

การส่งเสริมสุขภาพและการควบคุมโรคในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ด้วยแนวทางบำบัดทางเลือก

Health Promotion and Disease Control in Aquaculture through Alternative Therapeutic Approaches

ไตรมาศ บุญไทย^{1*} อภิรักษ์ วิเศษชาติ² และ สาลินี ผลมัตย์³

Traimat Boonthai^{1*} Apirak Wiseschart² and Salinee Phonmat³

¹ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี ประเทศไทย

²ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี ประเทศไทย

³สำนักงานการศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี ประเทศไทย

¹Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri, Thailand

²Department of Microbiology, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri, Thailand

³Office of Educational Affairs, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri, Thailand

วันที่ส่งบทความ : 28 เมษายน 2568 วันที่แก้ไขบทความ : 17 ธันวาคม 2568 วันที่ตอบรับบทความ : 26 ธันวาคม 2568

Received: 28 April 2025, Revised: 17 December 2025, Accepted: 26 December 2025

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกำลังเผชิญกับปัญหาภาวะโลกร้อน ความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศและการระบาดของโรคที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิต ความมั่นคงทางอาหารและความยั่งยืน ตลอดหลายปีที่ผ่านมา การจัดการโรคมักมุ่งเน้นการใช้ยาปฏิชีวนะและสารเคมีเป็นหลัก การใช้สารเหล่านี้อย่างไม่ระมัดระวังก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรง เช่น การแพร่กระจายของแบคทีเรียดื้อยา การรบกวนกระบวนการเมแทบอลิซึมของสัตว์น้ำ การเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม การตกค้างของสารเคมีอันตรายในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ตลอดจนความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับแนวทางปฏิบัติที่ดีในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและมาตรการด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ รวมถึงพิจารณาแนวทางทางเลือกที่มีประสิทธิภาพเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมการระบาดของโรคในสัตว์น้ำ อันจะนำไปสู่การจัดการระบบเพาะเลี้ยงที่ยั่งยืน บทความนี้ได้ทบทวนวรรณกรรมที่มุ่งเน้นถึงแนวทางทางเลือกที่มีศักยภาพในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ การใช้สารสกัดจากพืช โพรไบโอติก แบคทีเรียโอเฟจบำบัด และนาโนเทคโนโลยีบำบัด ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรค ในขณะเดียวกัน ก็ช่วยส่งเสริมความยั่งยืนของอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ข้อมูลงานวิจัยไปสู่ระดับฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในทางปฏิบัติยังจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม เช่น ข้อกำหนดด้านกฎหมายและมาตรฐานอาหาร ต้นทุน ประสิทธิภาพ ความเสี่ยงและผลกระทบเชิงลบต่อระบบนิเวศทางน้ำ ความเข้าใจและการยอมรับของผู้ใช้ ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัย ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และความยั่งยืนของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทย

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: traimat.bo@go.buu.ac.th

<https://doi.org/10.55003/scikmitl.2025.267402>

คำสำคัญ : สมุนไพร โพรไบโอติก นาโนเทคโนโลยี แบคทีริโอเฟจ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

Abstract

Aquaculture is facing various threats from climate change, ecosystem deterioration, and disease outbreaks leading to decreased yield, food security and sustainability. Throughout the years, disease management in aquaculture has largely relied on the use of antibiotics and chemical treatments. However, the indiscriminate and excessive application of these chemicals has resulted in severe consequences, e.g. the spread of antimicrobial-resistant bacteria, disruption of metabolic processes in aquatic species, environmental degradation, accumulation of hazardous chemical residues in aquaculture products, and potential threat to human health. To ensure the sustainability of aquaculture, it is imperative to establish good aquaculture management and implement effective biosecurity measures. Moreover, effective alternative approaches should be simultaneously considered to enhance growth performance and control disease outbreaks in farmed aquatic species, which will lead to sustainable farming system management. This article reviews literature discussing viable alternative approaches applied in aquaculture, including phytotherapeutics, probiotics, bacteriophage therapy, and nanotherapeutics. These innovative approaches offer promising benefits in enhancing growth performance and disease control, while simultaneously promoting the sustainability of aquaculture industry. However, the practical application of these findings at farm level in aquaculture systems still requires further investigation, including legal and food safety regulations, cost-effectiveness, efficacy, potential ecological risks and harms, as well as user understanding and acceptance to ensure the safety, economic viability, and sustainability of aquaculture in Thailand.

Keywords: Herb, Probiotic, Nanotechnology, Bacteriophage, Aquaculture

1. บทนำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญของประเทศไทย โดยมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงทางอาหาร การสร้างรายได้และการลดความยากจน ในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงชายฝั่งและเพาะเลี้ยงน้ำจืดสูงถึง 541,239 และ 459,980 ตัน คิดเป็นมูลค่ารวมกว่า 97,486 ล้านบาท (Department of Fisheries, 2024) ปัจจัยสำคัญในการเพิ่มปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำเพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นและทดแทนการประมงตามธรรมชาติที่ให้ผลผลิตลดลงคือการยกระดับกระบวนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้มีความเข้มแข็งมากขึ้น ในปัจจุบันรูปแบบการเพาะเลี้ยง

สัตว์น้ำในเชิงพาณิชย์เป็นการเพาะเลี้ยงแบบหนาแน่นและแบบหนาแน่นสูง การเพาะเลี้ยงในรูปแบบนี้มักสร้างผลกระทบต่อสัตว์น้ำหากมีมาตรการการจัดการฟาร์มที่ไม่เหมาะสม ทำให้สัตว์น้ำเผชิญกับความเครียด ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลงและมีความไวต่อการติดเชื้อก่อโรคสูงขึ้น รวมทั้งน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์สูงและปนเปื้อนสารเคมีที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงยังก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศ

ปัจจุบันการระบาดของโรคติดเชื้อเป็นปัจจัยสำคัญต่อผลผลิตและความยั่งยืนของอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกตัวอย่าง เช่น การเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมของประเทศไทยประสบปัญหาการระบาดของโรคติดเชื้ออย่างรุนแรง ได้แก่ โรคตัวแดงดวงขาว โรคทอรา โรคตับและตับอ่อนวายเฉียบพลัน และโรค Hepatopancreatic microsporidiosis ทำให้ต้นทุนการเลี้ยงสูงขึ้น ผลผลิตลดลง อัตราการเจริญเติบโตต่ำ และเสียโอกาสทางการตลาดของผลิตภัณฑ์กุ้งแปรรูปต่อประเทศคู่แข่ง การระบาดของเชื้อก่อโรคที่รุนแรงในประเทศไทยเหตุการณ์หนึ่ง คือ การระบาดของโรคตับและตับอ่อนวายเฉียบพลัน (Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease: AHPND) หรือเดิมเรียกว่า โรคตายด่วน (Early Mortality Syndrome: EMS) โรคนี้พบการระบาดครั้งแรกในประเทศจีนเมื่อ พ.ศ. 2552 หลังจากนั้น แพร่กระจายอย่างรวดเร็วสู่ประเทศเวียดนาม (พ.ศ. 2553) มาเลเซีย (พ.ศ. 2554) ไทย (พ.ศ. 2555) และเม็กซิโก (พ.ศ. 2556) ซึ่งสร้างผลกระทบอย่างมากทั้งต่อปริมาณและมูลค่าผลผลิตของกุ้งทะเลในหลายประเทศทั่วโลก มีการคาดการณ์ว่าโรคตับและตับอ่อนวายเฉียบพลันสร้างความสูญเสียมากกว่า 43 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (US dollar) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประเทศในเอเชีย สำหรับประเทศไทย โรคนี้สร้างความเสียหายอย่างรุนแรงให้กับอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงกุ้งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน โรคนี้ระบาดรุนแรงระหว่าง พ.ศ. 2555-2559 โดยสถานการณ์เริ่มคลี่คลายตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2558 ในช่วงเวลาที่โรคระบาดรุนแรง ประเทศไทยขาดแคลนผลผลิตกุ้งอย่างหนักและราคากุ้งปรับตัวสูงขึ้นเป็นประวัติการณ์ ผลผลิตกุ้งลดลงอย่างมากจาก 611,194 ตัน ในปี พ.ศ. 2554 เหลือประมาณ 200,000 ตัน ในปี พ.ศ. 2557 หากพิจารณาปริมาณผลผลิตต่อหน่วยพบว่า ลดลงจาก 11.19 ตันต่อเฮกตาร์ ในปี พ.ศ. 2553 เหลือ 6.14 ตันต่อเฮกตาร์ ในปี พ.ศ. 2557 นอกจากนี้ ยังทำให้จำนวนฟาร์มเลี้ยงกุ้งในหลายจังหวัดลดลงมากกว่าร้อยละ 50 (Shinn et al., 2018; Kumar et al., 2021)

