

การใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพในการประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด
: แนวคิดและการประยุกต์ใช้ในประเทศไทย

Use of Fish Assemblages as Biological Indicators for Assessing the Ecological Integrity of
Freshwater Ecosystems: Concepts and Applications in Thailand

ณัฐกิตติ โตอ่อน*
Natthakitt To-orn*

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.พระนครศรีอยุธยา 13000

Faculty of Agricultural Technology and Agro Industry, Rajamangala University of Technology
Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

Received: 07-06-2026, Revised: 03-07-2026, Accepted: 03-07-2026, Published: 21-09-2026

บทคัดย่อ

แหล่งน้ำจืดเป็นระบบนิเวศที่มีความสำคัญต่อความหลากหลายทางชีวภาพ การผลิตทางชีวภาพ ประมงน้ำจืด และการดำรงชีวิตของชุมชน แต่ปัจจุบันได้รับแรงกดดันจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การปล่อยน้ำเสีย การสูญเสียถิ่นอาศัย การเปลี่ยนแปลงระบบการไหลของน้ำ และการเพิ่มขึ้นของชนิดพันธุ์ต่างถิ่น บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์แนวคิดการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพในการประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด โดยเน้นแนวทางการประยุกต์ใช้ในประเทศไทย ขอบเขตของบทความครอบคลุมแนวคิดดัชนีชีวภาพ ความสัมพันธ์ของประชาคมปลากับโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด ตัวชี้วัดจากประชาคมปลา ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด (Fish-based Index of Biotic Integrity: Fish-based IBI) การประยุกต์ใช้ในแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ห้วยน้ำหลาก และแหล่งน้ำชุมชน ตลอดจนข้อจำกัดและแนวทางพัฒนาในอนาคต จากการสังเคราะห์เอกสารทางวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ พบว่าประชาคมปลาสามารถบ่งชี้ถึงจำนวนชนิดของปลา องค์ประกอบประชาคมปลา ความชุกชุม กลุ่มการกินอาหาร สัดส่วนปลาพื้นเมืองและปลาต่างถิ่น ปลาชนิดอ่อนไหว ปลาชนิดทนทาน โครงสร้างขนาด และภาวะสุขภาพของปลา ซึ่งสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของถิ่นอาศัย คุณภาพน้ำ โครงสร้างห่วงโซ่อาหาร และความเชื่อมโยงทางอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ ทั้งนี้ ช่องว่างความรู้ที่ควรพัฒนาเพิ่มเติมในประเทศไทย ได้แก่ ฐานข้อมูลประชากรปลาระยะยาว เกณฑ์จำแนกปลาชนิดอ่อนไหวและชนิดทนทานที่เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของแต่ละลุ่มน้ำ และมาตรฐานการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมกับแหล่งน้ำแต่ละประเภท ในอนาคตควรพัฒนาระบบประเมินแบบบูรณาการที่ใช้ประชาคมปลา ร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำ ถิ่นอาศัย ดีเอ็นเอสิ่งแวดล้อม (environmental DNA: eDNA) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) และการมีส่วนร่วมของชุมชน เพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรน้ำและประมงน้ำจืดอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : ประชาคมปลา, ดัชนีชีวภาพ, ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด, ความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ, ประมงน้ำจืด

Abstract

Freshwater ecosystems are essential for biodiversity, biological production, inland fisheries, and community livelihoods. However, many freshwater habitats are increasingly affected by land-use change, wastewater discharge, habitat loss, flow modification, and the spread of non-native species. This review article aims to synthesize the concept of using fish

assemblages as biological indicators for assessing the ecological integrity of freshwater ecosystems, with emphasis on applications in Thailand. The scope of this article covers the concept of biological indicators, relationships between fish assemblages and the structure and functions of freshwater ecosystems, fish-based indicators, the Fish-based Index of Biotic Integrity (Fish-based IBI), applications in rivers, canals, ponds, wetlands, floodplains, and community water bodies, as well as limitations and future development. Based on a synthesis of relevant literature and research from Thailand and other countries, fish assemblages can indicate multiple dimensions of freshwater ecosystem condition, including species richness, assemblage composition, abundance, trophic guild composition, proportions of native and non-native species, sensitive and tolerant species, size structure, and fish health conditions. These indicators are closely associated with habitat condition, water quality, food-web structure, and hydrological connectivity. Key knowledge gaps requiring further development in Thailand include long-term fish assemblage databases, locally calibrated criteria for sensitive and tolerant species in different river basins, and standardized sampling protocols suitable for different types of freshwater habitats. Future development should focus on integrated assessment systems that combine fish assemblage data with water quality, habitat characteristics, environmental DNA (eDNA), geographic information systems (GIS), and community-based monitoring to support sustainable management of inland water resources and inland fisheries in Thailand.

Keywords: fish assemblage, biological indicator, Fish-based IBI, ecological integrity, inland fisheries

1. บทนำ

แหล่งน้ำจืดเป็นระบบนิเวศที่มีความสำคัญต่อความหลากหลายทางชีวภาพ การผลิตทางชีวภาพ ความมั่นคงทางอาหาร และการดำรงชีวิตของมนุษย์ แม้พื้นที่น้ำจืดมีสัดส่วนไม่มากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวโลก ทั้งหมดแต่กลับรองรับสิ่งมีชีวิตจำนวนมาก และได้รับแรงกดดันจากกิจกรรมของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง ทั้งการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การปล่อยน้ำเสีย การเปลี่ยนแปลงระบบการไหลของน้ำ การสูญเสียถิ่นอาศัย และการรุกรานของชนิดพันธุ์ต่างถิ่น (Dudgeon et al., 2006) สำหรับประเทศไทยมีแหล่งน้ำจืดหลายประเภท เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ และทุ่งน้ำหลากที่มีบทบาทสำคัญต่อทรัพยากรประมง การใช้ประโยชน์ของชุมชน และการคงอยู่ของชนิดพันธุ์น้ำจืดในระดับท้องถิ่นและภูมิภาค การประเมินสภาพแหล่งน้ำจืดจึงมีความสำคัญต่อการจัดการทรัพยากรน้ำ การอนุรักษ์ระบบนิเวศ และการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรประมงอย่างยั่งยืน การประเมินแหล่งน้ำจืดในอดีตมักเน้นตัวแปรทางกายภาพและเคมีของน้ำ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความขุ่น สารอาหาร และสารมลพิษ แต่ตัวแปรเหล่านี้บ่งชี้สภาพแวดล้อมในช่วงเวลาที่ตรวจวัดเป็นหลักและอาจไม่ครอบคลุมผลกระทบสะสมต่อโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศ การใช้สิ่งมีชีวิตเป็นดัชนีชีวภาพจึงได้รับการพัฒนาเพื่อประเมินสุขภาวะและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศในลักษณะบูรณาการ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตสามารถใช้บ่งชี้ทั้งผลกระทบระยะสั้น ระยะยาว และผลกระทบสะสมจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ดีกว่าการวัดคุณภาพน้ำเพียงด้านเดียว (Karr, 1981; Barbour et al., 1999)

ปลาเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นดัชนีชีวภาพของแหล่งน้ำจืด เนื่องจากมีวงจรชีวิตที่ค่อนข้างยาว มีบทบาทหลายระดับในห่วงโซ่อาหาร และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับถิ่นอาศัย คุณภาพน้ำ แหล่งอาหารธรรมชาติ และความเชื่อมโยงทางอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ (Karr, 1981; Fausch et al., 1984) เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งมีชีวิตที่ใช้เป็นดัชนีชีวภาพบางกลุ่ม เช่น สัตว์หน้าดินซึ่งสามารถใช้บ่งชี้สภาพพื้นที่ท้องน้ำ ดินตะกอน และคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่ ปลาเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีช่วงชีวิตยาวกว่าและมีการเคลื่อนที่เชื่อมโยงระหว่างถิ่นอาศัยหลายประเภทและอยู่ในระดับโภชนาการสูงกว่า จึงสามารถใช้บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศในระดับแหล่งน้ำหรือระดับระบบนิเวศที่เชื่อมโยงกันได้ โดยเฉพาะผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระบบการไหลของน้ำ การสูญเสียถิ่นอาศัย การตัดขาดระหว่างแม่น้ำกับพื้นที่น้ำหลาก และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างห่วงโซ่อาหาร ทั้งนี้ การใช้ประชาคมปลาไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาใช้แทนที่สิ่งมีชีวิตที่ใช้เป็นดัชนีชีวภาพกลุ่มอื่นทั้งหมด แต่เป็นการเพิ่มมิติการประเมินในระดับประชาคมสัตว์น้ำที่สัมพันธ์กับกระบวนการของระบบนิเวศในพื้นที่กว้างขึ้น การเปลี่ยนแปลงจำนวนชนิดของปลา ความชุกชุม สัดส่วนของปลาพื้นเมืองและปลาต่างถิ่น ปลาชนิดอ่อนไหวและชนิดทนทาน กลุ่มการกินอาหาร โครงสร้างขนาด และภาวะสุขภาพของปลาสามารถใช้บ่งชี้สถานภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำได้ แนวคิดดังกล่าวได้รับการพัฒนาอย่างเป็นระบบภายใต้กรอบดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดหรือ Fish-based Index of Biotic Integrity (Fish-based IBI) ซึ่งใช้คุณลักษณะหลายด้านของประชาคมปลาในการประเมินสุขภาวะและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำ (Karr, 1981; Barbour et al., 1999) ในประเทศไทยมีการประยุกต์ใช้แนวคิด Fish-based IBI และการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพในบางพื้นที่ เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร จังหวัดสกลนคร และลุ่มน้ำปิง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการพัฒนาดัชนีจากประชาคมปลาต้องคำนึงถึงชนิดของปลา ประเภทของแหล่งน้ำ ฤดูกาล ปัจจัยสิ่งแวดล้อม และลักษณะเฉพาะของพื้นที่ศึกษา (สมศักดิ์ และปราณีต, 2563; ฐานิย์, 2564)

