

การประยุกต์ใช้โพรไบโอติกส์ในอาหารสัตว์น้ำเพื่อสุขภาพสัตว์น้ำและความยั่งยืน

Application of postbiotics in aquafeeds for aquatic animal health and sustainable aquaculture

ราชิด เพ็งสีแสง

Rachid Pengseesang

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

ตำบลโพธิ์ อำเภอเมืองศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ 33000

Department of Agricultural Technology, Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University,

Tumbon Pho, Mueang Sisaket District, Sisaket Province 33000

*Corresponding Author: rraacchhiidd01@gmail.com

Received: 25 August 2026; Revised: 23 September 2026; Accepted: 8 October 2026

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้โพรไบโอติกส์ในอาหารสัตว์น้ำได้รับความสนใจในฐานะสารเสริมอาหารเชิงหน้าที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและสนับสนุนความยั่งยืนของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับกลไกการออกฤทธิ์ ผลต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการผลิต ปัจจัยที่เกี่ยวข้องตลอดจนแนวโน้มและข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าโพรไบโอติกส์คือการเตรียมจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตและ/หรือส่วนประกอบของจุลินทรีย์ที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพของโฮสต์ ซึ่งสามารถปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ ยับยั้งเชื้อก่อโรค กระตุ้นภูมิคุ้มกันผ่าน PRRs และ cytokine pathways ลดการอักเสบ และส่งเสริมการย่อยและดูดซึมสารอาหาร ส่งผลให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการรอด และความต้านทานต่อโรคและความเครียดดีขึ้น การเสริมโพรไบโอติกส์ในสัตว์น้ำเศรษฐกิจ เช่น ปลานิล ปลาดุก ปลาการ์ป และกุ้งขาว มีศักยภาพในการปรับปรุงการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน และสุขภาพลำไส้ โดยประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับชนิดสัตว์น้ำ ชนิดและระดับการใช้โพรไบโอติกส์ รวมถึงสภาพแวดล้อมการเลี้ยง อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดด้านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัยระยะยาว ความคงตัว และต้นทุนการผลิต แนวโน้มในอนาคตมุ่งพัฒนาโพรไบโอติกส์ร่วมกับ Precision aquaculture, Functional aquafeeds, AI-based feed formulation และ Circular bioeconomy เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดการสูญเสีย และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น โพรไบโอติกส์จึงมีศักยภาพเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยุคใหม่ที่สนับสนุนความมั่นคงทางอาหาร เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: โพรไบโอติกส์ อาหารสัตว์น้ำ ภูมิคุ้มกัน การเจริญเติบโต การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน

ABSTRACT

The application of postbiotics in aquafeeds has attracted increasing attention as a functional feed additive with the potential to improve production efficiency and support the sustainability of aquaculture. This article aims to synthesize current knowledge on the mechanisms of action of postbiotics, their effects on health and production performance, relevant influencing factors, and future trends and limitations in their application. The literature review indicates that postbiotics are preparations of inanimate microorganisms and/or their components that confer a health benefit on the host. These preparations can modulate the intestinal microbiota, inhibit pathogenic microorganisms, stimulate immune responses through pattern recognition receptors (PRRs) and cytokine pathways, reduce inflammation, and enhance nutrient digestion and absorption. These effects can contribute to improved growth performance, feed utilization efficiency, survival, and resistance to diseases and environmental stress. The supplementation of postbiotics in economically important aquaculture species, including Nile tilapia, catfish, carp, and whiteleg shrimp, shows considerable potential for improving growth, immune function, and intestinal health. However, their efficacy depends on the cultured species, type and dosage of postbiotics, and environmental conditions. Several challenges remain, particularly regarding product standardization, long-term safety, stability, and production costs. Future research is expected to focus on integrating postbiotics with precision aquaculture, functional aquafeeds, AI-based feed formulation, and the circular bioeconomy to enhance production efficiency, reduce antibiotic use, and minimize environmental impacts. Therefore, postbiotics have strong potential to become an important component of modern aquaculture, contributing to sustainable food security, economic development, and environmental sustainability.

Keywords: Postbiotics, Aquafeed, Immune system, Growth performance, Sustainable aquaculture

บทนำ

อุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงทางอาหารของประชากรโลก เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูงที่สามารถตอบสนองความต้องการบริโภคที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในยุคประชากรโลกขยายตัว อย่างไรก็ตาม การเพิ่มกำลังการผลิตในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงอุตสาหกรรมมักเผชิญกับข้อจำกัดที่สำคัญ ได้แก่ ปัญหาความหนาแน่นของการเลี้ยงสูง การระบาดของโรค และคุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการผลิตและต้นทุนการเลี้ยงสัตว์น้ำ (Goh et al., 2022) ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา การใช้ยาปฏิชีวนะถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมโรคในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่กลับก่อให้เกิด

ปัญหาการดื้อยาของเชื้อก่อโรค (Antimicrobial resistance) รวมถึงการตกค้างของสารในผลผลิตสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นประเด็นด้านความปลอดภัยอาหารและสิ่งแวดล้อมที่ได้รับความสนใจในระดับสากล (Goh et al., 2022; Tao et al., 2024; Sumon et al., 2025) ส่งผลให้เกิดการพัฒนาแนวทางทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้สารเสริมชีวณะ (Biological feed additives) ในอาหารสัตว์น้ำ