การเพาะเลี้ยงปลาเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความมั่นคงทางอาหารและเศรษฐกิจของประเทศไทย ปลาที่นิยมเพาะเลี้ยงในประเทศไทย ได้แก่ ปลานิล ปลาดุกและปลากะพงขาว มีปริมาณผลผลิตสูงถึง 266,500 91,000 และ 56,300 ตัน ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่ารวมกันมากกว่า 22,792 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2566 (Department of Fisheries, 2024) อย่างไรก็ตาม ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การเพาะเลี้ยงปลาในประเทศไทยประสบปัญหาหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นต้นทุนการผลิตสูงขึ้น อาหารราคาแพง สภาพอากาศแปรปรวน อากาศร้อนจัด ภัยแล้ง และปัญหาโรคระบาดที่มีสาเหตุมาจากการติดเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อราและโพรโตซัว เช่น โรคเหือกเอนที่มีสาเหตุมาจาก *Flavobacterium columnare* ทำให้ปลาเกิดโรคคอลัมน์าริส (Columnaris) โรคติดเชื้อ Motile aeromonas septicemia ที่เกิดจาก *Aeromonas hydrophila* โรคตาโปนที่เกิดจาก *Streptococcus* sp. และโรค Vibriosis ที่เกิดจากการติดเชื้อ *Vibrio* sp. เป็นต้น เชื้อก่อโรคบางสายพันธุ์ทำให้ปลามีอัตราการตายสูงมาก (สูงกว่าร้อยละ 90) โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย (Doan et al., 2019) เชื้อก่อโรคเหล่านี้สร้างความเสียหายอย่างต่อเนื่องต่อธุรกิจการเพาะเลี้ยงปลาและมีรายงานความเสียหายจากการติดเชื้อเป็นระยะๆ ทั่วประเทศไทย

ในปี พ.ศ. 2557 มีการยืนยันสาเหตุการตายของปลานิลที่เลี้ยงในกระชังในจังหวัดหนองคายว่า เกิดจากการติดเชื้อร่วมระหว่าง *F. columnare* และ *Aeromonas veronii* โดยมีเชื้ออื่นเป็นเชื้อฉวยโอกาสก่อให้เกิดการติดเชื้อทุติยภูมิ (Secondary infection) ได้แก่ *Iridovirus*, *Streptococcus agalactiae*, *Plesiomonas shigelloides* และ *Vibrio cholerae* (Dong et al., 2015) ในระหว่างปี พ.ศ. 2560-2561 กรมประมงได้รายงานการระบาดของไวรัส Infectious spleen and kidney necrosis virus (ISKNV) ในปลากะพงขาวที่เพาะเลี้ยงบริเวณชายฝั่ง โดยมีอุบัติการณ์สูงสุดร้อยละ 21.43 ในปลากะพงขาวที่เพาะเลี้ยงในจังหวัดจันทบุรี รองลงมาคือ ระยอง ฉะเชิงเทรา และสงขลา ในปี พ.ศ. 2560 ส่วน พ.ศ. 2561 จังหวัดชลบุรีมีอุบัติการณ์ ISKNV สูงที่สุดร้อยละ 50 รองลงมา คือ จันทบุรี และ สมุทรสาคร (Roongkamnertwongsa et al., 2023) ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน Kayansamruaj (2020) ได้สำรวจปลากะพงขาวที่เพาะเลี้ยงในบ่อดินน้ำจืดจังหวัดฉะเชิงเทรา สมุทรสงคราม สมุทรปราการและนครปฐม ในปี พ.ศ. 2561 พบว่าปลากะพงขาวป่วยแสดงอาการไม่กินอาหาร เชื่องซึม ท้องบวม สีลำตัวเข้ม ตกเลือดที่ผิวหนังและเกล็ดหลุด โดยตรวจพบไวรัส ISKNV ในปลากะพงขาวร้อยละ 60.6 นอกจากนี้ ยังมีการตรวจพบไวรัส Scale drop disease virus (SDDV) ในปลากะพงขาวที่เพาะเลี้ยงในบ่อดินน้ำจืด จังหวัดฉะเชิงเทรา สมุทรสงคราม สมุทรปราการและนครปฐม ในปี พ.ศ. 2561 เช่นเดียวกัน โดยพบไวรัส SDDV ในปลาป่วยร้อยละ 21.2 (Kayansamruaj, 2020) การระบาดของโรคในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงผู้บริโภคทั้งมิติด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นต้นทุนการผลิตและการควบคุมโรคเพิ่มขึ้น รายได้ของเกษตรกรลดลง การจ้างงานในภาคการเพาะเลี้ยง การแปรรูปและการขนส่งลดลง รัฐต้องรับภาระการเยียวยาและมาตรการด้านชีวอนามัยสัตว์น้ำ (Biosecurity) เพื่อการควบคุมโรค และสร้างความเชื่อมั่นของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นมีการใช้สารเคมีบำบัด (Chemotherapeutics) ในปริมาณมาก เช่น ยาปฏิชีวนะ สารฆ่าเชื้อและสารกำจัดศัตรูพืชบางชนิด เพื่อควบคุมเชื้อก่อโรค อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีอย่างเกินขอบเขตนำไปสู่การพัฒนาสายพันธุ์ของเชื้อก่อโรคที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและเป็นภัยคุกคามต่อสุขภาพของมนุษย์ ตลอดจนการสะสมของสารตกค้างจากยาปฏิชีวนะทั้งในสิ่งแวดล้อมและเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ ผลกระทบเหล่านี้เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้มีคำถามถึงความปลอดภัยและความกังวลในการใช้สารเคมีเหล่านี้ในระยะยาว นอกจากนี้ การถ่ายทอดยีนดื้อยาปฏิชีวนะของเชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำไปยังเชื้อก่อโรคในมนุษย์ยังเพิ่มความกังวลในการใช้ยาปฏิชีวนะในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สารเคมีที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงบางชนิดไม่เพียงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์อีกด้วย ตามระเบียบกรมประมงว่าด้วยการออกใบรับรองการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีสำหรับการผลิตสัตว์น้ำ (จี เอ พี) (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2563 ได้ห้ามใช้ยาปฏิชีวนะหลายชนิดในการเพาะเลี้ยง เนื่องจากเป็นสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ได้แก่ คลอแรมฟินิคอล (Chloramphenicol) ไนโตรฟิวราโซน (Nitrofurazone) ไนโตรฟิวแรนโทอิน (Nitrofurantoin) ฟิวราโซลิโดน (Furazolidone) ฟิวแรลทาโดน (Furaltadone) กลุ่มเซฟาโลสปอริน (Cephalosporins) และกลุ่มไนโตรอิมิดาโซล (Nitroimidazoles) รวมทั้งได้ประกาศห้ามใช้มาลาไคท์ กรีน (Malachite Green) ในสัตว์น้ำที่ใช้บริโภค เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง ก่อการกลายพันธุ์และส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของตัวอ่อน (Elgendy et al., 2023) ดังนั้น การพิจารณาวิธีทางเลือกที่มีประสิทธิภาพแทนการใช้ยาปฏิชีวนะและ

สารเคมีแบบดั้งเดิมเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมเชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำ จึงมีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง บทความปริทัศน์ฉบับนี้มุ่งเน้นถึงทางเลือกที่มีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรคในสัตว์น้ำในระบบเพาะเลี้ยง ได้แก่ การใช้สารสกัดจากพืช (Phytotherapeutics) โพรไบโอติก (Probiotic) แบคเทอริโอเฟจบำบัด (Bacteriophage therapy) และนาโนเทคโนโลยีบำบัด (Nanotherapeutics) ดังรูปที่ 1

2. การใช้พืชสมุนไพรและสารสกัดจากพืช

สารพฤษกษบำบัดมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและความต้านทานโรคของสัตว์น้ำ การใช้สารพฤษกษบำบัดในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยังเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับกระแสความต้องการของผู้บริโภคที่มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์อาหารที่ปราศจากสารเคมีอันตราย รวมทั้งยังช่วยส่งเสริมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้สารออกฤทธิ์จากพืชเป็นทางเลือกที่ปลอดภัยและเป็นธรรมชาติในการควบคุมโรคในสัตว์น้ำ พืชสมุนไพรและอนุพันธ์ของพืชมีองค์ประกอบที่เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโต กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านการอักเสบและสารต้านจุลชีพ (Elgendy et al., 2023) พืชสมุนไพรและสารอนุพันธ์ของพืชสามารถนำมาใช้ในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น สารสกัดหยาบ สารสกัดเข้มข้น และสามารถใช้ได้ทั้งแบบสมุนไพรเดี่ยว สมุนไพรผสมและสมุนไพรร่วมกับวิธีการอื่น เช่น โพรไบโอติก 프리ไบโอติก วิตามิน และนาโนเทคโนโลยี เป็นต้น

2.1 ประโยชน์ต่อสุขภาพและการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

การให้พืชสมุนไพรและสารอนุพันธ์ของพืชในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ตามธรรมชาติแล้ว สารพฤษกษเคมีที่พบในสมุนไพรประกอบด้วยสารหลายกลุ่ม ได้แก่ แคโรทีนอยด์ ฟีนอลิก อัลคาลอยด์ เพคติน แทนนินและฟลาโวนอยด์ เป็นต้น สารเหล่านี้บางชนิดมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก กล่าวคือ ส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติกในทางเดินอาหาร เช่น *Bacillus*, *Lactobacillus* และ *Geobacillus* ทำให้แบคทีเรียเหล่านี้ผลิตสารชีวโมเลกุลที่มีประโยชน์ เช่น เอนไซม์โปรตีเอส อะไมเลส ไลเปส วิตามินและโคแฟกเตอร์ ส่งผลให้การย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารของสัตว์น้ำดีขึ้น (Wangkahart et al., 2022; Kamble et al., 2024) นอกจากนี้ สมุนไพรยังเป็นแหล่งของวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็น เช่น วิตามินซี บี1 บี2 และบี3 เป็นต้น พืชสมุนไพรยังมีบทบาทเสริมสร้างการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันและเพิ่มความต้านทานต่อโรคของสัตว์น้ำ โดยผ่านกลไกการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน เช่น การเพิ่มกิจกรรมฟาโกไซโทซิส ระดับอิมมูโนโกลบูลิน การทำงานของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ ระดับของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและการกระตุ้นระบบคอมพลีเมนต์ เป็นต้น (Giri et al., 2019; Wangkahart et al., 2022)