การประยุกต์ใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพในประเทศไทยยังมีข้อจำกัดหลายประการ เนื่องจากงานศึกษาที่ใช้กรอบ Fish-based IBI หรือดัชนีหลายเมทริกจากประชาคมปลายังมีไม่มากนักเมื่อเทียบกับการประเมินคุณภาพน้ำหรือการใช้สิ่งมีชีวิตที่สามารถใช้เป็นดัชนีชีวภาพกลุ่มอื่น ข้อมูลประชากรปลาระยะยาว เกณฑ์จำแนกปลาชนิดอ่อนไหวและชนิดทนทานในระดับลุ่มน้ำ และมาตรฐานการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมกับแหล่งน้ำแต่ละประเภทจึงยังต้องได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมโดยเฉพาะในแหล่งน้ำเขตร้อนที่มีความแตกต่างกันทางด้านฤดูกาล ประเภทของแหล่งน้ำ เครื่องมือเก็บตัวอย่าง และความเชื่อมโยงทางอุทกวิทยาของระบบแม่น้ำ-พื้นที่ชุ่มน้ำ-ทุ่งน้ำหลาก (สมศักดิ์ และปราณีต, 2561; สมศักดิ์ และปราณีต, 2563; ฐานิย์, 2564) บทความนี้จึงมุ่งสังเคราะห์แนวคิดการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพในการประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด โดยเน้นแนวทางการประยุกต์ใช้ในประเทศไทย เนื้อหาของบทความครอบคลุมแนวคิดดัชนีชีวภาพ ความสัมพันธ์ของประชาคมปลากับโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด ตัวชี้วัดจากประชาคมปลา Fish-based IBI ข้อจำกัดของการประเมิน และแนวทางพัฒนาระบบติดตามแหล่งน้ำจืด เพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรน้ำ ประมงน้ำจืด และระบบนิเวศแหล่งน้ำอย่างยั่งยืน ซึ่งกรอบแนวคิดการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด แสดงดังภาพที่ 1 และวัตถุประสงค์เฉพาะของบทความนี้มีดังนี้ 1) เพื่ออธิบายแนวคิดพื้นฐานของการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพ และความสัมพันธ์ระหว่างประชาคมปลากับความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด 2) เพื่อสังเคราะห์ตัวชี้วัดจากประชาคมปลา และแนวคิดดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด (Fish-based Index of Biotic Integrity: Fish-based IBI) ที่ใช้ในการประเมินระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด และ 3) เพื่อวิเคราะห์แนวทางการประยุกต์ใช้ ข้อจำกัด ช่องว่างความรู้ และทิศทางการพัฒนาการประเมินแหล่งน้ำจืดด้วยประชาคมปลาในประเทศไทย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด

2. วิธีการทบทวนเอกสารและการสังเคราะห์ข้อมูล

บทความนี้ใช้วิธีการทบทวนและสังเคราะห์เอกสารทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพในการประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด แหล่งข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วยบทความวิจัย บทความวิชาการ หนังสือ รายงานวิจัย วิทยานิพนธ์ และเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องทั้งในระดับสากลและในประเทศไทย โดยสืบค้นจากฐานข้อมูลวิชาการและแหล่งเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น Google Scholar, Scopus, ScienceDirect ฐานข้อมูลวารสารไทย รวมถึงเอกสารจากหน่วยงานและสถาบันการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรประมงและระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด คำค้นที่ใช้สืบค้นครอบคลุมคำสำคัญภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่เกี่ยวข้องกับประชาคมปลา ดัชนีชีวภาพ Fish-based IBI ความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ แหล่งน้ำจืด และประมงน้ำจืด โดยให้ความสำคัญกับเอกสารที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดดัชนีชีวภาพ การใช้ประชาคมปลาเป็นตัวชี้วัด การพัฒนา Fish-based IBI และการประยุกต์ใช้ในแหล่งน้ำเขตร้อนหรือประเทศไทย สำหรับเกณฑ์การคัดเลือกเอกสาร ได้แก่ 1) เกี่ยวข้องโดยตรงกับประชาคมปลา ดัชนีชีวภาพ Fish-based IBI หรือการประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด 2) มีข้อมูลสนับสนุนแนวคิดตัวชี้วัด วิธีการประเมิน หรือการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ศึกษา และ 3) มีแหล่งที่มาและรายละเอียดทางวิชาการชัดเจน เอกสารที่นำมาพิจารณาครอบคลุมตั้งแต่งานพื้นฐานด้าน Fish-based IBI ในช่วง พ.ศ. 2524 เป็นต้นมา จนถึงงานวิจัยร่วมสมัยที่เกี่ยวข้องกับดีเอ็นเอสิ่งแวดล้อม (environmental DNA: eDNA) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) และการติดตามระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด ส่วนการสังเคราะห์ข้อมูลดำเนินการโดยจัดกลุ่มเนื้อหาตามประเด็นหลัก ได้แก่ แนวคิดดัชนีชีวภาพ ความสัมพันธ์ของประชาคมปลากับโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด ตัวชี้วัดจากประชาคมปลา Fish-based IBI การประยุกต์ใช้ในประเทศไทย ข้อจำกัดของการประเมิน และแนวทางการพัฒนาในอนาคต จากนั้นทำการเปรียบเทียบสาระสำคัญของเอกสารแต่ละกลุ่ม เพื่อสังเคราะห์เป็นกรอบแนวคิด ตารางสรุป และข้อเสนอสำหรับการพัฒนาการประเมินระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดโดยใช้ประชาคมปลาในประเทศไทย

3. แนวคิดดัชนีชีวภาพและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด

ดัชนีชีวภาพ (biological indicator) หมายถึง การใช้สิ่งมีชีวิต องค์ประกอบของประชาคมสิ่งมีชีวิต หรือคุณลักษณะทางชีวภาพบางประการเป็นตัวบ่งชี้สภาพแวดล้อมและระดับการรบกวนของระบบนิเวศ

แนวคิดนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีความต้องการทางนิเวศวิทยาและระดับความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมต่างกัน เมื่อแหล่งน้ำได้รับแรงกดดันจากน้ำเสีย การเปลี่ยนแปลงถิ่นอาศัย การลดลงของพื้นที่ชุ่มน้ำหรือการสะสมของสารอินทรีย์ โครงสร้างประชาคมของสิ่งมีชีวิตจะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ตรวจวัดได้ เช่น ชนิดที่อ่อนไหวลดจำนวนลง ชนิดที่ทนทานเพิ่มจำนวนขึ้น จำนวนชนิดลดลงหรือกลุ่มหน้าที่ทางนิเวศวิทยาเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (Karr, 1991; Barbour et al., 1999) แนวคิดสำคัญที่เป็นพื้นฐานของการใช้ดัชนีชีวภาพในแหล่งน้ำจืดคือความสมบูรณ์ทางชีวภาพ (biological integrity) ซึ่งหมายถึงความสามารถของระบบนิเวศในการดำรงรักษาประชาคมสิ่งมีชีวิตที่มีองค์ประกอบ จำนวนชนิด และหน้าที่ทางนิเวศวิทยาใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติของภูมิภาคนั้น ๆ (Karr, 1981; Karr, 1991) แนวคิดนี้ไม่ได้พิจารณาแหล่งน้ำเฉพาะด้านคุณภาพน้ำเท่านั้นแต่ยังครอบคลุมความสมดุลของประชาคมสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ด้านหน้าที่ และความสามารถของระบบนิเวศในการรองรับสิ่งมีชีวิตอย่างยั่งยืน ในบทความนี้ “ความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด” หมายถึงสถานะที่ระบบนิเวศมีโครงสร้างและหน้าที่ทางนิเวศวิทยาที่เหมาะสมสามารถรองรับสิ่งมีชีวิต มีห่วงโซ่อาหารที่สมดุล มีถิ่นอาศัยที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต การสืบพันธุ์ และการเติบโตของสัตว์น้ำ รวมถึงมีศักยภาพในการผลิตทางชีวภาพและสนับสนุนทรัพยากรประมงได้อย่างยั่งยืน (Welcomme, 2001; Dudgeon et al., 2006) การประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดจึงควรพิจารณาทั้งองค์ประกอบด้านโครงสร้าง เช่น จำนวนชนิดของปลา ความชุกชุม สัดส่วนปลาพื้นเมืองและปลาต่างถิ่น และโครงสร้างขนาดของประชากรปลา ร่วมกับองค์ประกอบทางด้านหน้าที่ เช่น กลุ่มการกินอาหาร บทบาทของปลาผู้ล่า ปลากินสัตว์หน้าดิน ปลากินแพลงก์ตอน ปลากินพืชหรืออินทรีย์วัตถุ และความสัมพันธ์ระหว่างปลาและแหล่งอาหารในธรรมชาติ (Fausch et al., 1984; Barbour et al., 1999)

ระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดโดยเฉพาะแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง และพื้นที่น้ำหลาก มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับพลวัตของน้ำ ถิ่นอาศัย และความเชื่อมโยงระหว่างแหล่งน้ำกับพื้นที่โดยรอบ แนวคิดพลวัตน้ำหลากตามฤดูกาล (flood pulse concept) ชี้ให้เห็นว่าการขึ้นลงของระดับน้ำตามฤดูกาลมีบทบาทต่อการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร การขยายถิ่นอาศัย การอพยพของปลา การวางไข่ และการอนุบาลลูกปลาวัยอ่อน (Junk et al., 1989) แหล่งน้ำที่ยังคงเชื่อมโยงระหว่างแม่น้ำ ลำคลอง พื้นที่ชุ่มน้ำ และพื้นที่น้ำหลากจึงสามารถรองรับประชาคมปลาและกระบวนการผลิตทางชีวภาพได้ดีกว่าแหล่งน้ำที่ถูกตัดขาดหรือถูกรบกวนอย่างต่อเนื่อง แต่ทั้งนี้ ความชุกชุมของปลาไม่ควรถูกตีความว่าเป็นความสมบูรณ์ของระบบนิเวศเสมอไป เพราะแหล่งน้ำที่ถูกรบกวนอาจมีปลาจำนวนมาก แต่เป็นปลาชนิดทนทานหรือปลาต่างถิ่นเพียงไม่กี่ชนิด ขณะที่แหล่งน้ำที่มีปลาพื้นเมืองหลายชนิด มีกลุ่มการกินอาหารหลายกลุ่ม มีปลาผู้ล่า มีปลาวัยอ่อน และมีสัดส่วนปลาชนิดทนทานไม่สูงเกินไป มักบ่งชี้ถึงระบบนิเวศแหล่งน้ำที่มีความสมบูรณ์มากกว่า แนวคิดนี้สอดคล้องกับหลักการประเมินหลายเมตริกของดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ (สมศักดิ์ และปราณีต, 2561; Karr, 1981; Barbour et al., 1999)

4. ประชาคมปลากับโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด

ประชาคมปลาหมายถึงกลุ่มของชนิดปลาและประชากรปลาที่ดำรงชีวิตร่วมกันในแหล่งน้ำหนึ่ง ๆ โดยมีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำ ถิ่นอาศัย แหล่งอาหาร และปฏิสัมพันธ์ทางชีวภาพ โครงสร้างประชาคมปลาถูกกำหนดโดยปัจจัยหลายประการ เช่น ความลึก ความเร็วของกระแสน้ำ ความโปร่งแสงของน้ำ ชนิดของพื้นที่ท้องน้ำ พืชน้ำ ออกซิเจนละลายน้ำ ธาตุอาหาร และความเชื่อมโยงระหว่างแหล่งน้ำกับพื้นที่โดยรอบ (Matthews, 1998; Welcomme, 2001) การเปลี่ยนแปลงของประชาคมปลาจึงสามารถบ่งชี้สภาพแวดล้อมและการทำหน้าที่ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดได้ทั้งด้านโครงสร้างห่วงโซ่อาหาร ความเชื่อมโยงทางอุทกวิทยา และแรงกดดันจากกิจกรรมของมนุษย์ ประชาคมปลาช่วยอธิบายโครงสร้างห่วงโซ่อาหารของแหล่งน้ำได้เนื่องจากปลา

แต่ละชนิดใช้ทรัพยากรอาหารแตกต่างกันตั้งแต่แพลงก์ตอน พืชน้ำ อินทรีย์วัตถุ สัตว์หน้าดิน แมลงน้ำ กุ้ง หอย ลูกปลา ตลอดจนปลาและสัตว์น้ำขนาดเล็ก (Winemiller & Jepsen, 1998; Moyle & Cech, 2004) งานศึกษาปลากระมัง *Puntioplites proctozystron* ในพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำจังหวัดพระนครศรีอยุธยาสนับสนุนแนวคิดดังกล่าว พบว่าปลากระมังมีรูปแบบการกินอาหารแบบกินได้ทั้งพืชและสัตว์โดยมีอาหารหลักประกอบด้วยสาหร่ายขนาดใหญ่ ซากอินทรีย์สาร และชิ้นส่วนพืช ขณะที่ปลาโตเต็มวัยมีการกินสัตว์หน้าดินเพิ่มขึ้น เช่น โพลีคีตและไส้เดือนน้ำ ข้อมูลนี้ช่วยอธิบายบทบาทของปลาในการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ตอมน้ำกับมวลน้ำผ่านโครงสร้างห่วงโซ่อาหาร (ณัฐกิตติ์, 2569) แหล่งน้ำที่มีอาหารธรรมชาติและสภาพแวดล้อมเหมาะสมมักพบปลาหลายกลุ่มการกินอาหาร เช่น ปลากินแพลงก์ตอน ปลากินพืช ปลากินสัตว์หน้าดิน ปลากินแมลงน้ำ และปลาผู้ล่า ส่วนแหล่งน้ำที่ได้รับแรงกดดันจากมลพิษอินทรีย์ ออกซิเจนละลายน้ำลดลงหรือสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมมักพบปลาชนิดที่ทนทานหรือปลาที่กินอาหารได้หลายประเภทเพิ่มขึ้น ขณะที่ปลากินอาหารเฉพาะและปลาผู้ล่ามีแนวโน้มลดลง (Karr, 1981; Fausch et al., 1984) องค์ประกอบของกลุ่มการกินอาหารจึงเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการอธิบายโครงสร้างและความสมดุลของห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด

ประชาคมปลาในระบบแม่น้ำ-พื้นที่น้ำหลากยังแสดงถึงความเชื่อมโยงทางอุทกวิทยาได้อย่างชัดเจน การเพิ่มขึ้นและลดลงของระดับน้ำตามฤดูกาลช่วยขยายพื้นที่อาศัย เพิ่มผลผลิตขั้นต้น กระตุ้นการอพยพ การวางไข่ และการอนุบาลลูกปลา (Junk et al., 1989) ปลาหลายชนิดในประเทศไทยใช้พื้นที่น้ำหลากเป็นแหล่งอาหาร แหล่งหลบภัย และแหล่งอนุบาล การลดลงของพื้นที่น้ำหลากหรือการตัดขาดทางน้ำจึงอาจส่งผลกระทบต่อ การสืบพันธุ์และการทดแทนประชากรปลาในระยะยาว (Welcomme, 2001; Dudgeon et al., 2006) กิจกรรมของมนุษย์เช่นการปล่อยน้ำเสียจากชุมชนและเกษตรกรรม การใช้สารเคมี การเพิ่มขึ้นของสารอาหาร การตื้นเขินของแหล่งน้ำ การสร้างเขื่อนหรือฝาย การขุดลอกแหล่งน้ำ การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ริมฝั่ง และการปล่อยปลาต่างถิ่นมีผลทำให้ประชาคมปลาเปลี่ยนแปลงไปทั้งจำนวนชนิด ความชุกชุม โครงสร้างขนาด และกลุ่มการกินอาหาร (Dudgeon et al., 2006; Allan & Castillo, 2007) การใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพจึงมีจุดเด่นในการประเมินแรงกดดันระดับระบบนิเวศ เพราะปลาได้รับอิทธิพลพร้อมกันจากคุณภาพน้ำ ถิ่นอาศัย แหล่งอาหาร และความเชื่อมโยงทางอุทกวิทยา (Karr, 1991; Barbour et al., 1999) จากแนวคิดข้างต้นข้อมูลประชาคมปลาจึงมีความสำคัญต่อการอธิบายองค์ประกอบชนิด โครงสร้างประชากร บทบาทในห่วงโซ่อาหาร ความเชื่อมโยงของถิ่นอาศัย และความสามารถของแหล่งน้ำในการรองรับวงจรชีวิตของสัตว์น้ำ ข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้สนับสนุนการจัดการทรัพยากรประมง การอนุรักษ์ชนิดพันธุ์น้ำจืด และการฟื้นฟูแหล่งน้ำจืดได้อย่างเหมาะสม

5. ตัวชี้วัดจากประชาคมปลาสำหรับประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด

การใช้ประชาคมปลาเพื่อประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดควรใช้ตัวชี้วัดหลายกลุ่มร่วมกัน เนื่องจากความสมบูรณ์ของระบบนิเวศไม่สามารถพิจารณาจากจำนวนปลาหรือผลผลิตทางการประมงเพียงด้านเดียว แต่ยังเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบชนิดของปลา ความสมบูรณ์ของถิ่นอาศัย โครงสร้างห่วงโซ่อาหาร ความต่อเนื่องของวงจรชีวิต และความสามารถของระบบนิเวศในการรองรับประชากรสิ่งมีชีวิตอย่างยั่งยืน (Karr, 1981; Barbour et al., 1999) ตัวชี้วัดหลักจากประชาคมปลา ได้แก่ จำนวนชนิด และองค์ประกอบของประชาคมปลา ความชุกชุม กลุ่มการกินอาหาร สัดส่วนปลาพื้นเมืองและปลาต่างถิ่น ปลาชนิดอ่อนไหวและชนิดทนทาน โครงสร้างขนาด ภาวะสุขภาพ และดัชนีความสมบูรณ์ของร่างกายของปลา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวชี้วัดจากประชาคมปลาสำหรับประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด

กลุ่มตัวชี้วัด	ตัวอย่างตัวชี้วัด	ความหมายทางนิเวศวิทยา	ข้อควรระวังในการแปลผล
จำนวนชนิดและองค์ประกอบของประชาคมปลา	จำนวนชนิดของปลา รายชื่อชนิดปลา สัดส่วนปลาพื้นเมือง ปลาต่างถิ่น ปลาหายาก ปลาชนิดอ่อนไหว และปลาชนิดทนทาน	ให้ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนชนิด องค์ประกอบประชาคมปลา การคงอยู่ของชนิดพันธุ์ดั้งเดิม และระดับการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศแหล่งน้ำ	จำนวนชนิดสูงอาจไม่ได้หมายถึงความสมบูรณ์เสมอไป หากเกิดจากปลาต่างถิ่นหรือปลาที่ปล่อยลงแหล่งน้ำ
ความชุกชุมและผลจับต่อหน่วยลงแรงทำประมง	จำนวนตัวปลา น้ำหนักปลา และผลจับต่อหน่วยลงแรงทำประมง (Catch Per Unit Effort: CPUE)	บ่งชี้ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของปลาและศักยภาพของแหล่งน้ำ ในการรองรับประชากรปลา	ต้องควบคุมชนิดของเครื่องมือ ขนาดตาอวน ระยะเวลาวางเครื่องมือ ฤดูกาล และพื้นที่เก็บตัวอย่างให้เป็นมาตรฐาน
กลุ่มการกินอาหาร	ปลากินแพลงก์ตอน ปลา กินพืช ปลากินอินทรีย์วัตถุ ปลากินสัตว์หน้าดิน ปลา กินแมลงน้ำ และปลาผู้ล่า	ช่วยอธิบายโครงสร้างห่วงโซ่อาหาร แหล่งอาหารธรรมชาติ และการถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศ	กลุ่มปลาที่กินอาหารได้หลายประเภทอาจเพิ่มขึ้นในแหล่งน้ำที่ถูกรบกวน จึงต้องแปลผลร่วมกับคุณภาพน้ำและถิ่นอาศัย
ปลาพื้นเมือง ปลาต่างถิ่น และปลาชนิดทนทาน	สัดส่วนปลาพื้นเมือง สัดส่วนปลาต่างถิ่น และการเพิ่มขึ้นของปลาชนิดทนทานต่อสภาพเสื่อมโทรม	บ่งชี้สถานภาพของระบบนิเวศ ท้องถิ่น การคงอยู่ของชนิดพันธุ์ดั้งเดิม และแรงกดดันจากการรบกวนหรือการนำชนิดพันธุ์ต่างถิ่นเข้าสู่แหล่งน้ำ	ปลาต่างถิ่นบางชนิดอาจเพิ่มจำนวนจากการปล่อยหรือการเพาะเลี้ยง จึงควรพิจารณาประวัติการใช้ประโยชน์พื้นที่ร่วมด้วย
ปลาชนิดอ่อนไหว และปลาที่ต้องการถิ่นอาศัยเฉพาะ	ปลาที่ต้องการออกซิเจนละลายน้ำเหมาะสม พื้นที่ย่อยน้ำเฉพาะ พืชน้ำเฉพาะ หรือความเชื่อมโยงของแหล่งน้ำ	การลดลงหรือหายไปของปลา กลุ่มนี้อาจบ่งชี้การเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ ถิ่นอาศัย หรือความเชื่อมโยงทางอุทกวิทยา	การกำหนดชนิดปลาอ่อนไหวหรือชนิดปลาทนทานควรอาศัยข้อมูลท้องถิ่น ไม่ควรใช้เกณฑ์จากต่างประเทศโดยตรงทั้งหมด
ปลาผู้ล่าและโครงสร้างขนาดของปลา	การพบปลาผู้ล่าหลายชนิด หลายขนาด การพบปลาวัยอ่อน ปลาระยะวัยรุ่น และปลาโตเต็มวัย	ช่วยอธิบายความสมบูรณ์ของห่วงโซ่อาหาร ความต่อเนื่องของวงจรชีวิต และบทบาทของแหล่งน้ำในฐานะแหล่งวางไข่ แหล่งอนุบาล และแหล่งหากิน	โครงสร้างขนาดของปลาอาจได้รับผลจากเครื่องมือจับปลา ฤดูกาล และแรงกดดันจากการทำประมง
ภาวะสุขภาพและสภาพร่างกายของปลา	บาดแผล ครีบกร่อน เนื้องอก รูปร่างผิดปกติ ดัชนีความสมบูรณ์ร่างกาย และความสัมพันธ์ของความยาว-น้ำหนัก	บ่งชี้ความเครียดทางสิ่งแวดล้อม การปนเปื้อน ภาวะโภชนาการ การเติบโต และความเหมาะสมของแหล่งอาศัย	ได้รับอิทธิพลจากเพศ ขนาดอายุ ฤดูกาล และระยะสืบพันธุ์ จึงควรใช้ร่วมกับข้อมูลประชาคมปลาและข้อมูลสิ่งแวดล้อม

หมายเหตุ : ปรับปรุงและสังเคราะห์จาก Karr (1981), Fausch et al. (1984), Hughes et al. (1998), Barbour et al. (1999), Hughes & Oberdorff (1999), Simon (1999), Allan & Castillo (2007), Thomsen & Willerslev (2015) และ Xiong et al. (2022)

จากตารางที่ 1 ตัวชี้วัดด้านจำนวนชนิด องค์ประกอบของประชาคมปลา ความชุกชุม และผลจับต่อหน่วยลงแรงทำประมง สามารถใช้บ่งชี้สถานภาพพื้นฐานของประชาคมปลาและศักยภาพของแหล่งน้ำ ในการรองรับประชากรปลาได้ ทั้งนี้ตัวชี้วัดเหล่านี้ควรแปลผลด้วยความระมัดระวังเนื่องจากจำนวนชนิดหรือความชุกชุมของปลาที่สูงขึ้นอาจไม่ได้หมายถึงระบบนิเวศที่สมบูรณ์เสมอไป หากประชาคมปลา

ประกอบด้วยปลาต่างถิ่นหรือปลาชนิดทนทานเป็นส่วนใหญ่ การประเมินจึงควรพิจารณาสัดส่วนของปลาพื้นเมือง ปลาต่างถิ่น ปลาหายาก ปลาชนิดอ่อนไหว และปลาชนิดทนทานร่วมด้วย (Karr, 1981; Fausch et al., 1984; Karr, 1991; Barbour et al., 1999)

ตัวชี้วัดด้านกลุ่มการกินอาหาร ปลาผู้ล่า โครงสร้างขนาด และภาวะสุขภาพของปลา ช่วยอธิบายหน้าที่ของระบบนิเวศ เช่น โครงสร้างห่วงโซ่อาหาร การถ่ายทอดพลังงาน ความต่อเนื่องของวงจรชีวิต ภาวะโภชนาการ และความเหมาะสมของแหล่งอาศัยต่อการดำรงชีวิตของปลา (Winemiller, 1990; Winemiller & Jepsen, 1998; Matthews, 1998; Welcomme, 2001) แหล่งน้ำที่ยังคงพบปลาหลายกลุ่มการกินอาหาร ปลาผู้ล่า ปลาวัยอ่อน และปลาโตเต็มวัยร่วมกัน มักบ่งชี้ถึงความสามารถของแหล่งน้ำในการเป็นแหล่งวางไข่ แหล่งอนุบาล และแหล่งหากินของปลาได้ดีกว่าแหล่งน้ำที่มีปลาชนิดทนทานหรือปลาที่กินอาหารได้หลายประเภทเป็นกลุ่มเด่น ส่วนภาวะสุขภาพของปลา ดัชนีความสมบูรณ์ของร่างกาย และความสัมพันธ์ของความยาว-น้ำหนัก เป็นตัวชี้วัดระดับสิ่งมีชีวิตและประชากรที่ช่วยบ่งชี้ความเครียดทางสิ่งแวดล้อม การปนเปื้อน ภาวะโภชนาการ และการเติบโตของปลาในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ (Le Cren, 1951; Barbour et al., 1999; Simon, 1999; Froese, 2006) ทั้งนี้ ตัวชี้วัดเหล่านี้ได้รับอิทธิพลจากเพศ ขนาด อายุ ฤดูกาล และระยะสืบพันธุ์ จึงควรใช้ร่วมกับข้อมูลประชากรปลา คุณภาพน้ำ ถิ่นอาศัย และข้อมูลสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เพื่อให้การประเมินมีความรอบด้านมากขึ้น การประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจึงไม่ควรอาศัยตัวชี้วัดใดเพียงอย่างเดียวแต่ควรใช้ตัวชี้วัดหลายกลุ่มร่วมกันภายใต้กรอบทางด้านนิเวศวิทยา และลักษณะของพื้นที่ศึกษา แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการของดัชนีหลายเมตริกที่ใช้ข้อมูลทางชีวภาพหลายด้านเพื่อบ่งชี้สุขภาพและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศอย่างรอบด้าน (Karr, 1981; Hughes et al., 1998; Barbour et al., 1999)