แนวคิดสารเสริมชีวณะในอาหารสัตว์น้ำ ได้แก่ โพรไบโอติกส์ (Probiotics) พรีไบโอติกส์ (Prebiotics) ซินไบโอติกส์ (Synbiotics) และโพสโตไบโอติกส์ (Postbiotics) ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน และเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (Goh et al., 2022; Wisastra et al., 2025) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “โพสโตไบโอติกส์” ซึ่งหมายถึงการเตรียมจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตและ/หรือส่วนประกอบของจุลินทรีย์ที่ส่งผลดีต่อสุขภาพของโฮสต์ เช่น องค์ประกอบของเซลล์และส่วนประกอบของผนังเซลล์ มีศักยภาพสูงในการส่งเสริมสุขภาพสัตว์น้ำโดยไม่ต้องพึ่งพาจุลินทรีย์มีชีวิต (Salminen et al., 2021; Goh et al., 2022) ทั้งนี้ สารเมแทบอลิต์ เช่น กรดอินทรีย์ เปปไทด์ และแบคทีเรียโอซิน อาจเป็นองค์ประกอบหรือสารออกฤทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับผลของโพสโตไบโอติกส์ แต่สารเมแทบอลิต์เพียงอย่างเดียวไม่ถือเป็นโพสโตไบโอติกส์ตามนิยามดังกล่าว นอกจากนี้ โพสโตไบโอติกส์ยังมีข้อได้เปรียบด้านความคงตัวสูง ลดข้อจำกัดด้านการเก็บรักษา และลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อมการเลี้ยง (Tao et al., 2024; Wisastra et al., 2025) งานวิจัยล่าสุดชี้ให้เห็นว่า โพสโตไบโอติกส์สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การย่อยอาหาร การทำงานของเอนไซม์ภูมิคุ้มกัน และความต้านทานต่อเชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำหลายชนิด ทั้งปลาและกุ้ง อีกทั้งยังมีบทบาทในการลดผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมภายในระบบการสนับสนุนประสิทธิภาพของระบบการเพาะเลี้ยง (Sumon et al., 2025; Wisastra et al., 2025) จึงถือเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับแนวคิดการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน (Sustainable aquaculture) แม้ว่าจะมีบทความทบทวนเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โพสโตไบโอติกส์ในสัตว์น้ำอย่างต่อเนื่อง โดย Tao et al. (2024) เน้นการประยุกต์ใช้โพสโตไบโอติกส์เป็นสารเสริมอาหารอย่างยั่งยืน ขณะที่ Wisastra et al. (2025) ครอบคลุมสารเสริมชีวณะหลายกลุ่ม ได้แก่ พรีไบโอติกส์ โพรไบโอติกส์ ซินไบโอติกส์ โพสโตไบโอติกส์ และพาราไบโอติกส์ และ Thakur et al. (2025) เน้นโพรไบโอติกส์และโพสโตไบโอติกส์ รวมถึงช่องว่างการวิจัยและแนวทางการศึกษาในอนาคต บทความนี้มุ่งเน้นการสังเคราะห์บทบาทของโพสโตไบโอติกส์ในอาหารสัตว์น้ำ โดยเชื่อมโยงกลไกการออกฤทธิ์กับผลต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการผลิต ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ข้อดี และข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ ตลอดจนแนวโน้มการพัฒนาในอนาคต

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีรายงานวิจัยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โพสโตไบโอติกส์ แต่ยังขาดการสังเคราะห์องค์ความรู้เชิงระบบที่อธิบายกลไกการออกฤทธิ์อย่างครบถ้วน รวมถึงการเชื่อมโยงผลลัพธ์ด้านสุขภาพสัตว์น้ำกับประสิทธิภาพการผลิต ปัจจัยที่มีผล และข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ ดังนั้น บทความวิชาการฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับกลไกการออกฤทธิ์ของโพสโตไบโอติกส์ ประสิทธิภาพการผลิต ผลต่อสุขภาพสัตว์น้ำ ปัจจัยที่มีผล และข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ เพื่อสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนในอนาคต

เนื้อหา

แนวคิดและองค์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโพสต์ไบโอติกส์

แนวคิดและองค์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโพสต์ไบโอติกส์ ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากความก้าวหน้าทางจุลชีววิทยาและโภชนศาสตร์สัตว์ โดยโพสต์ไบโอติกส์หมายถึงการเตรียมจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตและ/หรือส่วนประกอบของจุลินทรีย์ที่ส่งผลดีต่อสุขภาพของโฮสต์ (Inactivated microorganisms and/or microbial components) ซึ่งยังสามารถส่งผลดีต่อโฮสต์ได้แม้ปราศจากจุลินทรีย์มีชีวิต (Salminen et al., 2021) ในบริบทของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โพสต์ไบโอติกส์ถูกจัดเป็นสารเสริมอาหารเชิงหน้าที่ (Functional feed additives) ที่มีบทบาทในการเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน ลดการอักเสบ และปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ของสัตว์น้ำ อีกทั้งยังช่วยลดข้อจำกัดของการใช้โพรไบโอติกส์ที่มีชีวิต เช่น ความไม่เสถียรต่อสภาพแวดล้อมการเลี้ยงและการเก็บรักษา (Goh et al., 2022; Tao et al., 2024; Wisastra et al., 2025) ในระดับสากล แนวคิดของโพสต์ไบโอติกส์ได้พัฒนาอย่างเป็นระบบจากคำว่า “paraprobiotics” และ “non-viable probiotics” ไปสู่กรอบแนวคิดที่ครอบคลุมทั้งเซลล์จุลินทรีย์ที่ไม่สามารถมีชีวิตและองค์ประกอบเชิงชีวภาพทั้งหมด โดย International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) ได้ให้คำจำกัดความว่า postbiotics คือ “preparation of inanimate microorganisms and/or their components that confer a health benefit on the host” (Salminen et al., 2021) ซึ่งสะท้อนการเปลี่ยนผ่านจากการใช้จุลินทรีย์มีชีวิตไปสู่การใช้สารชีวภาพที่มีความเสถียรสูงและควบคุมคุณภาพได้ง่ายกว่า ทั้งนี้ งานวิจัยในช่วงปี 2020–2025 ยังชี้ให้เห็นบทบาทที่เพิ่มขึ้นของโพสต์ไบโอติกส์ ในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มุ่งลดการใชยาปฏิชีวนะและพัฒนาสู่ระบบการผลิตที่ยั่งยืนมากขึ้น (Goh et al., 2022)

จากการสังเคราะห์องค์ความรู้พบว่า โพสต์ไบโอติกส์มีศักยภาพในด้านความเสถียรสูง (High stability) ความปลอดภัยสูง (Safety) และกลไกการออกฤทธิ์แบบตรง (Direct bioactivity) ซึ่งทำให้สามารถตอบสนองต่อระบบสรีรวิทยาของสัตว์น้ำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ดังนั้น โพสต์ไบโอติกส์จึงถูกจัดอยู่ในกลุ่ม functional bioactive feed additives ที่มีศักยภาพสูงต่อการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงยั่งยืน โดยเฉพาะระบบการผลิตที่มุ่งลดการใชยาปฏิชีวนะ ควบคู่กับการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทั้งในมิติทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