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นองค์ประกอบของพืชสมุนไพร ได้แก่ น้ำมันหอมระเหย แอลคาลอยด์ สเตียรอยด์ ฟีนอลิก แทนนิน ออร์กาโนซิลเฟออร์ เทอร์ปีนอยด์ ซาโปนิน ไกลโคไซด์และฟลาโวนอยด์ (Wangkahart et al., 2022; Kamble et al., 2024) สารเหล่านี้มักออกฤทธิ์กว้าง สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคได้หลายชนิด ทำให้มีศักยภาพในการจัดการควบคุมและป้องกันโรคแบบองค์รวม พืชสมุนไพร เครื่องเทศ

และสารสกัดจากพืชหลายชนิดมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย ปรสิตร ไวรัส และเชื้อรา ดังตารางที่ 1 โดยสารออกฤทธิ์ในสมุนไพรเหล่านี้สามารถแทรกซึมผ่านผนังเซลล์ ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ ทำลายโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ ขัดขวางการสังเคราะห์ดีเอ็นเอและยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ ส่งผลให้เชื้อก่อโรคตายในที่สุด (Kamble et al., 2024) ตัวอย่างพืชที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่นำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น ขมิ้นชัน (*Curcuma longa*) ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus*) มะรุม (*Moringa oleifera*) มะตูม (*Aegle marmelos*) และกระเทียม (*Allium sativum*) เป็นต้น สมุนไพรหลายชนิดมีศักยภาพในการต้านปรสิตรที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เช่น สารสกัดข่า ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของกรีการินในทางเดินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไมที่มีอาการซัซาวได้ดี ในทำนองเดียวกัน สารสกัดจากพืชยังมีคุณสมบัติในการต้านเชื้อราก่อโรคในสัตว์น้ำ โดยพบว่าการเสริมหอมใหญ่ (*Allium cepa*) ที่อยู่ในรูปผงหอมใหญ่และสารสกัดด้วยแอลกอฮอล์ลงในอาหารสามารถลดการติดเชื้อรา *Saprolegnia parasitica* ซึ่งเป็นเชื้อราที่ก่อให้เกิดอัตราการตายสูงในปลานิลได้ (Elgendy et al., 2023) สำหรับโรคติดเชื้อไวรัส มีรายงานพบว่าสารสกัดจากใบกะเพรา (*Ocimum tenuiflorum*) มีฤทธิ์ต้านไวรัส โดยทำให้กึ่งกลาด้าที่ติดเชื้อไวรัสตัวแดงดวงขาวมีการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันดีขึ้นและอัตราการรอดชีวิตสูงขึ้น (Galib et al., 2025) นอกจากนี้ยังมีการใช้พืชป่าชายเลนในการส่งเสริมสุขภาพของกุ้งทะเล โดยสารสกัดจากลำแพน (*Sonneratia alba*) มีฤทธิ์กระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันและเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของกุ้งกลาด้าที่ป่วยเป็นโรคตัวแดงดวงขาว (Nurbaya & Kadriah, 2020)

2.2 ความท้าทายในการใช้พืชสมุนไพรและสารสกัดจากพืชในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ถึงแม้ว่าสารพฤกษบำบัดมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่ยังคงมีข้อจำกัดบางประการที่เป็นอุปสรรคต่อการนำไปใช้ในวงกว้าง เช่น การขาดมาตรการที่เป็นมาตรฐานที่ชัดเจนสำหรับการใช้สมุนไพรในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อีกทั้งความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในพืชสมุนไพรมีความแปรปรวนสูง ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของพืช ลักษณะทางภูมิศาสตร์ สภาพอากาศและวิธีการสกัด อีกทั้งการระบุสารสำคัญที่เป็นสารออกฤทธิ์ในสารสกัดจากพืชเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน นอกจากนี้ คุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงยังมีบทบาทต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำอีกด้วย

3. การใช้โพรไบโอติก

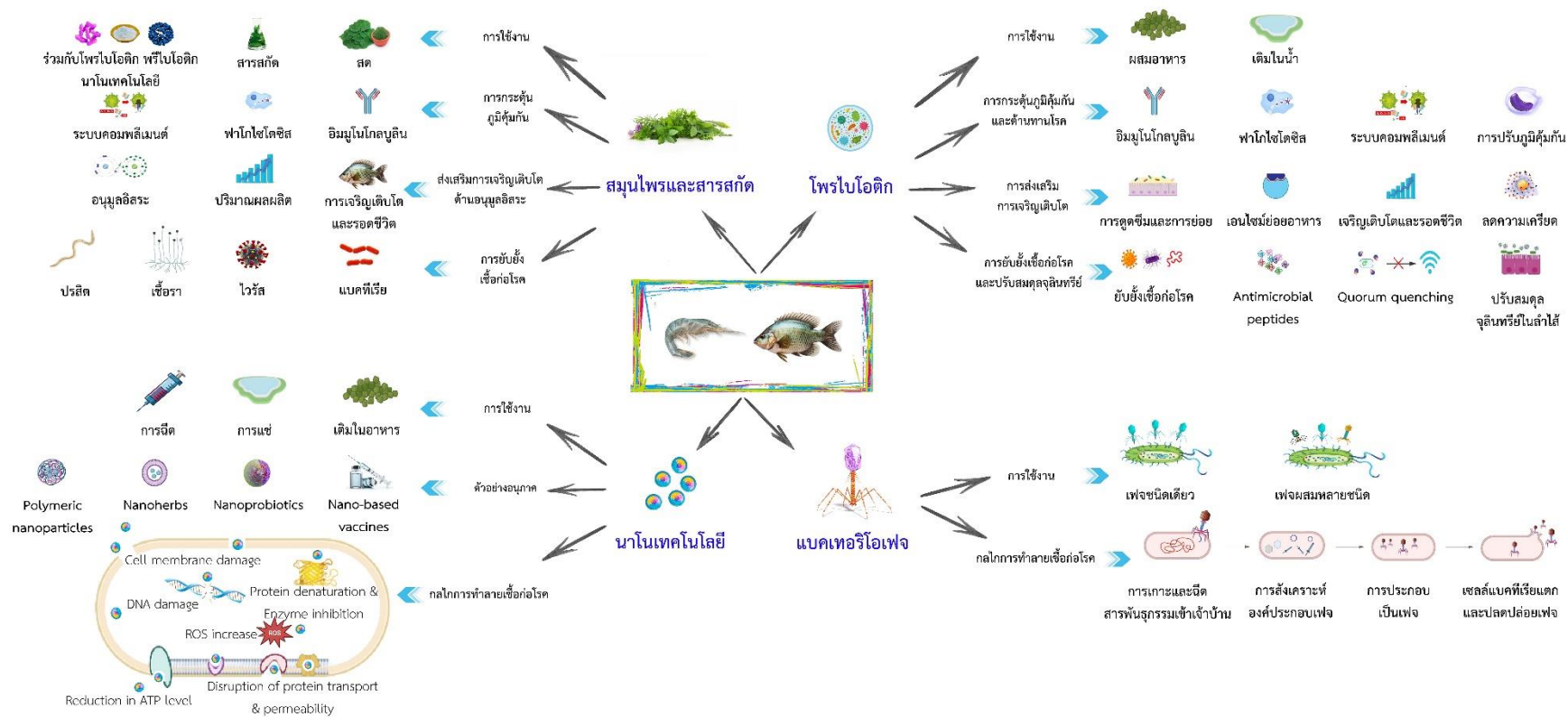
โพรไบโอติกหรือสารเสริมชีวนะเป็นทางเลือกที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ลดความรุนแรงของโรคและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่มีความใส่ใจด้านสุขภาพและนิยมอาหารที่ปราศจากสารก่ออันตรายต่อสุขภาพ โพรไบโอติกเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ที่เติมลงไปโดยวิธีใดวิธีหนึ่งแล้ว สามารถอาศัยและมีชีวิตอยู่ได้ภายในลำไส้เจ้าบ้านเพื่อช่วยส่งเสริมและปรับปรุงสุขภาพเจ้าบ้านให้ดีขึ้น (Ringø, 2020) โพรไบโอติกที่นำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันมีทั้งแบคทีเรีย เช่น *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Paenibacillus* และ *Enterococcus* เป็นต้น และยีสต์ เช่น *Saccharomyces cerevisiae* (Nimrat et al., 2020; Ringø, 2020) โดยโพรไบโอติกสามารถนำมา

ใช้ได้ทั้งในรูปแบบเชื้อเดี่ยว (Single strain) และแบบเชื้อผสมหลายสายพันธุ์ (Multistrains) และสามารถเสริมลงในสัตว์น้ำได้โดยการเติมลงในน้ำและการเติมผสมลงในอาหารเม็ด