6. Fish-based IBI กับ การประเมินสุขภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำ

ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดหรือ Fish-based Index of Biotic Integrity (Fish-based IBI) เป็นเครื่องมือทางนิเวศวิทยาที่ใช้คุณลักษณะของประชากรปลาเพื่อประเมินสุขภาพและความสมบูรณ์ทางชีวภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำ แนวคิดนี้เริ่มจากงานของ Karr (1981) ซึ่งเสนอให้ประเมินคุณภาพแหล่งน้ำโดยใช้ข้อมูลทางชีวภาพของประชากรปลาร่วมกับข้อมูลสิ่งแวดล้อม เนื่องจากประชากรสิ่งมีชีวิตสามารถบ่งชี้ผลกระทบสะสมจากกิจกรรมของมนุษย์ต่อโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศได้ครอบคลุมกว่าการใช้ตัวแปรคุณภาพน้ำเพียงอย่างเดียว (Karr, 1981; Karr, 1991) หลักการสำคัญของ Fish-based IBI คือการรวมเมตริกหลายด้านของประชากรปลาให้เป็นค่าดัชนีรวม เช่น องค์ประกอบชนิดของปลา กลุ่มถิ่นอาศัย กลุ่มการกินอาหาร ความชุกชุม และภาวะสุขภาพของปลา (Karr, 1981; Barbour et al., 1999) ทั้งนี้ การประเมิน Fish-based IBI จำเป็นต้องเปรียบเทียบประชากรปลาของพื้นที่ศึกษากับสภาวะอ้างอิง (reference condition) หรือแหล่งน้ำที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดในภูมิภาคเดียวกัน (Hughes et al., 1998; Barbour et al., 1999) อย่างไรก็ตาม การกำหนดพื้นที่อ้างอิงในแหล่งน้ำของประเทศไทยอาจทำได้ยากเนื่องจากแหล่งน้ำจำนวนมากถูกใช้ประโยชน์มาเป็นเวลานาน จึงควรใช้แนวทางคัดเลือกแหล่งน้ำที่ถูกรบกวนน้อยที่สุดร่วมกับข้อมูลย้อนหลัง ข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ และข้อมูลภาคสนามปัจจุบัน เพื่อกำหนดเกณฑ์การประเมินที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ ระบบการให้คะแนนของ Fish-based IBI ที่ใช้กันทั่วไปเป็นคะแนนแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น 5, 3 และ 1 โดยคะแนนสูงบ่งชี้ถึงสภาพที่ใกล้เคียงกับแหล่งน้ำอ้างอิง ส่วนคะแนนต่ำบ่งชี้ถึงการเบี่ยงเบนจากสภาพอ้างอิงหรือภาวะเสื่อมโทรมของระบบนิเวศ (Karr, 1981; Karr et al., 1986) เมื่อรวมคะแนนของแต่ละเมตริกจะได้ค่าดัชนีสำหรับแปลผลระดับสุขภาพของแหล่งน้ำ เช่น ดีเยี่ยม ดีปานกลาง เสื่อมโทรม และเสื่อมโทรมมาก ซึ่งในระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดของไทย สมศักดิ์ และปราณีต (2561)

ได้อธิบายการประยุกต์ใช้แนวคิด Fish-based IBI โดยสรุปเมทริก ระบบคะแนน และการแปลผลตามแนวทางของ Karr ไว้อย่างเป็นระบบ

การประยุกต์ใช้ Fish-based IBI ในประเทศไทยมีตัวอย่างจากพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร จังหวัดสกลนคร ซึ่งใช้ Fish-based IBI ประเมินผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ต่อประชาคมปลา โดยปรับเมทริกให้เหมาะสมกับปลาในเขตร้อนและใช้คะแนนรวมเพื่อจำแนกระดับสุขภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้ Fish-based IBI ในประเทศไทยจำเป็นต้องปรับเมทริกให้สอดคล้องกับชนิดของปลา และลักษณะระบบนิเวศของพื้นที่ศึกษา (สมศักดิ์ และปราณีต, 2563) นอกจากนี้ ฐานันท์ (2564) ได้ประยุกต์ใช้ปลาเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำในลุ่มน้ำปิงโดยเปรียบเทียบระหว่างแหล่งน้ำนิ่งและแหล่งน้ำไหล ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการพัฒนา Fish-based IBI ควรคำนึงถึงประเภทของแหล่งน้ำ องค์ประกอบประชาคมปลา และปัจจัยสิ่งแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ และแม้ Fish-based IBI จะเป็นกรอบประเมินสุขภาพของแหล่งน้ำที่เป็นระบบแต่ความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดในบทความนี้มีขอบเขตกว้างกว่า Fish-based IBI เพราะครอบคลุมศักยภาพการผลิตทางชีวภาพ แหล่งอนุบาลของลูกปลา ความเชื่อมโยงกับพื้นที่น้ำหลาก และความยั่งยืนของทรัพยากรประมง ดังนั้น Fish-based IBI จึงควรใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งในกรอบการประเมินแบบบูรณาการแต่ไม่ควรใช้แทนการประเมินทั้งหมด ซึ่งการประยุกต์ใช้ในประเทศไทยควรปรับให้เหมาะสมกับประเภทของแหล่งน้ำ ฤดูกาล ชนิดของปลา รูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ และสถานะอ้างอิงของแต่ละพื้นที่ รวมทั้งควรตรวจสอบความน่าเชื่อถือของดัชนีอย่างต่อเนื่อง

7. การประยุกต์ใช้ประชาคมปลาเพื่อประเมินแหล่งน้ำจืดในประเทศไทย

ประเทศไทยมีแหล่งน้ำจืดหลายประเภททั้งแม่น้ำสายหลัก ลำน้ำสาขา คลองธรรมชาติ คลองชลประทาน หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ พังน้ำหลาก และแหล่งน้ำชุมชน แหล่งน้ำเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อความหลากหลายทางชีวภาพ การเกษตร การประมงน้ำจืด และการใช้ประโยชน์ของชุมชน การใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพจึงช่วยให้การประเมินแหล่งน้ำมีความครอบคลุมมากกว่าการพิจารณาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีเพียงอย่างเดียว (สมศักดิ์ และปราณีต, 2561; Karr, 1981; Barbour et al., 1999) แม่น้ำและลำน้ำสายหลักมีความสำคัญต่อการเคลื่อนย้ายของมวลน้ำ ดินตะกอน ธาตุอาหาร และสิ่งมีชีวิต รวมทั้งเป็นเส้นทางอพยพและแหล่งอาศัยของปลาหลายชนิด การประเมินประชาคมปลาในแหล่งน้ำประเภทนี้ควรให้ความสำคัญกับปลาพื้นเมือง ปลาที่สัมพันธ์กับน้ำไหล ปลากินสัตว์หน้าดิน ปลากินแมลงน้ำ ปลาผู้ล่า และปลาที่อพยพระหว่างถิ่นอาศัย การลดลงของปลาที่ต้องการน้ำไหลหรือถิ่นอาศัยเฉพาะอาจบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำ ความตื้นเขิน หรือการขาดความต่อเนื่องของลำน้ำ (Karr, 1991; Allan & Castillo, 2007) แหล่งน้ำประเภทคลองธรรมชาติและคลองชลประทานมีบทบาทต่อการระบายน้ำ การเกษตร การประมงพื้นบ้าน และการใช้ประโยชน์ของชุมชน คลองที่ยังเชื่อมโยงกับแม่น้ำ หนอง บึง หรือพื้นที่น้ำหลากมักสามารถรองรับปลาได้หลายกลุ่ม ขณะที่คลองที่ได้รับน้ำเสียมีการตื้นเขินหรือขาดการไหลเวียนมักพบปลาชนิดทนทานหรือปลาที่กินอาหารได้หลายประเภทเพิ่มขึ้น (Barbour et al., 1999; Dudgeon et al., 2006) การศึกษาคลองบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่าคลองและคลองส่งน้ำเข้าสู่พื้นที่เกษตรกรรมสามารถรองรับประชาคมปลาแตกต่างกันตามลักษณะพื้นที่น้ำลึกและน้ำตื้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประเมินแหล่งน้ำประเภทคลองควรพิจารณาถิ่นอาศัยย่อยและปัจจัยคุณภาพน้ำร่วมด้วย (ณัฐกิตติ์, 2566)

แหล่งน้ำประเภทหนอง บึง และพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นแหล่งอาหาร แหล่งวางไข่ และแหล่งอนุบาลของลูกปลาหลายชนิด เนื่องจากมีพืชน้ำ แพลงก์ตอน สัตว์หน้าดิน และอินทรีย์วัตถุสูง การประเมินแหล่งน้ำประเภทนี้ควรให้ความสำคัญกับปลาพื้นเมือง ปลาที่สัมพันธ์กับพืชน้ำ ปลากินแพลงก์ตอน ปลากินสัตว์หน้าดิน ปลาผู้ล่า และการพบปลาวัยอ่อน การลดลงของปลาพื้นเมืองหรือการเพิ่มขึ้นของปลาต่างถิ่นอาจบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลง

ของระบบนิเวศและแรงกดดันจากกิจกรรมของมนุษย์ (Welcomme, 2001; Dudgeon et al., 2006) ส่วนทุ่งน้ำหลากและระบบแม่น้ำ-พื้นที่น้ำท่วมถึงมีความสำคัญต่อความสมบูรณ์ของระบบนิเวศและประชาคมปลา เนื่องจากการเชื่อมโยงระหว่างแม่น้ำกับพื้นที่น้ำหลากช่วยส่งเสริมการหมุนเวียนธาตุอาหาร การเพิ่มแหล่งอาหาร แหล่งวางไข่ และแหล่งอนุบาลลูกปลา (Junk et al., 1989) การพบปลาวัยอ่อน ปลาขนาดเล็ก และปลาที่ใช้แหล่งพืชน้ำเป็นที่หลบภัย สามารถใช้บ่งชี้การทำหน้าที่ของพื้นที่น้ำหลากได้ แต่หากแหล่งน้ำขาดความเชื่อมโยงเนื่องจากคันกั้นน้ำ ถนน ฝาย หรือโครงสร้างควบคุมน้ำ อาจส่งผลให้ชนิดปลาที่มีการอพยพ หรือใช้พื้นที่น้ำหลากเป็นส่วนหนึ่งของวงจรชีวิตลดลง จากการศึกษาของ ณัฐกิตติ์ (2563) บริเวณพื้นที่รับน้ำอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ได้แสดงให้เห็นว่าภาวะภัยแล้งและการขาดความเชื่อมโยงของมวลน้ำระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำน้อย และทุ่งรับน้ำบางบาล ส่งผลต่อโครงสร้างประชาคมปลา แหล่งอาหาร การถ่ายทอดพลังงานในสายใยอาหาร และศักยภาพของพื้นที่น้ำหลากในการเป็นแหล่งวางไข่และอนุบาลลูกปลา การศึกษานี้สนับสนุนแนวคิดที่ว่าประชาคมปลาสามารถบ่งชี้ทั้งความเชื่อมโยงทางอุทกวิทยาและการทำหน้าที่ของระบบนิเวศแหล่งน้ำได้ดี

แหล่งน้ำชุมชนและแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร เช่น สระน้ำสาธารณะ หนองน้ำประจำหมู่บ้าน บ่อเก็บน้ำ และคลองชุมชน แม้มีขนาดไม่ใหญ่มากนักแต่มีความสำคัญต่อความมั่นคงทางอาหารและการใช้ประโยชน์ในระดับท้องถิ่น การประเมินสถานภาพของแหล่งน้ำประเภทนี้อาจใช้ตัวชี้วัดที่ไม่ซับซ้อนและสื่อสารได้ชัดเจน เช่น รายชื่อชนิดปลา สัดส่วนปลาพื้นเมืองและปลาต่างถิ่น การพบปลาวัยอ่อน ภาวะสุขภาพของปลา และคุณภาพน้ำเบื้องต้น ได้แก่ ความโปร่งแสง สี กลิ่น และออกซิเจนละลายน้ำ แนวทางนี้สามารถเชื่อมโยงกับการติดตามแหล่งน้ำแบบมีส่วนร่วมของชุมชนได้ ทั้งนี้พื้นที่ที่มีความสำคัญต่อการจัดการทรัพยากรประมง เช่น แหล่งวางไข่ แหล่งอนุบาลลูกปลา แหล่งหากิน เส้นทางอพยพ และพื้นที่ประมงพื้นบ้าน ควรได้รับการประเมินด้วยตัวชี้วัดที่สามารถบ่งชี้ทั้งสถานภาพประชาคมปลาและการใช้ประโยชน์จากทรัพยากร การประเมินควรดำเนินการร่วมกับชาวประมงพื้นบ้านและใช้ข้อมูลจากชุมชนประกอบเนื่องจากชุมชนมีความรู้จากประสบการณ์เกี่ยวกับฤดูกาลจับปลา พื้นที่วางไข่ เส้นทางอพยพ และแนวโน้มของทรัพยากรปลา ซึ่งในทางปฏิบัติการประยุกต์ใช้ประชาคมปลาในประเทศไทยควรเริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์และประเภทของแหล่งน้ำให้ชัดเจน จากนั้นจึงกำหนดสถานี ช่วงเวลา เครื่องมือ และตัวชี้วัดที่เหมาะสม การเก็บข้อมูลควรครอบคลุมทั้งฤดูแล้งและฤดูน้ำหลากและใช้ร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำ สภาพถิ่นอาศัย สัตว์หน้าดิน และการใช้ประโยชน์พื้นที่ เพื่อให้ผลการประเมินสถานภาพของแหล่งน้ำจัดสามารถนำไปใช้สนับสนุนการจัดการทรัพยากรน้ำและทรัพยากรประมงได้จริง (Barbour et al., 1999; Simon, 1999)

8. ข้อจำกัดและข้อควรระวังในการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพ

ประชาคมปลามีศักยภาพสูงในการประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศและสุขภาพของแหล่งน้ำจัด แต่การนำมาใช้จำเป็นต้องพิจารณาข้อจำกัดทั้งจากปัจจัยทางธรรมชาติและวิธีการเก็บตัวอย่าง เช่น ฤดูกาล ประเภทของแหล่งน้ำ ลักษณะถิ่นอาศัย เครื่องมือจับปลา และความพยายามในการเก็บตัวอย่าง หากไม่กำหนดวิธีการเก็บข้อมูลให้เป็นมาตรฐานหรือไม่อธิบายข้อจำกัดเหล่านี้อย่างชัดเจน การเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่หรือช่วงเวลาอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ (Karr, 1981; Barbour et al., 1999; Simon, 1999) เครื่องมือจับปลาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อชนิด ขนาด และจำนวนของปลาที่เก็บตัวอย่างได้ เนื่องจากเครื่องมือแต่ละชนิดมีความจำเพาะต่อขนาด พฤติกรรม และถิ่นอาศัยของปลาแตกต่างกัน เช่น อวนติดตา คัดเลือกปลาตามขนาดตาอวน เหมาะกับพื้นที่น้ำตื้น ลอบหรือไซเหมาะกับปลาที่เคลื่อนที่ตามพื้นท้องน้ำ หรือแนวพืชน้ำ ส่วนเครื่องมือไฟฟ้าที่ใช้ในงานประเมินทางชีวภาพในต่างประเทศยังมีข้อจำกัดด้านกฎหมาย ความปลอดภัย และความเหมาะสมกับแหล่งน้ำบางประเภทของประเทศไทย (Barbour et al., 1999;

Simon, 1999) ดังนั้น การเปรียบเทียบข้อมูลประชากรปลาระหว่างพื้นที่หรือช่วงเวลาควรกำหนดมาตรฐานด้านชนิดของเครื่องมือ ขนาดตาอวน ระยะเวลาวางเครื่องมือ จำนวนซ้ำ และพื้นที่เก็บตัวอย่างให้ชัดเจน

ฤดูกาลเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประชากรปลาในประเทศไทย เนื่องจากความแตกต่างระหว่างฤดูแล้งและฤดูน้ำหลากทำให้ระดับน้ำ ถิ่นอาศัย ความเชื่อมโยงของแหล่งน้ำ การหาอาหาร การวางไข่ และการอนุบาลลูกปลาเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน (Junk et al., 1989; Welcomme, 2001) หากทำการเก็บตัวอย่างเพียงฤดูกาลเดียวอาจไม่สามารถแสดงสถานภาพของประชากรปลาในรอบปีได้ การประเมินจึงควรเก็บข้อมูลอย่างน้อยในช่วงฤดูแล้งและฤดูน้ำหลากหรือหากต้องเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ควรดำเนินการในช่วงฤดูกาลเดียวกัน ความแตกต่างของถิ่นอาศัยและประเภทของแหล่งน้ำเป็นข้อจำกัดสำคัญประการหนึ่งเนื่องจากแม่น้ำ คลอง หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ และทุ่งน้ำหลากมีโครงสร้างถิ่นอาศัยและประชากรปลาแตกต่างกัน การเปรียบเทียบข้อมูลโดยไม่คำนึงถึงประเภทของแหล่งน้ำอาจทำให้การแปลผลคลาดเคลื่อนได้ จึงควรกำหนดสภาวะอ้างอิงหรือเกณฑ์ประเมินสำหรับแหล่งน้ำประเภทเดียวกัน เช่น เปรียบเทียบคลองกับคลอง หนองกับหนอง หรือพื้นที่น้ำหลากกับพื้นที่น้ำหลาก (Hughes et al., 1998; Barbour et al., 1999) นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ของปลายังเป็นทั้งจุดเด่นและข้อจำกัดของการประเมินอีกด้วยเนื่องจากปลามีการเคลื่อนที่เพื่อหาอาหาร หลบภัย สืบพันธุ์หรือใช้พื้นที่น้ำหลากจึงสามารถบ่งชี้แรงกดดันในระดับระบบน้ำที่กว้างกว่าสิ่งมีชีวิตที่เคลื่อนที่จำกัด แต่ทั้งนี้ปลาที่พบในจุดเก็บตัวอย่างอาจไม่ได้อาศัยอยู่ในพื้นที่นั้นตลอดเวลา (Winemiller & Jepsen, 1998; Welcomme, 2001) การแปลผลข้อมูลจึงควรระบุขอบเขตพื้นที่ให้ชัดเจนว่าเป็นการประเมินระดับจุดเก็บตัวอย่าง ระดับแหล่งน้ำ หรือระดับระบบนิเวศที่เชื่อมโยงกัน