กลไกการออกฤทธิ์ของโพสต์ไบโอติกส์ในสัตว์น้ำ

กลไกการออกฤทธิ์ของโพสต์ไบโอติกส์ในสัตว์น้ำเป็นกระบวนการแบบหลายกลไก (Multi-mechanistic effects) ที่เกิดจากการทำงานร่วมกันขององค์ประกอบชีวโมเลกุล เช่น เปปไทด์ กรดอินทรีย์ แบคทีเรียโอซิน และส่วนประกอบของผนังเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งสามารถส่งผลต่อระบบสรีรวิทยาของสัตว์น้ำได้โดยไม่ต้องอาศัยจุลินทรีย์มีชีวิต (Salminen et al., 2021; Tao et al., 2024) กลไกสำคัญเริ่มจากการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ (Gut microbiota modulation) โดยส่งเสริมการเพิ่มของแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์และลดเชื้อก่อโรคผ่านการปรับสภาพแวดล้อมในลำไส้ เช่น การลด pH ด้วยกรดอินทรีย์และการยับยั้งเชื้อด้วย bacteriocins ส่งผลให้ระบบทางเดินอาหารมีเสถียรภาพมากขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหาร

(Goh et al., 2022) ขณะเดียวกันยังมีบทบาทในการยับยั้งเชื้อก่อโรคโดยตรงผ่านการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ การแข่งขันแย่งพื้นที่ยึดเกาะ และการยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคสำคัญ เช่น *Vibrio* spp. และ *Aeromonas* spp. ซึ่งพบได้บ่อยในสัตว์น้ำเศรษฐกิจ นอกจากบทบาทด้านจุลินทรีย์แล้ว โปสโตไบโอติกส์ยังมีบทบาทสำคัญต่อระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำ โดยกระตุ้น innate immunity และในปลาเกี่ยวข้องกับ adaptive immunity ผ่านการทำงานของเซลล์ภูมิคุ้มกัน เช่น macrophage และ lymphocyte ในปลา ขณะที่กึ่งอาศัย innate immunity และ hemocytes เป็นหลัก โดยองค์ประกอบจากผนังเซลล์จุลินทรีย์ทำหน้าที่เป็นรูปแบบโมเลกุลที่สัมพันธ์กับเชื้อก่อโรค (Pathogen-Associated Molecular Patterns; PAMPs) ที่กระตุ้นตัวรับรู้รูปแบบ (Pattern Recognition Receptors; PRRs) ส่งผลให้เกิดการเพิ่มกิจกรรมของ lysozyme, complement system และ phagocytosis (Tao et al., 2024) อีกทั้งยังช่วยลดการอักเสบผ่านการควบคุมการแสดงออกของ cytokines เช่น tumor necrosis factor-alpha (TNF- α) และ interleukin-1 beta (IL-1 β) พร้อมเพิ่ม cytokines ชนิดต้านการอักเสบ เช่น interleukin-10 (IL-10) ผ่านการปรับ signaling pathways เช่น nuclear factor kappa B (NF- κ B) pathway (Salminen et al., 2021) ในขณะเดียวกันยังช่วยเพิ่มศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระโดยกระตุ้นเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (Superoxide Dismutase; SOD), คตาเลส (Catalase; CAT) และกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione Peroxidase; GPx) เพื่อลด oxidative stress รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารผ่านการกระตุ้นเอนไซม์ย่อยอาหารและการรักษาความสมบูรณ์ของโครงสร้างทางเดินอาหาร ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio; FCR) ดีขึ้นและสุขภาพลำไส้แข็งแรงขึ้น (Goh et al., 2022) Figure 1 แสดงกลไกการออกฤทธิ์ของโปสโตไบโอติกส์ต่อสุขภาพสัตว์น้ำ โดยเริ่มจากการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ซึ่งนำไปสู่การยับยั้งเชื้อก่อโรคและเพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ จากนั้นกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันผ่าน PRRs ส่งผลให้เกิดการตอบสนองของเซลล์ภูมิคุ้มกันและการสร้างสารต้านจุลชีพภายในร่างกาย ควบคู่กับการลดการอักเสบโดยการควบคุม cytokines และการเสริมระบบต้านอนุมูลอิสระเพื่อลดความเครียดออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารและความสมบูรณ์ของลำไส้ ทำให้การดูดซึมสารอาหารดีขึ้น ลดค่า FCR และส่งผลเชิงบวกต่อการเจริญเติบโต ความต้านทานโรค และความยั่งยืนของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยรวม

ผลของโปสโตไบโอติกส์ต่อประสิทธิภาพการผลิตสัตว์น้ำ

การประยุกต์ใช้โปสโตไบโอติกส์ในอาหารสัตว์น้ำส่งผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพการผลิตในหลายมิติ ได้แก่ การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร สุขภาพ อัตราการรอด และความยั่งยืนของระบบการเพาะเลี้ยง โดยผลดังกล่าวเป็นผลลัพธ์จากกลไกเชิงสรีรวิทยาและภูมิคุ้มกันที่ทำงานเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ (Goh et al., 2022; Tao et al., 2024) ในด้านการเจริญเติบโต พบว่าโปสโตไบโอติกส์ช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate; SGR) และน้ำหนักตัว ผ่านการกระตุ้นเอนไซม์ย่อยอาหารและการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหาร ส่งผลให้สัตว์น้ำสามารถนำพลังงานจากอาหารไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ขณะเดียวกันยังช่วยลดค่า FCR อันเป็นผลจากการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ และการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารโดยรวม (Goh et al., 2022)

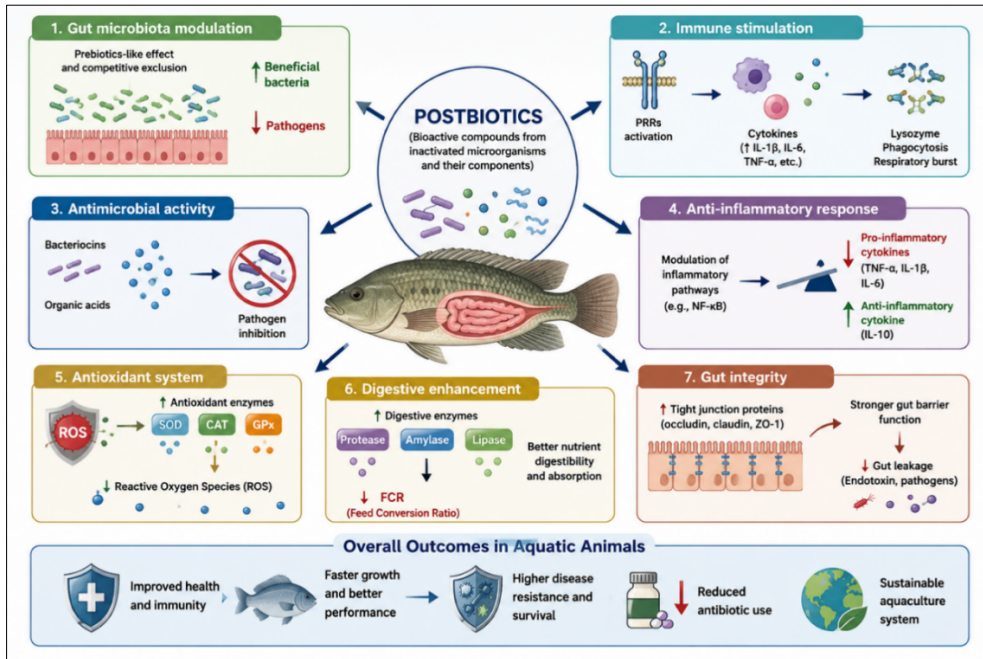


Figure 1 Mechanisms of action of postbiotics

Source: Author's illustration based on Goh et al. (2022) and Tao et al. (2024)