3.1 ประโยชน์ต่อสุขภาพและการทำงาน

โพรไบโอติกที่ดีสร้างประโยชน์ต่อสุขภาพของสัตว์น้ำผ่านกลไกต่างๆ ได้แก่ การแข่งขันแย่งชิงพื้นที่ ยึดเกาะและสารอาหารภายในทางเดินอาหารของสัตว์น้ำกับเชื้อก่อโรค การผลิตสารต้านจุลชีพ เช่น แบคทีริโอซิน โปรตีนเอส ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดอินทรีย์และกรดไขมันระเหยง่าย เป็นต้น การปรับปรุงประสิทธิภาพของเอนไซม์ย่อยอาหาร การสังเคราะห์วิตามินและสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต การกระตุ้นภูมิคุ้มกันและการปรับเปลี่ยนการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันของสัตว์น้ำ ส่งผลให้มีภูมิคุ้มกันสูงขึ้นและป้องกันโรคได้ดีขึ้น ตลอดจนการปรับปรุงคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Ringø, 2020) ยกตัวอย่าง เช่น แบคทีเรียโพรไบโอติกผสม 5 ชนิด ได้แก่ *Bacillus thuringiensis*, *B. megaterium*, *B. licheniformis*, *B. polymyxa* และ *B. subtilis* ที่อยู่ในรูปของเซลล์แช่เยือกแข็ง (Freeze-dried probiotics) และไมโครแคปซูล (Microencapsulated probiotics) สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การรอดชีวิต ตลอดจนปรับปรุงจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหารและคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยง นอกจากนี้ ยังเพิ่มความต้านทานต่อโรคที่เกิดจาก *Vibrio harveyi* ของกุ้งขาวแวนนาไมระยะโพสลาวาได้ (Nimrat et al., 2020) ในทำนองเดียวกัน Tabassum et al. (2021) รายงานว่าการเติมโพรไบโอติกทางการค้าคือ Zymetin ที่ประกอบด้วย *Bacillus* sp. และ pH FIXER ที่มีแบคทีเรียผสม ได้แก่ *Bacillus* sp., *Streptococcus faecalis* และ *Clostridium butyricum* ลงในอาหาร มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และปรับปรุงจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารและความสมบูรณ์ทางสัณฐานวิทยาของลำไส้ของปลานิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ อีกกลไกหนึ่งที่สำคัญในการป้องกันโรคของโพรไบโอติก คือ การยับยั้งการสื่อสารของแบคทีเรียก่อโรค (Quorum Quenching: QQ) (Sikdar & Elias, 2020) กลไกนี้เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมโรคในสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามปกติแล้ว Quorum Quenching เป็นกระบวนการที่รบกวนหรือขัดขวางระบบการสื่อสารระหว่างเซลล์แบคทีเรียหรือที่เรียกว่า Quorum Sensing (QS) ระบบ QS เป็นกลไกที่แบคทีเรียใช้ในการสื่อสารระหว่างกันผ่านการตรวจจับและผลิตสารโมเลกุลสัญญาณที่เรียกว่า Autoinducers ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ช่วยให้แบคทีเรียสามารถทำงานร่วมกันในทิศทางเดียวกันทั้งในแง่ของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรียด้วยกันเอง (Bacteria-bacteria interaction) และการปฏิสัมพันธ์กับเจ้าบ้าน (Host-bacteria interaction) แบคทีเรียใช้ระบบ QS ในการควบคุมการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับกลไกก่อโรค เช่น การบุกรุกเข้าสู่เจ้าบ้าน (Invasion) การสร้างไบโอฟิล์ม (Biofilm formation) การพัฒนากลไกป้องกันตนเอง (Defense pathways) และการสร้างปัจจัยก่อโรค (Virulence factors) (Sun et al., 2022; Monzón-Atienza et al., 2024) สารบางชนิดที่โพรไบโอติกผลิตขึ้นสามารถขัดขวางระบบ QS โดยผ่านการยับยั้งการสังเคราะห์โมเลกุล Autoinducers การทำลายสัญญาณ QS หรือขัดขวางการจับกันระหว่างโมเลกุล Autoinducers กับตัวรับ (Monzón-Atienza et al., 2024)



รูปที่ 1. แนวทางทางเลือกที่มีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรคในสัตว์น้ำ

ตารางที่ 1. การใช้พืชสมุนไพรและสารสกัดจากพืชในการส่งเสริมการเจริญเติบโต การรอดชีวิตและการต้านทานโรคในสัตว์น้ำ

สมุนไพร	สัตว์น้ำ/วิธีการให้	ปริมาณ (ก./กก.อาหาร)	ระยะเวลา การเลี้ยง	น้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น (%)*	การรอด ชีวิต (%)	การต้านทานโรค		เอกสารอ้างอิง
						เชื้อก่อโรค	RPS (%)**	
สารสกัดใบมะรุม	ปลานิล/อาหาร	5	30 วัน	34.6	> 92	<i>S. agalactiae</i>	84.4	Kamble et al. (2024)
สารสกัดผลมะตูม	ปลานิล/อาหาร	20	8 สัปดาห์	34.3	ไม่มีข้อมูล	<i>S. agalactiae</i>	72.7	Wangkahart et al. (2022)
ผงขมิ้นชัน	ปลาไน/อาหาร	15	8 สัปดาห์	20.5	100	<i>A. hydrophila</i>	69.7	Giri et al. (2019)
สารสกัดใบกะเพรา	กุ้งกุลาดำ/อาหาร	1	28 วัน	36.4	90	White spot syndrome virus	45.0	Galib et al. (2025)
สารสกัดเหง้าลิลลี่	กุ้งขาวแวนนาไม/อาหาร	0.25	4 เดือน	17.7	83	<i>V. parahaemolyticus</i>	85.2	Fadel et al. (2025)

หมายเหตุ : *น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%) = [(น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของกลุ่มที่ได้รับสมุนไพร - น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของกลุ่มที่ไม่ได้รับสมุนไพร)/น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของกลุ่มที่ไม่ได้รับสมุนไพร] x 100

**การรอดตายสัมพัทธ์ (Relative percent survival, RPS) = [1-(% การตายของกลุ่มที่ได้รับสมุนไพร/% การตายกลุ่มที่ไม่ได้รับสมุนไพร)] x 100

ตารางที่ 2. การใช้แบคทีเรียโอเพอเพย์แบคทีเรียก่อโรคในสัตว์น้ำ

แบคทีเรียโอเพอ	แหล่งที่มา	ปริมาณ แบคทีเรียโอเพอ	ระยะเวลา การทดลอง	แบคทีเรียก่อโรค	สัตว์น้ำที่ติดเชื้อ	RPS (%)*	เอกสารอ้างอิง
Akh-2	น้ำทะเล	1x10 ⁸ PFU/mL	96 ชั่วโมง	<i>A. hydrophila</i>	ปลาหมอ, <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	43.3	Akmal et al. (2020)
MJG	แม่น้ำ	3.2x10 ⁶ PFU/mL	7 วัน	<i>A. hydrophila</i>	ปลาเทราท์สายรุ้ง, <i>Oncorhynchus mykiss</i>	100	Cao et al. (2020)
PAS-1	ไม่มีข้อมูล	2.4x10 ⁶ PFU/fish	14 วัน	<i>A. salmonicida</i>	ปลาเทราท์สายรุ้ง, <i>Oncorhynchus mykiss</i>	26.7	Kim et al. (2015)
VHM1, VHM2, VHS1	ดินตะกอนบ่อเลี้ยงกุ้ง	10 ⁹ PFU/mL	96 ชั่วโมง	<i>V. harveyi</i>	กุ้งกุลาดำ, <i>Penaeus monodon</i>	80.3	Stalin & Srinivasan (2017)
HN48	บ่อเลี้ยงปลานิล	1.2x10 ⁵ PFU/fish	7 วัน	<i>S. agalactiae</i>	ปลานิล, <i>Oreochromis niloticus</i>	60	Luo et al. (2018)

หมายเหตุ : *การรอดตายสัมพัทธ์ (Relative percent survival, RPS) = [1-(% การตายของกลุ่มที่ได้รับเฟจ /% การตายกลุ่มที่ไม่ได้รับเฟจ)] x 100

โพรไบโอติกสกุล *Bacillus* ได้รับความสนใจในฐานะผู้ผลิตเอนไซม์ QQ ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของระบบ QS สารยับยั้งระบบ (QS inhibitors) ที่โพรไบโอติกผลิตขึ้น เช่น สารกลุ่มเปปไทด์และเอนไซม์แลคโตเนส (Lactonases) เป็นต้น (Sikdar & Elias, 2020; Monzón-Atienza et al., 2024) จากการศึกษาของ Shaheer et al. (2021) พบว่า *Bacillus* มีศักยภาพในการยับยั้งระบบ QS ของ *Vibrio harveyi* โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *B. subtilis* *B. lentus* และ *B. firmus* ซึ่งสามารถรบกวนสัญญาณ QS ทำให้ยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มและลดการแสดงออกของยีนก่อโรคใน *V. harveyi* ได้ เมื่อนำโพรไบโอติกเหล่านี้มาใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ยังพบว่า *Bacillus* สามารถปกป้องกุ้งกุลาดำวัยอ่อนจากการติดเชื้อ *V. harveyi* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำให้กุ้งกุลาดำมีอัตราการรอดชีวิตสูงถึง 90.66% ในทำนองเดียวกัน Sun et al. (2022) แสดงให้เห็นว่า *Bacillus velezensis* DH82 สามารถลดการเจริญและการสร้างไบโอฟิล์มของ *V. parahaemolyticus* ในหลอดทดลองได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งสามารถยับยั้งการทำงานของระบบ QS และลดความรุนแรงของเชื้อ โดยยับยั้งการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการก่อโรค เมื่อนำ *B. velezensis* DH82 เสริมลงในอาหารกุ้งพบว่าอัตราการรอดชีวิตของกุ้งขาวแวนนาไมที่ติดเชื้อ *V. parahaemolyticus* เพิ่มขึ้นกว่า 80%

