีการบำบัดโรคทางระบบประสาทและ จิตเวช เช่น ภาวะซึมเศร้า วิตกกังวล หรือแม้แต่โรค เกี่ยวกับความเสื่อมของสมองในอนาคต⁽¹⁵⁾

การประยุกต์ใช้โพรไบโอติกส์ในอุตสาหกรรมอาหาร

กระบวนการหมักเป็นวิธีการที่แพร่หลายที่สุด ในการประยุกต์ใช้โพรไบโอติกส์ โดยแบคทีเรียสายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตโพรไบโอติกส์ ได้แก่ *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium*⁽¹⁶⁾ อุตสาหกรรมนมมีการใช้ประโยชน์อย่างมาก จากเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดยแบคทีเรียกรดแล็กติกในกระบวนการหมักนม เนื่องจากเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์มีบทบาทสำคัญในการควบคุม

คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นมหมัก และช่วยลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์⁽¹⁷⁾ นอกจากนี้ โพรไบโอติกส์จาก *L. plantarum* ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารกันเสียชีวภาพ (bio-preservative) ที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาของถั่วเหลือง⁽¹⁸⁾ การประยุกต์ใช้ในสองลักษณะข้างต้นได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่ชื่อว่า “MicroGARD” โดยบริษัท Danisco ซึ่งได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (FDA) ให้ใช้เป็นสารกันเสียชีวภาพในผลิตภัณฑ์นมและอาหารหลากหลายประเภท โดย MicroGARD ผลิตจากการหมัก *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* ในน้ำมันพอร์มงมันเนย⁽¹⁹⁾ นอกจากนี้ ยังมีแนวทางใหม่ในการประยุกต์ใช้ ได้แก่ การเพิ่มปริมาณวิตามินบี และการลดองค์ประกอบที่เป็นพิษ ในระหว่างกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์⁽¹⁶⁾

การประยุกต์ใช้โพรไบโอติกส์ในอาหารหมักจากพืช

อาหารหมักจากพืชได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น ในฐานะผลิตภัณฑ์ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคที่หลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์จากสัตว์และมีข้อจำกัดด้านการแพ้นมจากสัตว์ พืชที่นิยมนำมาพัฒนาเป็นอาหารหมักจากพืช เช่น ถั่วเหลือง ข้าวโอ๊ต มะพร้าว ข้าว และถั่วเขียว ซึ่งมีคาร์โบไฮเดรต

เส้นใยอาหาร และสารอาหารรองในระดับสูง จึงเอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก ซึ่งสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่เหมาะสม เช่น *L. plantarum*, *L. rhamnosus* และ *Bifidobacterium* สามารถสร้างสารชีวภาพที่เป็นโอสต์ไบโอติกส์ เช่น กรดไขมันสายสั้น เอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ และเปปไทด์ต้านจุลชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ^(20, 21)

การหมักกล้วยเหลือง เช่น เหมแป้ มิโสะ และนัตโตะ เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ วิตามิน B และโอสต์ไบโอติกส์ที่ส่งเสริมสุขภาพลำไส้ และมีฤทธิ์ลดการอักเสบได้ดี^(22, 23) การใช้ *L. rhamnosus* ในการหมักกล้วยเหลือง ยังพบว่าช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ในแง่ของ bioavailability ของสารอาหารอีกด้วย⁽³⁾ ข้าวโอ๊ตที่มีเบต้า-กลูแคนสูง เมื่อหมักโดย *L. plantarum* หรือ *Bifidobacterium spp.* พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันสายสั้นและโอสต์ไบโอติกส์ที่มีฤทธิ์ด้านการอักเสบ ซึ่งแสดงศักยภาพต่อการส่งเสริมสุขภาพลำไส้ โดยเฉพาะในผู้ป่วยโรคลำไส้แปรปรวนและกลุ่มอาการเมตาบอลิก^(24, 25) งานวิจัยบางชิ้นยังแสดงให้เห็นว่า แม้ไม่มีจุลินทรีย์มีชีวิตหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่โอสต์ไบโอติกส์ที่เกิดขึ้นสามารถให้ผลทางสุขภาพได้เทียบเท่าหรือดีกว่าโพรไบโอติกส์ในบางกรณี โดยเฉพาะด้านความปลอดภัยและความคงตัวในสภาวะอุตสาหกรรม^(26, 27) ขณะที่มะพร้าวและเนื้อมะพร้าวสามารถหมักเพื่อผลิตเครื่องดื่มที่มีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ โดยการหมักน้ำมะพร้าวช่วยเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูล

อิสระและสารประกอบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ⁽²⁰⁾ ขณะที่การศึกษาการหมักน้ำข้าวพบว่าโอสต์ไบโอติกส์ที่ได้จากการหมักน้ำข้าวสามารถส่งผลดีต่อสุขภาพของเซลล์ลำไส้ใหญ่⁽²⁸⁾ ส่วนการใช้ถั่วเขียวในการหมักร่วมกับจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสามารถผลิตโอสต์ไบโอติกส์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพได้ ซึ่งการหมักถั่วเขียวจะสามารถลดสารต้านโภชนาการและเพิ่มการย่อยได้ของโปรตีน⁽²⁹⁾