นอกจากนี้ โฟสโตไบโอติกส์ยังมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพโดยรวมของสัตว์น้ำ ทั้งในด้านการใช้ประโยชน์โปรตีน อัตราการรอด และความต้านทานโรค โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (Protein Efficiency Ratio; PER) ผ่านการกระตุ้นเอนไซม์ protease และการเสริมความสมบูรณ์ของเยื่อลำไส้ ส่งผลให้การดูดซึมสารอาหารดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มอัตราการรอดและความทนทานต่อความเครียด โดยการลดระดับ cortisol และเพิ่มเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น SOD และ CAT รวมถึงเสริมภูมิคุ้มกันและยับยั้งเชื้อก่อโรคโดยตรง ผลลัพธ์เชิงบูรณาการดังกล่าวอาจเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของระบบการผลิต โดยผลของโฟสโตไบโอติกส์ต่อประสิทธิภาพการผลิตสัตว์น้ำแสดงใน Table 1 (Tao et al., 2024; Thakur et al., 2025; Goh et al., 2022) Table 1 แสดงให้เห็นว่าผลของโฟสโตไบโอติกส์ต่อประสิทธิภาพการผลิตสัตว์น้ำครอบคลุมหลายด้าน ได้แก่ การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การใช้ประโยชน์โปรตีน และสุขภาพ โดยในด้านการเจริญเติบโตพบการเพิ่ม SGR และน้ำหนักตัวจากการเพิ่มประสิทธิภาพเอนไซม์ย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหาร ส่งผลให้ค่า FCR ลดลงจากการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้และเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ protease ซึ่งยังส่งผลให้การใช้โปรตีนมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในขณะเดียวกันด้านสุขภาพพบการเพิ่มอัตราการรอด ความต้านทานโรค และความสามารถทนต่อความเครียดผ่านกลไกภูมิคุ้มกัน การลด cortisol และการเพิ่มเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ

Table 1 Effects of postbiotics on aquaculture production performance

Performance Aspect	Effects of Postbiotics	Main Mechanisms Involved	References
Growth performance	Increased SGR and body weight	Enhanced digestive enzyme activity and improved nutrient absorption	Goh et al. (2022); Tao et al. (2024)
Feed efficiency	Reduced FCR	Modulation of gut microbiota and improved digestion	Goh et al. (2022); Tao et al. (2024)
Protein utilization	Increased PER	Enhanced protease activity	Goh et al. (2022); Tao et al. (2024)
Survival rate	Increased survival	Enhanced immune responses and reduced infection	Tao et al. (2024); Thakur et al. (2025)
Stress tolerance	Improved stress tolerance	Reduced cortisol levels and increased antioxidant enzyme activity	Tao et al. (2024); Thakur et al. (2025)
Disease resistance	Reduced disease incidence	Pathogen inhibition and immune activation	Tao et al. (2024); Thakur et al. (2025)
Meat quality	Increased protein content and improved lipid profile	Improved metabolic processes	Thakur et al. (2025)

Source: Author's synthesis based on Goh et al. (2022), Tao et al. (2024) and Thakur et al. (2025)

โพรไบโอติกส์มีบทบาทในฐานะ สารเสริมอาหารเชิงหน้าที่ที่อาจสนับสนุนประสิทธิภาพของระบบที่เชื่อมโยงการเจริญเติบโตและสุขภาพสัตว์น้ำเข้าด้วยกัน โดยผลของการประยุกต์ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของโพรไบโอติกส์ ระดับการใช้ ชนิดและระยะชีวิตของสัตว์น้ำ และสภาพการเลี้ยง และสนับสนุนความยั่งยืนของอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระยะยาว

การประยุกต์ใช้โพรไบโอติกส์ในสัตว์น้ำเศรษฐกิจ

การประยุกต์ใช้โพรไบโอติกส์ในสัตว์น้ำเศรษฐกิจได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นสารชีวภาพที่ประกอบด้วยองค์ประกอบจากจุลินทรีย์ที่ไม่อยู่ในรูปมีชีวิต แต่ยังคงมีฤทธิ์ทางชีวภาพในการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน และเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหาร (Aguilar-Toalá et al., 2018; Salminen et al., 2021; Thakur et al., 2025) หลักฐานจากการศึกษาในสัตว์น้ำบางชนิด เช่น ปลานิล ปลาดุก และปลาคาร์พ แสดงให้เห็นว่าการเสริมโพรไบโอติกส์อาจส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต ลดค่า FCR และสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยผลตอบสนองอาจแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ (Dawood et al., 2018) นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญต่อระบบภูมิคุ้มกัน โดยการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ภูมิคุ้มกัน เช่น lysozyme และ respiratory burst activity รวมถึงการลดการอักเสบและเพิ่มความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ในกลุ่มสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีมูลค่าสูง เช่น กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) และกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) มีรายงานการตอบสนองด้านภูมิคุ้มกันต่อการเสริมสารชีวภาพจากจุลินทรีย์ เช่น การเปลี่ยนแปลงของระบบ prophenoloxidase และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกัน (Thitamadee

et al., 2016; Ballantyne et al., 2023) ขณะเดียวกันยังมีรายงานเกี่ยวกับความทนทานต่อความเครียดจากการเลี้ยงและสภาพแวดล้อมในสัตว์น้ำ อย่างไรก็ตาม ผลของการใช้โพรไบโอติกส์ต่ออัตราการรอดและการขยายพันธุ์ของปลายังคงได้รับการประเมินจากหลักฐานการทดลองโดยตรง (Ringd et al., 2016; Hoseinifar et al., 2018)