เกษตรกรไทยได้นำโพรไบโอติกมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมามากกว่า 20 ปี เช่น การเพาะเลี้ยงกุ้งขาวในจังหวัดระยอง เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้โพรไบโอติกทั้งที่เป็นจุลินทรีย์อีเอ็ม (Effective microorganisms) ที่ได้จากการหมักเองและโพรไบโอติกทางการค้า โดยนำโพรไบโอติกมาผสมลงในอาหารและสารรอบบ่อ เกษตรกรให้ความเห็นว่าการเติมโพรไบโอติกช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและการรอดชีวิต ลดปริมาณเลนพื้นบ่อ ทำให้สีของเลนจางลงและปรับปรุงคุณภาพน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีความต้องการให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกดีขึ้น (Nimrat et al., 2009) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกหลายชนิดทั้งที่พัฒนาขึ้นจากบริษัทในประเทศไทยและนำเข้าจากต่างประเทศถูกจำหน่ายอย่างแพร่หลายเพื่อนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกตัวอย่างเช่น ปม. 1 และ ปม. 2 ที่กรมประมงได้ส่งเสริมให้เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้เป็นหัวเชื้อสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตั้งแต่ พ.ศ. 2561 ผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกที่จำหน่ายมีทั้งในรูปของของเหลวและผลิตภัณฑ์แห้ง ซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์เพียงชนิดเดียวหรือจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น แบคทีเรียแลคติก *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium butyricum*, *Enterococcus*, *Pseudalteromonas*, *Pseudomonas*, ยีสต์ เชื้อผสม และโพรไบโอติกผสมกับพรีไบโอติก (ซินไบโอติก (Synbiotics)) นอกจากนี้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพอาหารสัตว์ที่เสริมโพรไบโอติกต้องมีปริมาณเชื้อชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันไม่น้อยกว่า 1×10^5 CFU ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และยังได้กำหนดชนิดของแบคทีเรียและเชื้อราที่ใช้เป็นโพรไบโอติกเติมลงในอาหารสัตว์อีกด้วย (Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2016)

3.2 ความท้าทายในการใช้โพรไบโอติกในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ความเป็นไปได้ของการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมระหว่างแบคทีเรียโพรไบโอติกกับแบคทีเรียประจำถิ่นในระบบเพาะเลี้ยงเป็นหนึ่งในข้อกังวลของการใช้โพรไบโอติก ดังนั้นการประเมินความปลอดภัยของสายพันธุ์โพรไบโอติกจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง อีกหนึ่งความท้าทายคือ ความคงตัวของโพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์ทางการค้า ผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกสำหรับสัตว์น้ำที่จำหน่ายในประเทศไทยมักมีคุณภาพไม่

สอดคล้องตามที่เราพบไว้บนฉลาก และไม่ผ่านมาตรฐานตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เช่น ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์โพรไบโอติกที่มีชีวิตต่ำกว่าปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยง ชนิดของ จุลินทรีย์ไม่ตรงตามระบุไว้บนฉลากผลิตภัณฑ์ และการขาดความสามารถในการผลิตเอนไซม์ย่อยอาหาร และการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค เป็นต้น (Nimrat et al., 2021) ความคงตัวของโพรไบโอติกใน สภาพแวดล้อมทางน้ำก็เป็นปัจจัยสำคัญเช่นเดียวกัน การมีชีวิตและการทำงานของโพรไบโอติกมักได้รับ ผลกระทบจากคุณภาพน้ำ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการปฏิสัมพันธ์กับเชื้อประจำถิ่น โดยแบคทีเรีย ประจำถิ่นในระบบนิเวศภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอาจแข่งขันกับโพรไบโอติกที่ถูกเติมลงไป ทำให้ ประสิทธิภาพของโพรไบโอติกลดลง รวมทั้งการใช้โพรไบโอติกเป็นประจำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทำให้ ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น

4. การใช้แบคทีเรียโอเฟจ

แบคทีเรียโอเฟจ (Bacteriophage) หรืออาจเรียกว่าเฟจ (Phage) เป็นไวรัสที่เข้าบุกรุกและทำลาย แบคทีเรีย (Natural enemies of bacteria) ไวรัสกลุ่มนี้สามารถพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม การใช้ แบคทีเรียโอเฟจเป็นหนึ่งในวิธีทางเลือกที่มีศักยภาพเพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะในการควบคุมโรคสัตว์ น้ำในระบบเพาะเลี้ยง โดยธรรมชาติแล้ว แบคทีเรียโอเฟจจะบุกรุกและทำลายเซลล์แบคทีเรียเป้าหมาย อย่างจำเพาะ การดำรงชีวิตของแบคทีเรียโอเฟจจึงเป็นแบบ Obligate intracellular parasite โดยต้อง อาศัยกระบวนการเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียเจ้าบ้านเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการจำลองตัวเอง แบคทีเรีย โอเฟจเพิ่มจำนวนได้ผ่านวัฏจักรหลัก ๆ 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) Lytic cycle ซึ่งแบคทีเรียโอเฟจจะฉีดสาร พันธุกรรมเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรีย เพื่อสร้างองค์ประกอบของอนุภาคไวรัส แล้วทำลายผนังเซลล์ของ แบคทีเรียเจ้าบ้านให้แตกโดยอาศัยกิจกรรมของ Lytic enzymes (endolysins) เพื่อปลดปล่อยแบคทีเรีย โอเฟจรุ่นใหม่่ออกสู่ภายนอก โดยแบคทีเรียโอเฟจดังกล่าวพร้อมที่จะบุกรุกและทำลายเซลล์แบคทีเรียใหม่ ต่อไป และ 2) Lysogenic cycle ซึ่งแบคทีเรียโอเฟจจะฉีดสารพันธุกรรมเข้าไปแทรก (Integrate) อยู่ใน โครโมโซมของแบคทีเรียเจ้าบ้าน เมื่อแบคทีเรียแบ่งเซลล์ สารพันธุกรรมของแบคทีเรียโอเฟจยังคงแทรก อยู่ในโครโมโซมของแบคทีเรียทุกเซลล์ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่หลายรุ่น (Generation) โดยไม่ทำให้เซลล์แบคทีเรีย ตาย แต่อาจทำให้แบคทีเรียกลายพันธุ์ (Phumkhachorn & Rattanachaiakunso, 2019)

4.1 ประโยชน์ด้านสุขภาพและกลไกการทำลายเชื้อก่อโรคของแบคทีเรียโอเฟจ

การใช้แบคทีเรียโอเฟจในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักเน้นไปที่แบคทีเรียโอเฟจที่มีวงจรชีวิตแบบไลติก (Lytic phages) เนื่องจากสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียได้โดยตรง แตกต่างจากชนิดไลโซเจนิก (Lysogenic phages) ซึ่งจะฝังตัวเข้าไปในจีโนมของแบคทีเรียและอาจนำไปสู่การแพร่กระจายของยีนก่อโรคหรือยีนดื้อ ยาในแบคทีเรียได้ (Agarwal et al., 2018) ข้อดีของการใช้แบคทีเรียโอเฟจในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ 1) มีความจำเพาะต่อแบคทีเรียเป้าหมายสูงและมีขอบเขตการทำงานที่แคบ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ ประจำถิ่นในทางเดินอาหารของสัตว์น้ำ 2) สามารถเพิ่มจำนวนภายในแบคทีเรียเป้าหมายได้เอง ทำให้ไม่ จำเป็นต้องเติมแบคทีเรียโอเฟจซ้ำหลายครั้ง 3) มีความปลอดภัยสูงและไม่ผลิตข้างเคียงที่เป็นอันตรายต่อ สัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อมในระบบเพาะเลี้ยง และ 4) สามารถมีชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมทางน้ำได้ดี

การใช้แบคทีเรียโอเฟจในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถใช้ได้ทั้งแบบแบคทีเรียโอเฟจชนิดเดียว (Monophage therapy) และแบคทีเรียโอเฟจหลายชนิดรวมกัน (Polyphage therapy) การใช้แบคทีเรียโอเฟจแบบผสมผสานหลายสายพันธุ์ช่วยเพิ่มขอบเขตการทำลายเชื้อให้ครอบคลุมเชื้อก่อโรคได้หลายชนิด และเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น อีกทั้งการใช้แบคทีเรียโอเฟจแบบผสมที่สามารถจับกับตัวรับ (Receptors) หลายชนิดบนผนังเซลล์ของแบคทีเรียชนิดเดียวกันอาจช่วยลดความเสี่ยงในการพัฒนาการดื้อต่อแบคทีเรียโอเฟจของแบคทีเรีย การใช้แบคทีเรียโอเฟจในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถให้ได้หลายวิธี ได้แก่ การผสมลงในอาหาร (Oral administration) เหมาะสำหรับการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร การฉีดเข้าร่างกาย (Injection) เหมาะสำหรับการรักษาเฉพาะจุดที่ต้องการผลลัพธ์ที่รวดเร็ว การทาลงบนผิวหนัง (Topical application) สำหรับรักษาการติดเชื้อที่ผิวหนังหรือบาดแผลภายนอก และการแช่น้ำ (Bath administration) เหมาะสำหรับการติดเชื้อบริเวณผิวหนังและเหงือกของสัตว์น้ำ (Akmal et al., 2020) ปัจจุบัน แบคทีเรียโอเฟจถูกนำมาใช้ในการควบคุมแบคทีเรียก่อโรคในสัตว์น้ำหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 2