แนวโน้มและทิศทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากพืช

ผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากพืชที่มีโอสต์ไบโอติกส์ได้รับความสนใจเนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น การเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน การลดการอักเสบ และการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ ตลาดผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากพืชที่มีโอสต์ไบโอติกส์มีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้นในด้านอาหารเพื่อสุขภาพและอาหารจากพืช โดยมีการคาดการณ์ว่าตลาดจะมีมูลค่าสูงถึง 32.73 ล้านดอลลาร์สหรัฐภายในปี 2032⁽³⁰⁾ ด้านการวิจัยมีการวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่มีโอสต์ไบโอติกส์จากการหมักพืช โดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโอสต์ไบโอติกส์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางสุขภาพของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการศึกษาผลกระทบของโอสต์ไบโอติกส์ต่อสุขภาพในระดับโมเลกุล⁽³¹⁾

ความท้าทายสำคัญในการประยุกต์ใช้ โพรไบโอติกส์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ การรักษา ความคงตัวของสารออกฤทธิ์และการพัฒนาเทคนิค การวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ ปัจจุบันยังขาดมาตรฐานที่ชัดเจนในการประเมิน คุณภาพและปริมาณของโพรไบโอติกส์ใน ผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีความจำเป็นในการกำหนด แนวทางมาตรฐานเพื่อรองรับการพัฒนาและ ควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของ โพรไบโอติกส์อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

บทสรุป

อาหารหมักเป็นแหล่งสำคัญของจุลินทรีย์ และสารชีวภาพที่มีบทบาทในการส่งเสริมสุขภาพ โดยเฉพาะโพรไบโอติกส์และโพรไบโอติกส์ ซึ่งใน ปัจจุบันโพรไบโอติกส์ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นจาก

คุณสมบัติด้านความปลอดภัย ความคงตัว และ ความสามารถในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ชัดเจน แม้ปราศจากจุลินทรีย์มีชีวิต โพรไบโอติกส์ ประกอบด้วยสารประกอบที่ได้จากจุลินทรีย์ที่ไม่ สามารถแบ่งตัวได้อีก เช่น กรดไขมันสายสั้น เอนไซม์ เปปไทด์ต้านจุลชีพ และชิ้นส่วนของผนัง เซลล์ ซึ่งแสดงผลในการเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน ด้าน การอักเสบ ปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ และยับยั้ง เชื้อก่อโรคต่าง ๆ กลไกการออกฤทธิ์ ของ โพรไบโอติกส์ที่หลากหลายและแม่นยำ ทำให้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาอาหาร ฟังก์ชัน ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร หรือแม้แต่ยาใน อนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยและพัฒนา อาหารหมักที่อุดมด้วยโพรไบโอติกส์จึงเป็น แนวทางที่สำคัญต่อทั้งสุขภาพของผู้บริโภคและการ ยกระดับอุตสาหกรรมอาหารในยุคใหม่

เอกสารอ้างอิง

1. Kumar A, Green KM, Rawat M. A comprehensive overview of postbiotics with a special focus on discovery techniques and clinical applications. *Foods*. 2024;13(18):2937.
2. Salminen S, Collado MC, Endo A, Hill C, Lebeer S, Quigley EMM, et al. The international scientific association of probiotics and prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2021;18(9):649-67.
3. Aguilar-Toalá JE, Garcia-Varela R, Garcia HS, Mata-Haro V, González-Córdova AF, Vallejo-Cordoba B, et al. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*. 2018;75:105-14.
4. Hill C, Guarner F, Reid G, Gibson GR, Merenstein DJ, Pot B, et al. The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2014;11(8):506-14.
5. Fiore W, Arioli S, Guglielmetti S. The neglected microbial components of commercial probiotic formulations. *Microorganisms*. 2020;8(8).