Table 2 สรุปผลการศึกษาการใช้สารชีวภาพจากจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับโพรไบโอติกส์ในสัตว์น้ำเศรษฐกิจหลายชนิด โดยชี้ให้เห็นผลลัพธ์เชิงบวกใน 3 มิติหลัก ได้แก่ การเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน และสุขภาพลำไส้ ซึ่งล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตโดยรวม พบว่าการเสริมผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตหรือส่วนประกอบของจุลินทรีย์อาจเพิ่มการเจริญเติบโต (Weight Gain; WG) ลดค่า FCR หรือเพิ่มอัตราการรอดในหลายชนิดสัตว์น้ำ ขณะเดียวกันยังเสริมภูมิคุ้มกันผ่านกลไกสำคัญ เช่น lysozyme, antioxidant enzymes, macrophage activity และ prophenoloxidase system รวมถึงการกระตุ้นการแสดงออกของยีนภูมิคุ้มกัน โดยผลลัพธ์แตกต่างกันตามชนิดของสัตว์น้ำ ชนิดของผลิตภัณฑ์ และสภาวะการเลี้ยง ในด้านสุขภาพลำไส้ พบว่าโพรไบโอติกส์อาจเกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลจุลินทรีย์ การลดภาวะ dysbiosis และการเสริมความสมบูรณ์ของเยื่อลำไส้ โดยผลตอบสนองอาจแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์น้ำ ชนิดของโพรไบโอติกส์ และระบบการเลี้ยง โดยภาพรวม หลักฐานที่มีอยู่ชี้ให้เห็นศักยภาพของโพรไบโอติกส์ต่อการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน และสุขภาพลำไส้ในสัตว์น้ำบางชนิด แต่ผลลัพธ์ไม่ได้สอดคล้องกันในทุกการศึกษา และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันประสิทธิภาพภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโพรไบโอติกส์

ประสิทธิภาพของโพรไบโอติกส์ในสัตว์น้ำเป็นผลลัพธ์เชิงซ้อนที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยหลายระดับ ทั้งด้านชีวภาพของจุลินทรีย์ กระบวนการผลิต และสภาพแวดล้อมการเลี้ยง มากกว่าจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสารออกฤทธิ์เพียงอย่างเดียว โดยชนิดของจุลินทรีย์ต้นกำเนิดมีอิทธิพลโดยตรงต่อองค์ประกอบของสารชีวภาพที่เกิดขึ้น เช่น *Lactobacillus* spp., *Bacillus* spp. และ *Saccharomyces* spp. ซึ่งให้เมแทบอลิต์ที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อศักยภาพในการยับยั้งเชื้อก่อโรคและการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Aguilar-Toalá et al., 2018) ขณะเดียวกัน กระบวนการผลิต เช่น การหมัก การทำให้เซลล์แตก และการทำให้แห้ง รวมถึงการควบคุมอุณหภูมิและค่า pH มีผลต่อความคงตัวและความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์อย่างมีนัยสำคัญ หากควบคุมได้เหมาะสมจะช่วยเพิ่มความเสถียรและฤทธิ์ทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์ (Salminen et al., 2021) ในมิติการประยุกต์ใช้ ปัจจัยด้านปริมาณและระยะเวลาการเสริมมีความสำคัญต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยา โดยระดับการเสริมที่เหมาะสมอาจแตกต่างกันตามชนิดของโพรไบโอติกส์ ชนิดสัตว์น้ำ และสภาวะการเลี้ยง (Hoseinifar et al., 2018) นอกจากนี้ ชนิดสัตว์น้ำ คุณภาพน้ำ และสูตรอาหารยังเป็นตัวกำหนดความแปรผันของผลลัพธ์ โดยคุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมสามารถลดประสิทธิภาพการออกฤทธิ์ได้ แม้จะใช้ในปริมาณที่เหมาะสมก็ตาม และอาหารที่มีฟรีไบโอติกส์ หรือใยอาหารยังสามารถเสริมฤทธิ์ของโพรไบโอติกส์ผ่านกลไกแบบ synergistic effect ได้อีกด้วย

Table 2 Research on the use of postbiotics in economically important aquatic animals

Aquatic Animal	Effects on Growth Performance	Immune Response	Gut Health	Key Findings	References
Nile tilapia	Increased WG and reduced FCR	↑ Lysozyme activity	Improved microbial balance	Nile tilapia	Goh et al. (2022); Tao et al. (2024); Thakur et al. (2025)
Catfish	Increased survival rate	↑ Antioxidant enzyme activity	Reduced inflammation	Catfish	Tao et al. (2024); Thakur et al. (2025)
Climbing perch	Moderate improvement	↑ Immune response	Improved tight-junction integrity	Climbing perch	Thakur et al. (2025)
Spotted seabass	Improved growth performance	↑ Immunity	↑ Intestinal health	Spotted seabass	Liu et al. (2024)
Whiteleg shrimp	Increased survival rate	↑ Prophenoloxidase (proPO) system activity	Reduced <i>Vibrio</i> spp.	Whiteleg shrimp	Thitamadee et al. (2016); Thakur et al. (2025)
Black tiger shrimp	Moderate improvement	↑ Immune-related gene expression	Reduced oxidative stress	Black tiger shrimp	Thitamadee et al. (2016); Thakur et al. (2025)
Other aquatic species	Overall improvement in production performance	Enhanced immune function	Improved intestinal health	Other aquatic species	Aguilar-Toalá et al. (2018); Dawood et al. (2018); Hoseinifar et al. (2018); Salminen et al. (2021); Tao et al. (2024)

Source: Author's synthesis based on Thitamadee et al. (2016), Aguilar-Toalá et al. (2018), Dawood et al. (2018), Hoseinifar et al. (2018), Salminen et al. (2021), Liu et al. (2024), Tao et al. (2024), and Thakur et al. (2025)

ข้อดี ข้อจำกัด และความท้าทายในการประยุกต์ใช้

โพรไบโอติกส์ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและสนับสนุนสุขภาพสัตว์น้ำ โดยข้อดีสำคัญ ได้แก่ ความคงตัวสูงจากการไม่อยู่ในรูปจุลินทรีย์มีชีวิต สามารถนำไปใช้เป็นองค์ประกอบของอาหารเสริมเชิงหน้าที่ได้ และสามารถออกฤทธิ์ต่อระบบภูมิคุ้มกันและลำไส้ได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและลดการเกิดโรคในระบบการเลี้ยงสัตว์