4.2 ความท้าทายในการใช้แบคทีเรียโอเฟจในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ความท้าทายในการแบคทีเรียโอเฟจในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีประเด็นที่สำคัญดังนี้

1) การแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรม การกลายพันธุ์และความเสี่ยงในการถ่ายทอดยีนดื้อยาปฏิชีวนะ การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรียโอเฟจกับแบคทีเรียเป้าหมายอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ทำให้ประสิทธิภาพของการรักษาลดลงเมื่อเวลาผ่านไป รวมทั้งแบคทีเรียโอเฟจบางสายพันธุ์อาจเป็นพาหะนำยีนดื้อยาปฏิชีวนะและกระจายยีนดื้อยาไปยังแบคทีเรียชนิดอื่นที่ก่อโรคในสัตว์น้ำและก่อโรคในมนุษย์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อจัดการโรคในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมถึงผลกระทบต่อการรักษาโรคติดเชื้อในมนุษย์และด้านสาธารณสุข ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการคัดเลือกแบคทีเรียโอเฟจชนิดใหม่ที่สามารถควบคุมเชื้อก่อโรคนั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) ความจำเป็นในการใช้แบคทีเรียโอเฟจที่มีขอบเขตการยับยั้งเชื้อกว้างและแบคทีเรียโอเฟจแบบผสมเพื่อควบคุมการติดเชื้อที่เกิดจากเชื้อก่อโรคหลายชนิดในเวลาเดียวกัน (Coinfection)

3) การพัฒนาของแบคทีเรียที่ดื้อต่อแบคทีเรียโอเฟจ แบคทีเรียเจ้าบ้านสามารถพัฒนากลไกต้านทานแบคทีเรียโอเฟจ เช่น การปรับเปลี่ยนโครงสร้างตัวรับ (Receptor modification) ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพของการทำลายเชื้อก่อโรคลดลง

4) การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันสัตว์น้ำ เช่น ระบบภูมิคุ้มกันของปลาอาจสร้างแอนติบอดีที่จำเพาะต่อแบคทีเรียโอเฟจ ส่งผลให้แบคทีเรียโอเฟจถูกกำจัดออกจากร่างกายอย่างรวดเร็วและลดประสิทธิภาพการทำลายเชื้อก่อโรค

5) การฉีดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการนำแบคทีเรียโอเฟจเข้าสู่ร่างกายสัตว์น้ำเพื่อกำจัดเชื้อก่อโรคเป้าหมาย แต่วิธีนี้สัตว์น้ำมักมีอัตราการตายสูง ในกรณีที่สัตว์น้ำมีขนาดเล็กและจำนวนมาก การฉีดแบคทีเรียโอเฟจเป็นกระบวนการที่ใช้แรงงานมากและสิ้นเปลืองเวลา ด้วยเหตุนี้ การผสมแบคทีเรียโอเฟจในอาหารจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ประสบความสำเร็จในการรักษาโรคสัตว์น้ำในปริมาณมาก โดยช่วยนำแบคทีเรียโอเฟจเข้าสู่ร่างกายได้อย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่กำหนด อย่างไรก็ตาม การผสมในอาหารก็มี

ความท้าทาย เช่น การคงสภาพของแบคทีเรียโอเฟจให้รอดชีวิตภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและมีเอนไซม์ย่อยโปรตีนในทางเดินอาหาร ซึ่งอาจลดจำนวนของแบคทีเรียโอเฟจ อีกวิธีหนึ่ง คือ การแช่ เป็นวิธีที่ใช้งานสะดวกและเหมาะกับการรักษาในระดับฟาร์ม แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่า 2 วิธีแรก ยกเว้นกรณีที่ใช้รักษาโรคเฉพาะที่บริเวณผิวหนังและเยื่อภายนอก (Epidermal diseases) ซึ่งให้ผลการรักษาที่น่าพอใจ (Albarella et al., 2025)

6) ต้นทุนและกระบวนการผลิตแบคทีเรียโอเฟจ การผลิตและเพิ่มจำนวนแบคทีเรียโอเฟจในระดับอุตสาหกรรมต้องใช้ต้นทุนสูง และอาจเป็นอุปสรรคต่อการนำไปใช้ในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ

5. การใช้นาโนเทคโนโลยี (Nanoparticles: NPs)

การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีศักยภาพอย่างมากที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรมนี้ ด้วยลักษณะเฉพาะตัวที่เกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคและการนำส่งถึงเป้าหมายมีความจำเพาะสูง ทำให้เทคโนโลยีนี้เป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับการควบคุมและป้องกันโรคในสัตว์น้ำ โดยปกติแล้ว อนุภาคนาโนมีขนาดอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ อนุภาคนาโนมีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่โดดเด่น คือ มีพื้นที่ผิวมาก ทำให้สามารถประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคได้อย่างหลากหลาย ปัจจุบัน วัสดุนาโนหลายชนิดได้รับความสนใจนำมาผลิตเป็นอนุภาคนาโน เช่น อนุภาคนาโนเงิน (Ag NPs) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO NPs) อนุภาคนาโนทองแดง (Cu NPs) อนุภาคนาโนทองคำ (Au NPs) และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂ NPs) (Salem et al., 2023) โดยอนุภาคนาโนเงินมีพื้นที่ผิวสูงและมีโมเลกุลอยู่บนผิวในปริมาณมากส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านจุลชีพสูง จึงนิยมนำมาใช้ในการยับยั้งเชื้อโรคหลากหลายชนิดทั้งแบคทีเรีย เชื้อราและไวรัส ส่วนอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์เป็นอนุภาคที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงจึงสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับจุลินทรีย์ได้ดี รวมทั้งยังมีฤทธิ์ต้านจุลชีพที่ดี เนื่องจากสามารถกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species) ที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อองค์ประกอบภายในเซลล์และนำไปสู่การตายของเซลล์ในที่สุด และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำเนินการ ทำให้สามารถกำจัดสารพิษที่เป็นอันตรายได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Javed et al., 2019) นอกจากนี้ อนุภาคนาโนพอลิเมอร์ (Polymeric nanoparticles) ยังถูกนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อยับยั้งเชื้อก่อโรค อนุภาคนาโนชนิดนี้เป็นอนุภาคอินทรีย์ที่สร้างขึ้นจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น โคโคซาน แอลจินेटและเจลาติน อีกทั้งยังเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable biopolymer) ในทางเดินอาหารของสัตว์น้ำและผ่านกระบวนการผลิตที่ไม่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ทำให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Salem et al., 2023)

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยชีววิธี (Biogenic synthesis) จัดเป็นนาโนเทคโนโลยีสีเขียวที่มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อนุภาคนาโนที่ผลิตด้วยชีววิธีสามารถใช้เป็นตัวพาเซลล์สิ่งมีชีวิตและสารชีวโมเลกุลหลากหลายชนิดเพื่อใช้ในการส่งเสริมสุขภาพของสัตว์น้ำ เช่น แบคทีเรียแอคติโนมัยซีต เชื้อรา ยีสต์ สาหร่าย พืช สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากจุลินทรีย์ สารสกัดสมุนไพร เอนไซม์ โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ คาร์โบไฮเดรต และวิตามิน (Salem et al., 2023) ดังตารางที่ 3 อนุภาคนาโน

สามารถนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้หลายช่องทาง ได้แก่ การฉีด (Injection) การแช่ (Bath treatment) และการเสริมลงในอาหาร (Dietary supplementation) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเซลล์สิ่งมีชีวิตและสารชีวโมเลกุลที่นำมาใช้กับอนุภาคนาโน (Elgendy et al., 2021) กลไกการออกฤทธิ์ของอนุภาคนาโนในการยับยั้งและทำลายเชื้อก่อโรคขึ้นอยู่กับเซลล์สิ่งมีชีวิตและสารชีวโมเลกุลเช่นเดียวกัน โดยกลไกทั่วไป ได้แก่ การทำลายผนังเซลล์ของเชื้อก่อโรค การทำลายคุณสมบัติเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ การรบกวนกระบวนการขนส่งสารภายในเซลล์ การยับยั้งการสังเคราะห์ ATP การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์สำคัญ การเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species) การขัดขวางการแบ่งเซลล์ การขัดขวางการสังเคราะห์โปรตีนและการจับกับกรดนิวคลีอิก เป็นต้น (Saleh et al., 2017; Elgendy et al., 2021)

ตารางที่ 3. การใช้นาโนเทคโนโลยีในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในสัตว์น้ำ