การใช้ข้อมูลปลาเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถระบุสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน เช่น การลดลงของปลาชนิดอ่อนไหวอาจเกิดจากคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม การสูญเสียถิ่นอาศัย การขาดความเชื่อมโยงของแหล่งน้ำ หรือแรงกดดันจากการจับปลา การประเมินจึงควรใช้ร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำ สภาพถิ่นอาศัย สัตว์หน้าดิน พืชน้ำ และการใช้ประโยชน์พื้นที่ (Barbour et al., 1999; Allan & Castillo, 2007) โดยเฉพาะสัตว์หน้าดินซึ่งมีการเคลื่อนที่จำกัด มีการตอบสนองต่อสภาพดินตะกอน ปริมาณอินทรีย์สาร ออกซิเจน และมลพิษในระดับพื้นที่ได้ดี นอกจากนี้ข้อจำกัดด้านการแปลผลแล้วข้อจำกัดด้านข้อมูลพื้นฐานในประเทศไทยยังเป็นประเด็นที่สำคัญ ได้แก่ ข้อมูลการกระจายของปลาพื้นเมืองในแต่ละลุ่มน้ำ รายชื่อปลาชนิดอ่อนไหวและชนิดทนทาน กลุ่มการกินอาหารของปลา และข้อมูลประชากรปลาในอดีตเพื่อใช้เป็นสภาวะอ้างอิง การพัฒนาดัชนีชีวภาพจากประชากรปลาจึงควรมุ่งสร้างฐานข้อมูลระยะยาวและมาตรฐานการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมกับแหล่งน้ำแต่ละประเภท จากข้อจำกัดดังกล่าวการใช้ประชากรปลาเป็นดัชนีชีวภาพจึงควรแปลผลอย่างรอบด้าน ไม่ควรสรุปจากจำนวนชนิดของปลา ความชุกชุม หรือผลจับต่อหน่วยลงแรงทำประมง (CPUE) เพียงอย่างเดียว แต่ควรพิจารณาจากหลายตัวชี้วัดร่วมกับลักษณะของพื้นที่ ฤดูกาล เครื่องมือจับปลา และข้อมูลสิ่งแวดล้อม เพื่อให้แนวทางการจัดการสอดคล้องกับสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

8.1 ข้อจำกัดด้านข้อมูล เมทริก และการตรวจสอบความแม่นยำของ Fish-based IBI

การพัฒนา Fish-based IBI จำเป็นต้องพิจารณาข้อจำกัดด้านข้อมูล วิธีการเก็บตัวอย่าง การคัดเลือกตัวชี้วัด และเกณฑ์การประเมินอย่างรอบคอบ เนื่องจากดัชนีประเภทนี้ใช้เมทริกหลายด้านของประชากรปลา เช่น จำนวนชนิดของปลา สัดส่วนปลาชนิดอ่อนไหว สัดส่วนปลาชนิดทนทาน กลุ่มการกินอาหาร โครงสร้างขนาด และภาวะสุขภาพของปลา เมทริกบางรายการอาจมีความสัมพันธ์กันสูงและให้ข้อมูลซ้ำซ้อนกัน เช่น จำนวนชนิดของปลา ความชุกชุม และความชุกชุมสัมพัทธ์ของปลาบางกลุ่ม หากไม่มีการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างเมทริกก่อนนำมาคำนวณ อาจทำให้ค่าดัชนีให้น้ำหนักกับข้อมูลบางด้านมากเกินไป และทำให้การแปลผลคลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้ Fish-based IBI ยังมีความไวต่อขนาดตัวอย่างและความสม่ำเสมอของการเก็บข้อมูล หากจำนวนตัวอย่างปลาน้อยเกินไปหรือความพยายามในการเก็บตัวอย่างแตกต่างกันมากระหว่างพื้นที่ ค่าดัชนีอาจได้รับอิทธิพลจากความแตกต่างของวิธีการเก็บตัวอย่างมากกว่าสภาพจริงของระบบ

นิเวศแหล่งน้ำ การพัฒนาดัชนีจึงควรกำหนดมาตรฐานด้านเครื่องมือ ระยะเวลา จำนวนซ้ำ พื้นที่เก็บตัวอย่าง และฤดูกาลให้ชัดเจน รวมทั้งควรทดสอบความไวของเมทริกต่อแรงกดดันจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเปลี่ยนแปลงถิ่นอาศัย การเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ การตัดขาดความเชื่อมโยงของแหล่งน้ำ และแรงกดดันจากการใช้ประโยชน์ทรัพยากรประมง ประเด็นสำคัญอีกประการหนึ่งคือการตรวจสอบความแม่นยำของดัชนี (validation) ให้สอดคล้องกับลักษณะของแหล่งน้ำในประเทศไทยซึ่งยังต้องอาศัยข้อมูลจากแหล่งน้ำหลายประเภทและหลายช่วงเวลา การนำ Fish-based IBI ไปใช้จึงควรมีการทดสอบซ้ำในระดับลุ่มน้ำหรือพื้นที่น้ำร่อง เพื่อประเมินว่าเมทริกที่เลือกสามารถจำแนกระดับความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำได้สอดคล้องกับข้อมูลคุณภาพน้ำ ถิ่นอาศัย และแรงกดดันจากกิจกรรมของมนุษย์หรือไม่ การตรวจสอบดังกล่าวจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการประเมิน และเพิ่มความน่าเชื่อถือของ Fish-based IBI ก่อนนำไปใช้ในระบบติดตามแหล่งน้ำในวงกว้าง

8.2 ข้อควรระวังในการนำผลการประเมินไปใช้ในการจัดการแหล่งน้ำ

การนำ Fish-based IBI ไปใช้ในการจัดการแหล่งน้ำจริงอาจเผชิญกับช่องว่างระหว่างผลการประเมินทางวิทยาศาสตร์กับการตัดสินใจด้านนโยบายหรือการใช้ประโยชน์พื้นที่ เช่น ผลการประเมินที่ชี้ว่าแหล่งน้ำเสื่อมโทรมหรือมีความสมบูรณ์ของระบบนิเวศต่ำอาจนำไปสู่มาตรการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดิน การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การจัดการประมง หรือการฟื้นฟูถิ่นอาศัย ซึ่งเกี่ยวข้องกับผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายกลุ่ม ดังนั้น การใช้ Fish-based IBI จึงควรดำเนินการควบคู่กับการสื่อสารผลการประเมินอย่างโปร่งใส การมีส่วนร่วมของชุมชน และการกำหนดแนวทางใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ประกอบการตัดสินใจด้านนโยบายอย่างรอบคอบ

9. แนวทางการพัฒนาการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพในอนาคต

การใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจัดในประเทศไทยยังสามารถพัฒนาได้หลายด้านทั้งแนวทางการประเมิน เทคโนโลยีการติดตาม ฐานข้อมูล และการมีส่วนร่วมของชุมชน ทั้งนี้ การพัฒนาแนวทางดังกล่าวควรตั้งอยู่บนองค์ความรู้จากงานวิจัยในประเทศไทย เนื่องจากแหล่งน้ำจัดของไทยมีลักษณะเฉพาะด้านฤดูกาล ประเภทของแหล่งน้ำ ความเชื่อมโยงทางอุทกวิทยา รูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ และโครงสร้างประชาคมปลาแตกต่างจากประเทศในเขตอบอุ่น การสังเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยในประเทศไทยจึงมีความสำคัญต่อการกำหนดตัวชี้วัด เกณฑ์การประเมิน และแนวทางติดตามแหล่งน้ำที่เหมาะสมกับลักษณะของแหล่งน้ำในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การสังเคราะห์งานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพ และแนวทางพัฒนาการประเมินแหล่งน้ำจัด

งานวิจัย/พื้นที่ศึกษาและแหล่งอ้างอิง	แนวทางหรือข้อมูลที่ใช้	ข้อค้นพบหรือสาระสำคัญ	ประเด็นที่ควรพัฒนาในอนาคต
การประยุกต์ใช้ Fish-based IBI ในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร จังหวัดสกลนคร (สมศักดิ์ และ ปรานีต, 2563)	ใช้ประชาคมปลาและเมทริกหลายด้านของ Fish-based IBI เพื่อประเมินผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ต่อระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำ	แสดงให้เห็นว่า Fish-based IBI สามารถปรับใช้กับแหล่งน้ำเขตร้อนของไทยได้ แต่ต้องปรับเมทริกให้สอดคล้องกับชนิดของปลา และลักษณะของระบบนิเวศของพื้นที่ศึกษา	ควรพัฒนาเกณฑ์อ้างอิงของพื้นที่ชุ่มน้ำในประเทศไทย และตรวจสอบความไวของแต่ละ เมทริกต่อแรงกดดันจากกิจกรรมของมนุษย์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