น้ำ (Aguilar-Toalá et al., 2018; Salminen et al., 2021) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดที่สำคัญคือความแปรปรวนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ระหว่างแหล่งผลิต รวมถึงการขาดมาตรฐานกลางในการกำหนดองค์ประกอบและตัวชี้วัดทางชีวภาพ ทำให้การเปรียบเทียบผลการวิจัยยังไม่สอดคล้องกัน (Ringø et al., 2016) ในด้านเศรษฐศาสตร์การผลิตและการประยุกต์ใช้เชิงพาณิชย์ ยังจำเป็นต้องมีการประเมินต้นทุนและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดด้านข้อมูลความปลอดภัยระยะยาว กรอบกฎหมาย และระบบการกำกับดูแลที่ยังไม่ชัดเจนในหลายประเทศ ดังนั้น แนวทางการพัฒนาที่สำคัญในอนาคตคือการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ การระบุ biomarker กลาง การขยายการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (Scale-up) และการจัดทำกฎระเบียบเฉพาะ เพื่อสนับสนุนการใช้โพสต์ไบโอติกส์อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในเชิงพาณิชย์ รวมถึงการศึกษาด้านความปลอดภัยและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติม

แนวโน้มการพัฒนาโพสต์ไบโอติกส์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน

การพัฒนาโพสต์ไบโอติกส์ในปัจจุบันได้เปลี่ยนบทบาทจากการเป็นเพียงสารเสริมอาหารไปสู่การเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีศักยภาพในการสนับสนุนความยั่งยืนของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยแนวโน้มสำคัญมุ่งเน้นการบูรณาการองค์ความรู้ด้านโภชนาศาสตร์ ชีววิทยา เทคโนโลยีดิจิทัล และวิศวกรรมชีวภาพ เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการผลิต และสนับสนุนการจัดการระบบเพาะเลี้ยงอย่างมีประสิทธิภาพ (Dawood et al., 2018; Goh et al., 2022) ทั้งนี้ แนวคิดหลักที่กำลังได้รับความสนใจ ได้แก่ functional aquafeeds ที่ผสมผสานโพสต์ไบโอติกส์กับสารออกฤทธิ์ชีวภาพอื่นเพื่อเสริมภูมิคุ้มกันและสุขภาพลำไส้ precision nutrition ที่ออกแบบโภชนาการตามความต้องการเฉพาะของสัตว์น้ำโดยอาศัยข้อมูลชีวภาพและเมตาโบโลมิกส์ และ precision aquaculture ที่ใช้ระบบ Internet of Things (IoT) และข้อมูลแบบเรียลไทม์ ร่วมกับการจัดการด้านโภชนาการและสุขภาพสัตว์น้ำ โดยโพสต์ไบโอติกส์อาจเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของการจัดการดังกล่าว ในขณะเดียวกัน แนวโน้มการพัฒนายังขยายไปสู่แนวคิด circular bioeconomy ที่ใช้ของเสียชีวภาพเป็นวัตถุดิบในการผลิตโพสต์ไบโอติกส์เพื่อลดของเสียและเพิ่มมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ รวมถึง green aquaculture ที่มุ่งลดการพึ่งพาสารเคมีและยาปฏิชีวนะ ตลอดจนการประยุกต์ใช้ AI-based feed formulation เพื่อทำนายผลด้านการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกัน และ omics technology เพื่ออธิบายกลไกระดับยีนและโปรตีนอย่างแม่นยำ (Tao et al., 2024) อีกทั้งเทคโนโลยี nanoencapsulation ยังมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความคงตัวและควบคุมการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ ซึ่งอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการนำส่งโพสต์ไบโอติกส์โดยภาพรวม แนวโน้มทั้งหมดสะท้อนการพัฒนาไปสู่ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ยั่งยืน (Sustainable aquaculture system) ซึ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร และการพัฒนาแนวทางการจัดการที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว (Tao et al., 2024; Sumon et al., 2025; Wisastra et al., 2025; Thakur et al., 2025)

Figure 2 เป็นแผนภาพแนวคิดที่แสดงแนวโน้มการพัฒนาโพสต์ไบโอติกส์ ในอนาคตของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเริ่มจากโพสต์ไบโอติกส์ซึ่งเป็นสารชีวภาพต้นทางที่มีบทบาทต่อสุขภาพ การเจริญเติบโต และภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำ แล้วพัฒนาไปสู่การประยุกต์ใช้ในหลายมิติ ได้แก่ functional aquafeeds, precision nutrition, precision aquaculture, circular bioeconomy, green aquaculture, AI-based feed

formulation, omics technology และ nanoencapsulation ซึ่งเป็นแนวโน้มและแนวทางที่สามารถนำมาบูรณาการร่วมกับการใช้โพรสโตไบโอติกส์เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการผลิตและการจัดการระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมดเชื่อมโยงไปสู่เป้าหมายของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ยั่งยืน (Sustainable aquaculture system) โดยเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและการจัดการระบบเพาะเลี้ยงอย่างเหมาะสมในระยะยาว

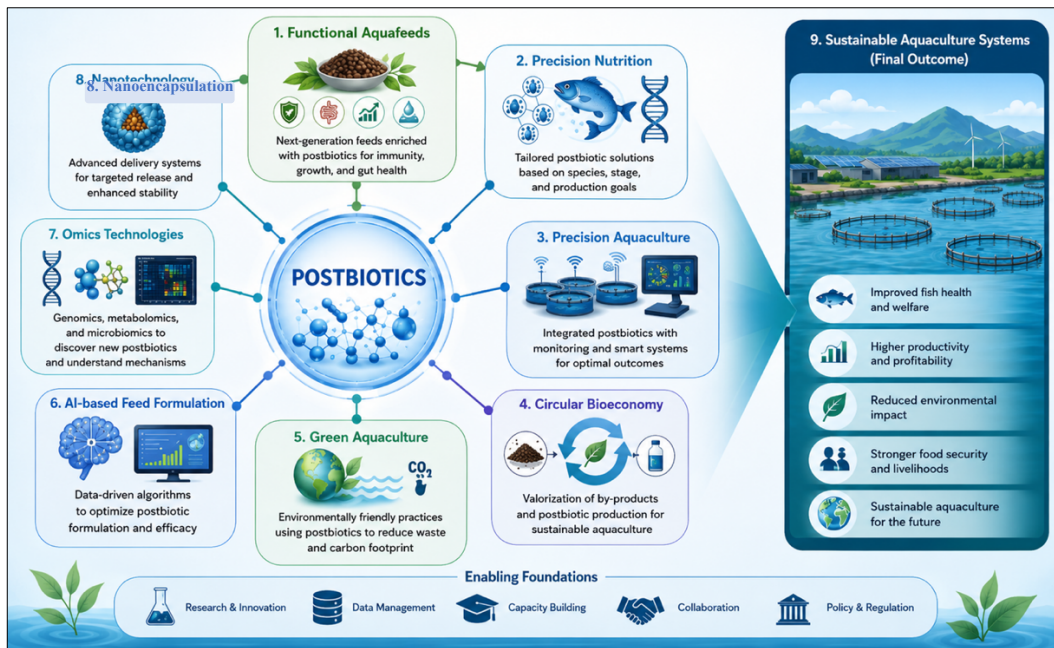


Figure 2 Future development trends of postbiotics in aquaculture: a conceptual framework