จุลินทรีย์ก่อโรค	ชนิดอนุภาค	สัตว์น้ำ	วิธีการให้	RPS (%)*	เอกสารอ้างอิง
แบคทีเรีย					
<i>A. veronii</i>	อนุภาคนาโนเงิน	ปลานิล	แช่ในน้ำ	71.8	Elgendy et al. (2021)
<i>A. hydrophila</i> , <i>A. sobria</i> และ <i>S. agalactiae</i>	อนุภาคโคโตซาน	ปลานิล	อาหาร	93.3	Abdel-Razek (2019)
<i>F. johnsoniae</i>	อนุภาคนาโนเงิน	ปลาไน	แช่ในน้ำ	67%	Shaan et al. (2020)
ปรสิต					
<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>	อนุภาคนาโนเงิน ซิงค์ออกไซด์และ ทองคำ	ปลาเทราท์ สายรุ้ง	แช่ในน้ำ	100	Saleh et al. (2017)
เชื้อรา					
<i>Saprolegnia parasitica</i>	อนุภาคนาโนเงินของ สารสกัดใบหูกวาง	ปลาคู้ดำ, <i>Colossoma macropomum</i>	แช่ในน้ำ	100	Meneses et al. (2023)
ไวรัส					
White spot syndrome virus	อนุภาคนาโนเงิน	กุ้งขาวแวนนาไม	แช่ในน้ำ	90	Ochoa-Meza et al. (2019)

หมายเหตุ : *การรอดตายสัมพัทธ์ (Relative percent survival, RPS) = $[1 - (\% \text{ การตายของกลุ่มที่ได้รับอนุภาค} / \% \text{ การตายกลุ่มที่ไม่ได้รับอนุภาค})] \times 100$

5.1 ความท้าทายในการอนุภาคนาโนในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การสะสมของอนุภาคนาโนในสิ่งแวดล้อมและความเป็นพิษของอนุภาคนาโนต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและมนุษย์เป็นประเด็นหนึ่งที่กำลังสร้างความกังวลในการนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อนุภาคนาโน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อนุภาคนาโนเงินสามารถสะสมในระบบนิเวศและก่อให้เกิดผลกระทบต่อดินและน้ำ ทั้งนี้ผลกระทบ

ของอนุภาคนาโนขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน ประเภทของดินและกิจกรรมของเอนไซม์ในดิน ซึ่งอนุภาคนาโนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื้อดิน โครงสร้างดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งมีผลต่อวัฏจักรธรณีเคมี (Geochemical cycle) การเคลื่อนที่ของสารก่อมลพิษในดินและโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ (Javed et al., 2019) นอกจากนี้ อนุภาคนาโนอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่ไม่ใช่เป้าหมาย (Non-target species) หรือทำลายสมดุลของระบบนิเวศ โดยมีรายงานว่า สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในดินตะกอนบางชนิด เช่น ไส้เดือนทะเล (*Capitella* spp.) ไวต่ออนุภาคนาโนเงิน โดยทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง (Ramskov et al., 2015) ปัจจุบัน ได้มีการผลิตอนุภาคนาโนด้วยวัสดุพอลิเมอร์ธรรมชาติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น ไคโตซาน แอลจีเนต และเจลาติน เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม (Agarwal et al., 2018; Abdel-Ghany & Salem, 2020) อย่างไรก็ตาม ยังมีความจำเป็นต้องพัฒนามาตรฐานการทดสอบที่มีประสิทธิภาพและแนวทางที่ชัดเจนในการประเมินความปลอดภัยของวัสดุนาโนในสภาพแวดล้อมเพื่อความยั่งยืนของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

6. บทสรุป

ความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศและการระบาดของโรคเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน การใช้สารต้านจุลชีพหรือยาปฏิชีวนะอย่างไม่เหมาะสมทำให้เกิดเชื้อก่อโรคสายพันธุ์ดื้อยาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์น้ำ ทำลายสมดุลของระบบนิเวศ การตกค้างของสารเคมีในสัตว์น้ำและการกีดกันทางการค้า ปัจจุบัน ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีวภาพทำให้มีการพัฒนาวิธีการเลือกที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและการควบคุมโรคในสัตว์น้ำ ได้แก่ การใช้พืชสมุนไพรและสารสกัดจากพืช โพรไบโอติก แบคทีเรียโอเฟจบำบัดและนาโนเทคโนโลยีบำบัด อย่างไรก็ตาม ยังมีความจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีการเลือกเหล่านี้ เช่น ข้อกำหนดด้านกฎหมายและมาตรฐานอาหาร ต้นทุน ประสิทธิภาพ ความเสี่ยงและผลกระทบเชิงลบต่อระบบนิเวศทางน้ำ ความเข้าใจและการยอมรับของผู้ใช้ ตลอดจนควรพิจารณาแผนความปลอดภัยทางชีวภาพทั้งเชิงรุกและเชิงรับให้เป็นส่วนหนึ่งของยุทธศาสตร์ระดับชาติด้านการจัดการสุขภาพสัตว์น้ำที่จะช่วยลดการแพร่กระจายของเชื้อโรคเข้าสู่พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและสถานประกอบการ ท้ายที่สุด คณะผู้แต่งขอเน้นย้ำถึงความสำคัญของการพิจารณาแนวทางทางเลือกจากมุมมองแบบสุขภาพหนึ่งเดียว (One health perspective) ซึ่งเป็นแนวทางแบบบูรณาการที่ตระหนักถึงความเชื่อมโยงระหว่างความมั่นคงด้านอาหาร สิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บทบาทสำคัญของระบบการผลิตอาหารจากสัตว์น้ำผ่านการเพาะเลี้ยง

เอกสารอ้างอิง (References)

- Abdel-Ghany, H. M., & Salem, M. E. S. (2020). Effects of dietary chitosan supplementation on farmed fish: a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 438-452.
<https://doi.org/10.1111/raq.12326>

- Abdel-Razek, N. (2019). Antimicrobial activities of chitosan nanoparticles against pathogenic microorganisms in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture International*, 27, 1315-1330. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00388-0>
- Agarwal, M., Agarwal, M. K., Shrivastav, N., Pandey, S., Das, R., & Gaur, P. (2018). Preparation of chitosan nanoparticles and their *in vitro* characterization. *International Journal of Life-Sciences Scientific Research*, 4(2), 1713-1720.
- Akmal, M., Rahimi-Midani, A., Hafeez-Ur-Rehman, M., Hussain, A., & Choi, T. J. (2020). Isolation, characterization, and application of a bacteriophage infecting the fish pathogen *Aeromonas hydrophila*. *Pathogens*, 9(3), Article 215. <https://doi.org/10.3390/pathogens9030215>
- Albarella, D., Dall'Ara, P., Rossi, L., & Turin, L. (2025). Bacteriophage therapy in freshwater and saltwater aquaculture species. *Microorganisms*, 13(4), Article 831. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13040831>
- Cao, Y., Li, S., Han, S., Wang, D., Zhao, J., Xu, L., Liu, H., & Lu, T. (2020). Characterization and application of a novel *Aeromonas* bacteriophage as treatment for pathogenic *Aeromonas hydrophila* infection in rainbow trout. *Aquaculture*, 523, Article 735193. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735193>
- Department of Fisheries. (2024). *Fisheries statistics of Thailand 2023*. Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)
- Dong, H. T., Nguyen, V. V., Le, H. D., Sangsuriya, P., Jitrakorn, S., Saksmerprom, V., Senapin, S., & Rodkhum, C. (2015). Naturally concurrent infections of bacterial and viral pathogens in disease outbreaks in cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farms. *Aquaculture*, 448, 427-435. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.027>
- Doan, H. V., Hoseinifar, S. H., Sringarm, K., Jaturasitha, S., Yuangsoi, B., Dawoode, M. A. O., Esteban, M. A., Ringø, E., & Faggio, C. (2019). Effects of Assam tea extract on growth, skin mucus, serum immunity and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Streptococcus agalactiae*. *Fish and Shellfish Immunology*, 93, 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.07.077>
- Elgendy, M. Y., Shaalan, M., Abdelsalam, M., Eissa, A. E., El-Adawy, M. M., & Seida, A. A. (2021). Antibacterial activity of silver nanoparticles against antibiotic-resistant *aeromonas veronii* infections in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), *in vitro* and *in vivo* assay. *Aquaculture Research*, 35, 901-920. <https://doi.org/10.1111/are.15632>
- Elgendy, M. Y., Ali, S. E., Abdelsalam, M., Abd El-Aziz, T. H., Abo-Aziza, F., Osman, H. A., Authman, M. N., & Abbas, W. T. (2023). Onion (*Allium cepa*) improves Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) resistance to saprolegniasis (*Saprolegnia parasitica*) and