6. Asif A, Afzaal M, Shahid H, Saeed F, Ahmed A, Shah YA, et al. Probing the functional and therapeutic properties of postbiotics in relation to their industrial application. *Food Sci Nutr*. 2023;11(8):4472-84.
7. Ma L, Tu H, Chen T. Postbiotics in Human Health: A Narrative Review. *Nutrients*. 2023;15(2).
8. Wu MH, Pan TM, Wu YJ, Chang SJ, Chang MS, Hu CY. Exopolysaccharide activities from probiotic *Bifidobacterium*: Immunomodulatory effects (on J774A.1 macrophages) and antimicrobial properties. *Int J Food Microbiol*. 2010;144(1):104-10.
9. Foong O, Foo HL, Loh T, Mohamad R, Rahim R, Ariff A. A refined medium to enhance the antimicrobial activity of postbiotic produced by *Lactiplantibacillus plantarum* RS5. *Scientific Reports*. 2021;11.
10. Benítez-Chao DF, León-Buitimea A, Lerma-Escalera JA, Morones-Ramírez JR. Bacteriocins: An overview of antimicrobial, toxicity, and biosafety assessment by *in vivo* models. *Front Microbiol*. 2021;12:630695.
11. Tong Y, Abbas Z, Zhang J, Wang J, Zhou Y, Si D, et al. Antimicrobial activity and mechanism of novel postbiotics against foodborne pathogens. *LWT*. 2025;217:117464.
12. Asadi Z, Abbasi A, Ghaemi A, Montazeri EA, Akrami S. Investigating the properties and antibacterial, antioxidant, and cytotoxicity activity of postbiotics derived from *Lactocaseibacillus casei* on various gastrointestinal pathogens *in vitro* and in food models. *GMS Hyg Infect Control*. 2024;19:Doc60.
13. Davarzani S, Sanjabi MR, Mojgani N, Mirdamadi S, Soltani M. Investigating the antibacterial, antioxidant, and cholesterol-lowering properties of yogurt fortified with postbiotic of *Lactobacillus acidophilus* and *Lactiplantibacillus plantarum* in the wistar rat model. *Journal of Food Protection*. 2024;87(12):100408.
14. Vera-Santander VE, Mani-López E, López-Malo A, Jiménez-Munguía MT. Use of whey for a sustainable production of postbiotics with potential bioactive metabolites. *Sustainable Food Technology*. 2024;2(4):1101-12.
15. Guo C, Huo YJ, Li Y, Han Y, Zhou D. Gut-brain axis: Focus on gut metabolites short-chain fatty acids. *World J Clin Cases*. 2022;10(6):1754-63.
16. Thorakkattu P, Khanashyam AC, Shah K, Babu KS, Mundanat AS, Deliephan A, et al. Postbiotics: current trends in food and pharmaceutical industry. *Foods*. 2022;11(19).
17. Behare P, Singh R, Singh RP. Exopolysaccharide-producing mesophilic lactic cultures for preparation of fat-free Dahi - an Indian fermented milk. *J Dairy Res*. 2009;76(1):90-7.
18. Ahmad Rather I, Seo BJ, Rejish Kumar VJ, Choi UH, Choi KH, Lim JH, et al. Isolation and characterization of a proteinaceous antifungal compound from *Lactobacillus plantarum* YML007 and its application as a food preservative. *Lett Appl Microbiol*. 2013;57(1):69-76.
19. Makhal S, Kanawjia SK, Giri A. Effect of microGARD on keeping quality of direct acidified Cottage cheese. *J Food Sci Technol*. 2015;52(2):936-43.
20. Masiá C, Geppel A, Jensen PE, Buldo P. Effect of *Lactobacillus rhamnosus* on physicochemical properties of fermented plant-based raw materials. *Foods*. 2021;10(3).
21. Wegh CAM, Geerlings SY, Knol J, Roeselers G, Belzer C. Postbiotics and their potential applications in early life nutrition and beyond. *International journal of molecular sciences*. 2019; 20(19):4673.

22. Ma L, Tu H, Chen T. Postbiotics in human health: A narrative review. *Nutrients*. 2023;15(2):291.
23. Islam F, Azmat F, Imran A, Zippi M, Hong W, Tariq F, et al. Role of postbiotics in food and health: a comprehensive review. *CyTA - Journal of Food*. 2024;22(1):2386412.
24. Barros CP, Guimarães JT, Esmerino EA, Duarte MCKH, Silva MC, Silva R, et al. Paraprobiotics and postbiotics: concepts and potential applications in dairy products. *Current Opinion in Food Science*. 2020;32:1-8.
25. Bueno EBT, Silva KdO, Mendes MEF, de Oliveira LB, Menezes FPD, Imperador AC, et al. Postbiotics derived from lactic acid bacteria fermentation: Therapeutic potential in the treatment of muscular complications in inflammatory bowel disease. *Fermentation*. 2025;11(7):362.
26. Taverniti V, Guglielmetti S. The immunomodulatory properties of probiotic microorganisms beyond their viability (ghost probiotics: proposal of paraprobiotic concept). *Genes Nutr*. 2011;6(3):261-74.
27. Żółkiewicz J, Marzec A, Ruszczyński M, Feleszko W. Postbiotics-a step beyond pre- and probiotics. *Nutrients*. 2020;12(8).
28. Anbalagan C, Nandabalan SK, Sankar P, Rajaram PS, Govindaraj K, Rupert S, et al. Postbiotics of naturally fermented synbiotic mixture of rice water aids in promoting colonocyte health. *Biomolecules*. 2024;14(3):344.
29. Muchimapura S, Thukhammee W, Phuthong S, Potue P, Khamseekaew J, Tong-un T, et al. Mung bean functional protein enhances endothelial function via antioxidant activity and inflammation modulation in middle-aged adults: a randomized double-blind trial. *Foods*. 2024;13(21):3427.
30. Postbiotics Market to Reach \$ 32.73 Million by 2032, Growing at a CAGR of 10.4% from 2025 - Exclusive Report by Meticulous Research®. PR Newswire [Internet]. 2025 April [cited 2025 May 12]. Available from: <https://finance.yahoo.com/news/postbiotics-market-reach-32-73-140100298.html?utm>.
31. Prajapati N, Patel J, Singh S, Yadav VK, Joshi C, Patani A, et al. Postbiotic production: harnessing the power of microbial metabolites for health applications. *Front Microbiol*. 2023;14:1306192.