Source: Author's conceptual framework based on Dawood et al. (2018), Goh et al. (2022), Tao et al. (2024) and Thakur et al. (2025)

จากหลักฐานการวิจัยสามารถสังเคราะห์บทบาทของโพรสโตไบโอติกส์ในอาหารสัตว์น้ำเป็น กรอบความสัมพันธ์เชิงบูรณาการ (integrated framework) ที่เชื่อมโยงจากระดับจุลชีพในลำไส้สู่สุขภาพและประสิทธิภาพการผลิต โดยโพรสโตไบโอติกส์อาจปรับโครงสร้างและสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ และเกี่ยวข้องกับการสื่อสารผ่าน gut-immune axis ส่งผลต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน เช่น macrophage, lysozyme และ cytokine pathways ทั้งนี้ ผลตอบสนองขึ้นอยู่กับชนิดของโพรสโตไบโอติกส์และชนิดสัตว์น้ำ (Goh et al., 2022) ขณะเดียวกัน โพรสโตไบโอติกส์อาจส่งเสริมการย่อยและการใช้ประโยชน์สารอาหารผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยอาหาร ซึ่งสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต การรอดตาย ความต้านทานโรค และ feed efficiency รวมถึงการลดค่า FCR ในบางเงื่อนไข ดังนั้น การลด FCR จึงสะท้อนประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ดีขึ้น แต่ไม่ควรตีความโดยตรงว่าเท่ากับการลดการปลดปล่อยไนโตรเจน/ฟอสฟอรัสหรือการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เนื่องจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร การขับถ่าย การจัดการระบบเลี้ยง และปัจจัยแวดล้อมร่วมด้วย (Tao et al., 2024) ด้วยเหตุนี้ ความสัมพันธ์ระหว่าง production efficiency

และ environmental outcomes ควรพิจารณาเป็น potential indirect linkage มากกว่าความสัมพันธ์เชิงเหตุผลโดยตรง กรอบแนวคิดดังกล่าวจึงนำไปสู่ sustainable postbiotic aquafeed framework ซึ่งเสนอว่า โพรไบโอติกส์มีศักยภาพในการเชื่อมโยงการปรับสมดุลจุลินทรีย์ ภูมิคุ้มกัน การย่อยและใช้สารอาหาร สุขภาพสัตว์น้ำ และประสิทธิภาพการผลิตเข้าด้วยกัน ขณะที่ผลด้าน environmental sustainability จำเป็นต้องได้รับการประเมินโดยตรงเพื่อยืนยันผลต่อ feed waste, nutrient loading, nitrogen/phosphorus และ water quality อันจะสนับสนุนการพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว (Figure 3)

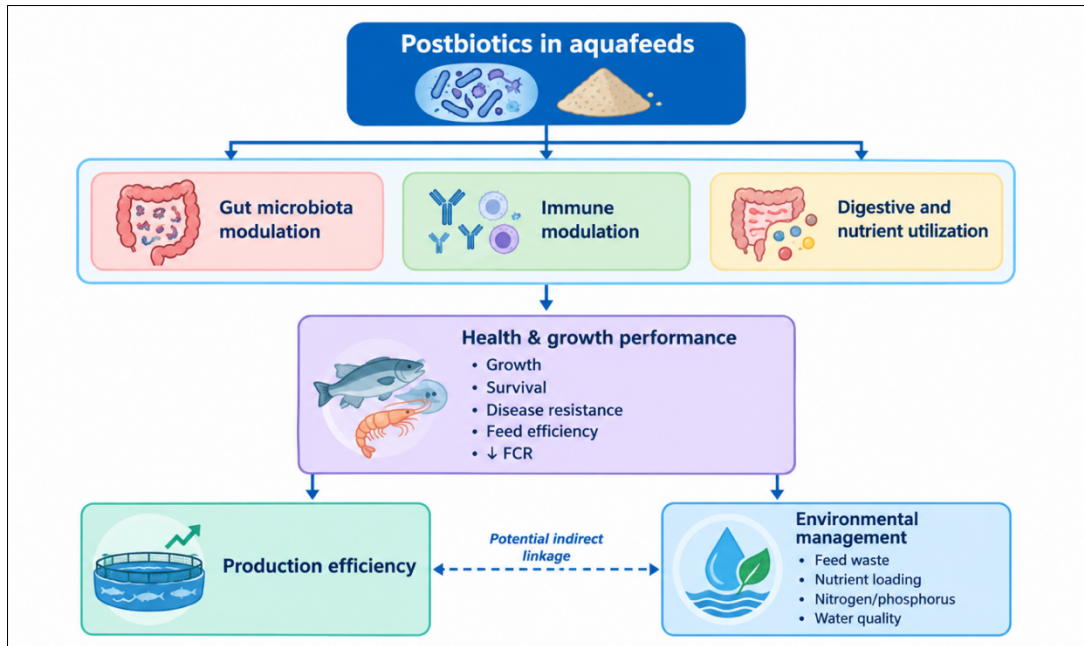


Figure 3 Conceptual framework linking postbiotics, feed efficiency, aquatic animal health, production performance, and environmental sustainability

Source: Author's synthesis and conceptualization, with AI-assisted figure generation