- reduces immunosuppressive effects of cadmium. *Aquaculture International*, 31, 1457-1481. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-01035-x>
- Fadel, A., Khafage, A., Abdelsalam, M., & Abdel-Rahim, M. M. (2025). Comparative evaluation of three herbal extracts on growth performance, immune response, and resistance against *Vibrio parahaemolyticus* in *Litopenaeus vannamei*. *BMC Veterinary Research*, 21, Article 166. <https://doi.org/10.1186/s12917-025-04588-0>
- Galib, M. R. H., Ghosh, A. K., & Sabbir, W. (2025). Dietary impact of *Ocimum tenuiflorum* leaf extract on the growth metrics and immune responses of shrimp (*Penaeus monodon*) against white spot syndrome virus (WSSV). *Heliyon*, 11(1), Article e41583. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41583>
- Giri, S. S., Sukumaran, V., & Park, S. C. (2019). Effects of bioactive substance from turmeric on growth, skin mucosal immunity and antioxidant factors in common carp, *Cyprinus carpio*. *Fish & Shellfish Immunology*, 92, 612-620. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.06.053>
- Javed, Z., Dashora, K., Mishra, M., Fasake, V. D., & Srivastva, A. (2019). Effect of accumulation of nanoparticles in soil health- a concern on future. *Frontiers in Nanoscience and Nanotechnology*, 5, 1-9. <https://doi.org/10.15761/FNN.1000182>
- Kamble, M. T., Gallardo, W., Salin, K. R., Pumpuang, S., Chavan, B. R., Bhujel, R. C., Medhe, S. V., Kettawan, A., Thompson, K. D., & Pirarat, N. (2024). Effect of *Moringa oleifera* leaf extract on the growth performance, hematology, innate immunity, and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Streptococcus agalactiae* biotype 2. *Animals*, 14(6), Article 953. <https://doi.org/10.3390/ani14060953>
- Kayansamruaj, P. (2020). *Isolation and characterization of iridoviruses isolated from farmed Asian sea bass and grouper in Thailand* [Project abstract, Project Code MRG6180054]. Thailand Science Research and Innovation. https://elibrary.tsri.or.th/fullP/MRG6180054/MRG6180054_abstract.pdf (in Thai)
- Kim, J. H., Choresca, C. H., Shin, S. P., Han, J. E., Jun, J. W., & Park, S. C. (2015). Biological control of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using *Aeromonas* phage PAS-1. *Transboundary and Emerging Diseases*, 62, 81-86. <https://doi.org/10.1111/tbed.12088>
- Kumar, V., Roy, S., Behera, B. K., Bossier, P., & Das, B. K. (2021). Acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND): virulence, pathogenesis and mitigation strategies in shrimp aquaculture. *Toxins*, 13(8), Article 524. <https://doi.org/10.3390/toxins13080524>
- Luo, X., Liao, G., Liu, C., Jiang, X., Lin, M., Zhao, C., Tao, J., & Huang, Z. (2018). Characterization of bacteriophage HN 48 and its protective effects in Nile tilapia

- Oreochromis niloticus* against *Streptococcus agalactiae* infections. *Journal of Fish Diseases*, 41(10), 1477-1484. <https://doi.org/10.1111/jfd.12838>
- Meneses, J. O., Dias, J. A. R., Cunha, F. S., Santos, H. L., Santos, T. B. R., Santos, C. C. M., Filho, R. M. N., Paixão, P. E. G., Sousa, N. C., Couto, M. V. S., Abe, H. A., Santos, F. J., Oliveira, S. P. C., Maria, A. N., Cardoso, J. C., Costa, L. P., & Fujimoto, R. Y. (2023). Prophylactic and therapeutic effects of a nanocomposite (silver nanoparticle plus *Terminalia catappa*) against *Saprolegnia parasitica* in tambaqui. *Aquaculture*, 574, Article 739695. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739695>
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2016). Notification of the Ministry of Agriculture and Cooperatives Re: Specification of substances added to animal feed, permitted usage levels, and conditions for the prohibition of production, importation, or sale of animal feed B.E. 2559. *Royal Gazette*, 133(306), 18-26. (in Thai)
- Monzón-Atienza, L., Bravo, J., Torrecillas, S., Gómez-Mercader, A., Montero, D., Ramos-Vivas, J., Galindo-Villegas, J., & Acosta, F. (2024). An in-depth study on the inhibition of quorum sensing by *Bacillus velezensis* D-18: its significant impact on *Vibrio* biofilm formation in aquaculture. *Microorganisms*, 12(5), Article 890. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12050890>
- Nimrat, S., Keawmanee, P., Boonthai, T., & Vuthiphandchai, V. (2009). Field survey on the use of probiotic in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) aquaculture in Rayong province. *Burapha Science Journal*, 14(1), 56-69. (in Thai)
- Nimrat, S., Khaopong, W., Sangsong, J., Boonthai, T., & Vuthiphandchai, V. (2020). Improvement of growth performance, water quality and disease resistance against *Vibrio harveyi* of postlarval whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by administration of mixed microencapsulated *Bacillus* probiotics. *Aquaculture Nutrition*, 26, 1407-1418. <https://doi.org/10.1111/anu.13028>
- Nimrat, S., Sae-Kow, W., & Vuthiphandchai, V. (2021). Survey on quality of commercial probiotic products used for marine culture of ornamental fish. *Wichcha Journal*, 40(1), 31-45. (in Thai)
- Nurbaya, M., & Kadriah, I. A. K. (2020). The effect of several types of mangrove extracts on tiger shrimp *Penaeus monodon* survival rate challenged with white spot syndrome virus (WSSV). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 564, Article 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/564/1/012054>
- Ochoa-Meza, A., Alvarez-Sanchez, A., Romo-Quinonez, C., Barraza, A., Magallon-Barajas, F., Chavez Sanchez, A., Garcia-Ramos, J., Toledano-Magana, Y., Bogdanchikova, N., & Pestryakov, A. (2019). Silver nanoparticles enhance survival of white spot syndrome

- virus infected *Penaeus vannamei* shrimps by activation of its immunological system. *Fish & Shellfish Immunology*, 84, 1083-1089.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.10.007>
- Phumkhachorn, P., & Rattanachaikunsopon, P. (2019). Bacteriophages: biology and applications. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 21(3), 1-13. (in Thai)
- Ramskov, T., Forbes, V. E., Gilliland, D., & Selck, H. (2015). Accumulation and effects of sediment-associated silver nanoparticles to sediment-dwelling invertebrates. *Aquatic Toxicology*, 166, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.07.002>
- Ringø, E. (2020). Probiotics in shellfish aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 5(1). 1-27.
<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.12.001>
- Roongkamnertwongsa, S., Thawonsuwan, J., Kongtawee, O., & Kongkumnerd, J. (2023). *Prevalence of Iridovirus infection in Asian sea bass from hatcheries and nurseries in southern Thailand*. Department of Fisheries. https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_blog2/1272/169522/3033 (in Thai)
- Saleh, M., Abdel-Baki, A. A., Dkhil, M. A., El-Matbouli, M., & Al-Quraishy, S. (2017). Antiprotozoal effects of metal nanoparticles against *Ichthyophthirius multifiliis*. *Parasitology*, 144(13), 1802-1810. <https://doi.org/10.1017/S0031182017001184>
- Salem, S. S., Hammad, E. N., Mohamed, A. A., & El-Dougdoug, W. (2023). A comprehensive review of nanomaterials: types, synthesis, characterization, and applications. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(1), Article 41.
<https://doi.org/10.33263/BRIAC131.041>
- Shaalán, M., Sellyei, B., El-Matbouli, M., & Székely, C. (2020). Efficacy of silver nanoparticles to control flavobacteriosis caused by *Flavobacterium johnsoniae* in common carp, *Cyprinus carpio*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 137, 175-183.
<https://doi.org/10.3354/dao03439>
- Shaheer, P., Sreejith, V. N., Joseph, T. C., Murugadas, V., & Lalitha, K. V. (2021). Quorum quenching *Bacillus* spp.: an alternative biocontrol agent for *Vibrio harveyi* infection in aquaculture. *Diseases of Aquatic Organisms*, 146, 117-128.
<https://doi.org/10.3354/dao03619>
- Shinn, A. P., Pratoomyot, J., Griffiths, D., Trong, T. Q., Vu, N. T., Jiravanichpaisal, P., & Briggs, M. (2018). Asian shrimp production and the economic costs of disease. *Asian Fisheries Science*, 31S, 29-58. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2018.31.S1.003>

- Sikdar, R., & Elias, M. (2020). Quorum quenching enzymes and their effects on virulence, biofilm, and microbiomes: A review of recent advances. *Expert Review of Anti-infective Therapy*, 18(12), 1221-1233. <https://doi.org/10.1080/14787210.2020.1794815>
- Stalin, N., & Srinivasan, P. (2017). Efficacy of potential phage cocktails against *Vibrio harveyi* and closely related *Vibrio* species isolated from shrimp aquaculture environment in the southeast coast of India. *Veterinary Microbiology*, 207, 83-96. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2017.06.006>
- Sun, X., Liu, J., Deng, S., Li, R., Lv, W., Zhou, S., Tang, X., Sun, Y. Z., Ke, M., & Wang, K. (2022). Quorum quenching bacteria *Bacillus velezensis* DH82 on biological control of *Vibrio parahaemolyticus* for sustainable aquaculture of *Litopenaeus vannamei*. *Frontiers in Marine Science*, 9, Article 780055. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.780055>
- Tabassum, T., Mahamud, A. G. M. S. U., Acharjee, T. K., Hassan, R., Snigdha, T. A., Islam, T., Alam, R., Khoiam, M. U., Akter, F., Azad, M. R., Mahamud, M. A. A., Ahmed, G. U., & Rahman, T. (2021). Probiotic supplementations improve growth, water quality, hematology, gut microbiota and intestinal morphology of Nile tilapia. *Aquaculture Reports*, 21, Article 100972. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100972>
- Wangkahart, E., Wachiraamonloed, S., Lee, P. T., Subramani, P. A., Qi, Z., & Wang, B. (2022). Impacts of *Aegle marmelos* fruit extract as a medicinal herb on growth performance, antioxidant and immune responses, digestive enzymes, and disease resistance against *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & Shellfish Immunology*, 120, 402-410. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.015>