จากการสังเคราะห์องค์ความรู้เชิงบูรณาการ สามารถเสนอแนวคิดใหม่ “postbiotics as a bio-system regulator in aquaculture” ซึ่งมองว่าโพรไบโอติกส์ไม่ได้เป็นเพียงสารเสริมอาหาร แต่อาจทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมระบบชีวภาพ (Biological system regulator) ที่เชื่อมโยงและมีส่วนในการกำกับการทำงานของ 3 ระบบสำคัญ ได้แก่ ระบบจุลินทรีย์ในลำไส้ ระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำ และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในระบบการเลี้ยง โดยการทำงานร่วมกันของทั้งสามระบบอาจเอื้อต่อการเกิดสมดุลเชิงระบบ และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต รวมถึงอาจช่วยลดความจำเป็นในการใช้ยาปฏิชีวนะ และสนับสนุนการพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ยั่งยืน ทั้งในมิติด้านประสิทธิภาพการผลิต เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม

บทสรุป

โพรไบโอติกส์มีบทบาทสำคัญในฐานะสารเสริมอาหารเชิงหน้าที่ที่ออกฤทธิ์ผ่านกลไกแบบหลายระดับ ได้แก่ การปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ การกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน การลดการอักเสบ และการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและการใช้สารอาหาร ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอด และความต้านทานโรค โดยผลลัพธ์แตกต่างกันตามชนิดของโพรไบโอติกส์ ชนิดและระยะชีวิตของสัตว์น้ำ ปริมาณการใช้ และบริบทของระบบการเลี้ยง อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของโพรไบโอติกส์ยังขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ต้นกำเนิด กระบวนการผลิต ปริมาณการใช้ และบริบทของระบบการเลี้ยง รวมถึงยังมีข้อจำกัดด้านมาตรฐานผลิตภัณฑ์และข้อมูลความปลอดภัยระยะยาวในบางประเด็น ทั้งนี้ แนวโน้มในอนาคตมุ่งสู่การพัฒนาโพรไบโอติกส์ ร่วมกับแนวทาง precision aquaculture, AI-based feed formulation และ circular bioeconomy เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและศึกษาศักยภาพในการสนับสนุนความยั่งยืนของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้น โพรไบโอติกส์จึงมีศักยภาพในการเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยุคใหม่ที่มีความยั่งยืน โดยจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัย ประสิทธิภาพในสภาพการเลี้ยงจริง และความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- Aguilar-Toalá, J. E., R. Garcia-Varela, H. S. García, V. Mata-Haro, A. F. González-Córdova, B. Vallejo-Cordoba, and A. Hernández-Mendoza. 2018. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends Food Sci. Technol.* 75: 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.009>
- Ballantyne, R., J.-W. Lee, S.-T. Wang, J.-S. Lin, D.-Y. Tseng, Y.-C. Liao, H.-T. Chang, T.-Y. Lee, and C.-H. Liu. 2023. Dietary administration of a postbiotic, heat-killed *Pediococcus pentosaceus* PP4012 enhances growth performance, immune response and modulates intestinal microbiota of white shrimp, *Penaeus vannamei*. *Fish Shellfish Immunol.* 139: 108882. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.108882>
- Dawood, M. A. O., S. Koshio, and M. Á. Esteban. 2018. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: A review. *Rev. Aquac.* 10(4): 950–974. <https://doi.org/10.1111/raq.12209>
- Goh, J. X. H., L. T.-H. Tan, J. W.-F. Law, H.-L. Ser, K.-Y. Khaw, V. Letchumanan, L.-H. Lee, and B.-H. Goh. 2022. Harnessing the potentialities of probiotics, prebiotics, synbiotics, paraprobiotics, and postbiotics for shrimp farming. *Rev. Aquac.* 14(3): 1478–1557. <https://doi.org/10.1111/raq.12659>
- Hoseinifar, S. H., Y.-Z. Sun, A. Wang, and Z. Zhou. 2018. Probiotics as means of diseases control in aquaculture, a review of current knowledge and future perspectives. *Front. Microbiol.* 9: 2429. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02429>

- Liu, Z.-Y., H.-L. Yang, S. Li, G.-H. Cai, J.-D. Ye, C.-X. Zhang, and Y.-Z. Sun. 2024. Paraprobiotic and postbiotic forms of *Bacillus siamensis* improved growth, immunity, liver and intestinal health in *Lateolabrax maculatus* fed soybean meal diet. *Fish & Shellfish Immunology*, 145: 109370. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109370>
- Ringø, E., Z. Zhou, J. L. G. Vecino, S. Wadsworth, J. Romero, Å. Krogdahl, R. E. Olsen, A. Dimitroglou, A. Foey, S. Davies, M. Owen, H. L. Lauzon, L. L. Martinsen, P. De Schryver, P. Bossier, S. Sperstad, and D. L. Merrifield. 2016. Effect of dietary components on the gut microbiota of aquatic animals. A never-ending story? *Aquac. Nutr.* 22: 219–282. <https://doi.org/10.1111/anu.12346>
- Salminen, S., M. C. Collado, A. Endo, C. Hill, S. Lebeer, E. M. M. Quigley, M. E. Sanders, R. Shamir, J. R. Swann, H. Szajewska, and G. Vinderola. 2021. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 18(9): 649–667. <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>
- Sumon, M. A. A., S. J. Khan, M. J. Islam, M. H. Abualreesh, M. R. Mondol, K. Tayyatham, S. H. Hoseinifar, E. Ringø, and H. V. Doan. 2025. Epigenetics and postbiotics in aquaculture: Unlocking sustainable solutions through innovation. *Fish Shellfish Immunol.* 166: 110598. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2025.110598>
- Tao, L.-T., H. Lu, J. Xiong, L. Zhang, W.-W. Sun, and X.-F. Shan. 2024. The application and potential of postbiotics as sustainable feed additives in aquaculture. *Aquaculture* 592: 741237. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741237>
- Thakur, K., B. Singh, S. Kumar, D. Sharma, A. K. Sharma, R. Jindal, and R. Kumar. 2025. Potential of probiotics and postbiotics in aquaculture: Connecting current research gaps and future perspectives. *Microbe* 8: 100431. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100431>
- Thitamadee, S., A. Prachumwat, J. Srisala, P. Jaroenlak, P. V. Salachan, K. Sritunyalucksana, T. W. Flegel, and O. Itsathitphaisarn. 2016. Review of current disease threats for cultivated penaeid shrimp in Asia. *Aquaculture* 452: 69–87. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.10.028>
- Wisastra, S. R., D. Wulandari, R. H. B. Setiarto, A. Budiharjo, C. Soowannayan, M. N. Lani, and A. H. C. Haditomo. 2025. The application of prebiotics, probiotics, synbiotics, postbiotics and parabiotics in aquaculture. *Rev. Agric. Sci.* 13: 15–44. https://doi.org/10.7831/ras.13.3_15