งานวิจัย/พื้นที่ศึกษาและแหล่งอ้างอิง	แนวทางหรือข้อมูลที่ใช้	ข้อค้นพบหรือสาระสำคัญ	ประเด็นที่ควรพัฒนาในอนาคต
การศึกษาประชาคมปลาและการใช้ปลาเป็นดัชนีในลุ่มน้ำปิง (ฐาปนีย์, 2564)	ใช้ข้อมูลประชาคมปลา ตัวชี้วัดด้านชนิดปลา ประเภทของแหล่งน้ำ และปัจจัยสิ่งแวดล้อม	ชี้ให้เห็นว่าการประเมินด้วยประชาคมปลาต้องคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างแหล่งน้ำนิ่งและแหล่งน้ำไหล รวมถึงองค์ประกอบประชาคมปลาในแต่ละพื้นที่	ควรกำหนดเมตริกเฉพาะสำหรับแหล่งน้ำแต่ละประเภท และพัฒนาฐานข้อมูลของประชาคมปลาในระดับลุ่มน้ำ
การใช้ดีเอ็นเอสิ่งแวดล้อม (eDNA) เพื่อตรวจติดตามปลาในแม่น้ำและอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำปิง (ฐาปนีย์, 2564; Thomsen & Willerslev, 2015; Xiong et al., 2022)	ใช้ eDNA ร่วมกับการสำรวจภาคสนามและฐานข้อมูลพันธุกรรมอ้างอิง	eDNA มีศักยภาพในการตรวจพบชนิดปลาที่พบบากหรือมีความซุกซมต่ำ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านฐานข้อมูลพันธุกรรมอ้างอิง การปนเปื้อน และการแปลผลเชิงปริมาณ	ควรพัฒนาฐานข้อมูลพันธุกรรมของปลาไทย และใช้ eDNA เป็นเครื่องมือเสริมควบคู่กับการสำรวจประชาคมปลาในภาคสนาม
การศึกษาประชาคมปลาในคลองบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ณัฐกิตติ, 2566)	ใช้ข้อมูลชนิดของปลา ความชุกชุม คุณภาพน้ำ และลักษณะถิ่นอาศัยของคลองและคลองส่งน้ำ	แสดงให้เห็นว่าคลองที่มีลักษณะถิ่นอาศัยย่อยต่างกันจะรองรับประชาคมปลาแตกต่างกัน และการประเมินแหล่งน้ำประเภทคลองควรพิจารณาความลึก การไหลเวียน และคุณภาพน้ำร่วมด้วย	ควรพัฒนาแนวทางประเมินแหล่งน้ำชุมชนและคลองเกษตรโดยใช้ตัวชี้วัดที่ไม่ซับซ้อน สามารถใช้ร่วมกับการติดตามของชุมชนได้
การศึกษาประชาคมปลาในพื้นที่รับน้ำและทุ่งน้ำหลาก อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ณัฐกิตติ, 2563)	ใช้ข้อมูลประชาคมปลา แหล่งอาหาร ความเชื่อมโยงของมวลน้ำ และลักษณะพื้นที่น้ำหลาก	ชี้ให้เห็นว่าการขาดความเชื่อมโยงระหว่างแม่น้ำกับพื้นที่น้ำหลากส่งผลต่อโครงสร้างประชาคมปลา แหล่งอาหาร และบทบาทของพื้นที่น้ำหลากในการเป็นแหล่งวางไข่และอนุบาลลูกปลา	ควรพัฒนาดัชนีที่ครอบคลุมความเชื่อมโยงทางอุทกวิทยา การพบปลาวัยอ่อน และบทบาทของพื้นที่น้ำหลากต่อวงจรชีวิตของปลา

หมายเหตุ : สังเคราะห์จากงานวิจัยและเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับ Fish-based IBI การใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพ eDNA ประชาคมปลาในลุ่มน้ำปิง พื้นที่ชุ่มน้ำ แหล่งน้ำชุมชน และพื้นที่น้ำหลากในประเทศไทย

จากการสังเคราะห์งานวิจัยในตารางที่ 2 พบว่าประเทศไทยมีการศึกษาประชาคมปลาและการประยุกต์ใช้ Fish-based IBI ในแหล่งน้ำหลายประเภททั้งพื้นที่ชุ่มน้ำ ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ คลองชุมชน แหล่งน้ำเกษตร และพื้นที่น้ำหลาก แต่ข้อมูลที่มีอยู่ยังมีลักษณะกระจายตามพื้นที่ศึกษา วัตถุประสงค์ของแต่ละโครงการ วิธีการเก็บตัวอย่าง และตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมิน จึงยังไม่เพียงพอต่อการพัฒนาเกณฑ์มาตรฐานระดับประเทศหรือระดับลุ่มน้ำได้โดยตรง ประเด็นที่ควรพัฒนา ได้แก่ การรวบรวมฐานข้อมูลประชาคมปลาในระยะยาว การจัดกลุ่มปลาชนิดอ่อนไหวและชนิดทนทานที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม

ของแต่ละลุ่มน้ำ การกำหนดเมตริกที่สอดคล้องกับประเภทของแหล่งน้ำ และการพัฒนามาตรฐานการสำรวจประชาคมปลาที่สามารถเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่และช่วงเวลาได้

9.1 การพัฒนา Fish-based IBI ให้สอดคล้องกับลักษณะของแหล่งน้ำเขตร้อน

การประยุกต์ใช้ Fish-based IBI ในระดับภูมิภาคเขตร้อนมีความท้าทายร่วมกันหลายประการ เนื่องจากแหล่งน้ำมักมีจำนวนชนิดของปลาสูง ได้รับอิทธิพลจากฤดูกาลมรสุมและมีรูปแบบถิ่นอาศัยหลายประเภท รวมทั้งข้อมูลประชาคมปลาในระยะยาวยังมีจำกัดเมื่อเทียบกับประเทศเขตอบอุ่น แนวคิด Fish-based IBI ซึ่งพัฒนาขึ้นจากลักษณะของลำธารและแม่น้ำในเขตอบอุ่นจึงไม่สามารถนำมาใช้กับแหล่งน้ำเขตร้อนได้โดยตรงจึงจำเป็นต้องปรับเมตริก เกณฑ์อ้างอิง วิธีการเก็บตัวอย่าง และการแปลผลให้สอดคล้องกับชนิดของปลา ฤดูกาล และประเภทของแหล่งน้ำในแต่ละพื้นที่ สำหรับประเทศไทยบทเรียนจากประเทศเขตร้อนอื่นชี้ให้เห็นว่าการพัฒนาดัชนีจากประชาคมปลาควรเริ่มจากฐานข้อมูลระดับลุ่มน้ำ การกำหนดแหล่งอ้างอิงหรือพื้นที่เปรียบเทียบที่เหมาะสม และการทดสอบความไวของเมตริกต่อแรงกดดันจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเปลี่ยนแปลงถิ่นอาศัย การเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ และการตัดขาดความเชื่อมโยงของแหล่งน้ำรวมทั้งการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรประมง ขั้นตอนดังกล่าวจะช่วยให้ Fish-based IBI มีความเหมาะสมกับลักษณะของแหล่งน้ำในประเทศไทยมากขึ้นก่อนนำไปใช้ในระบบติดตามคุณภาพแหล่งน้ำในวงกว้าง

9.2 การใช้ดีเอ็นเอสิ่งแวดล้อม (eDNA) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ร่วมกับการสำรวจประชาคมปลา

การพัฒนาในอนาคตควรมุ่งสู่ระบบการประเมินแบบบูรณาการที่มีประชาคมปลาเป็นข้อมูลหลัก และเชื่อมโยงกับข้อมูลคุณภาพน้ำ ถิ่นอาศัย ภูมิสารสนเทศ และความรู้ท้องถิ่น เพื่อให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำทำได้อย่างต่อเนื่องและนำไปใช้จัดการทรัพยากรได้จริง eDNA เป็นเครื่องมือที่ช่วยตรวจพบร่องรอยสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจากตัวอย่างน้ำหรือดินตะกอนโดยไม่ต้องจับตัวปลาโดยตรง จึงมีศักยภาพในการตรวจพบชนิดของปลาที่พบบาก มีความซุกซมต่ำ หรืออาศัยอยู่ในถิ่นอาศัยที่สำรวจด้วยเครื่องมือประมงได้ยาก (Thomsen & Willerslev, 2015; Xiong et al., 2022) ทั้งนี้ การใช้ eDNA ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น ความไม่สมบูรณ์ของฐานข้อมูลพันธุกรรมอ้างอิงของปลาไทย ความเสี่ยงของการปนเปื้อน การคงอยู่ของดีเอ็นเอในสิ่งแวดล้อม และความยากในการแปลผลข้อมูลเชิงปริมาณ รวมทั้งการใช้ eDNA ยังต้องอาศัยต้นทุน เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ บุคลากรเฉพาะทาง และฐานข้อมูลที่มีคุณภาพ ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดสำหรับหน่วยงานท้องถิ่นหรือสถาบันขนาดเล็ก

GIS และการสำรวจระยะไกลมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงข้อมูลแหล่งน้ำ ถิ่นอาศัย การใช้ประโยชน์ที่ดิน คุณภาพน้ำ และข้อมูลประชาคมปลาเข้ากับข้อมูลเชิงพื้นที่ ทำให้สามารถระบุพื้นที่ที่มีจำนวนชนิดของปลาสูง พื้นที่เสี่ยงต่อการเสื่อมโทรม แหล่งวางไข่ แหล่งอนุบาลลูกปลา และพื้นที่ที่ควรฟื้นฟูหรืออนุรักษ์ได้ (Allan & Castillo, 2007; Jaywant & Arif, 2024) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจาก GIS และการสำรวจระยะไกลควรใช้ร่วมกับข้อมูลภาคสนามเนื่องจากไม่สามารถอธิบายองค์ประกอบของประชาคมปลาได้โดยตรง ดังนั้น eDNA และ GIS จึงควรใช้เป็นเครื่องมือเสริมควบคู่กับการสำรวจประชาคมปลาในภาคสนามและไม่ควรใช้แทนการสำรวจภาคสนามทั้งหมด การบูรณาการข้อมูลจากเครื่องมือเหล่านี้จะช่วยเพิ่มความครอบคลุมของการติดตามแหล่งน้ำ รวมทั้งทำให้การประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจิตมีความแม่นยำและนำไปใช้จัดการพื้นที่ได้ดียิ่งขึ้น

9.3 การพัฒนาฐานข้อมูลกลางและมาตรฐานการสำรวจระดับลุ่มน้ำ

ประเทศไทยควรพัฒนาฐานข้อมูลกลางด้านประชาคมปลาและระบบนิเวศแหล่งน้ำจิต โดยอาศัยความร่วมมือระหว่างหน่วยงานทางด้านประมง ทรัพยากรน้ำ สิ่งแวดล้อม สถาบันการศึกษา และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ฐานข้อมูลดังกล่าวควรรวบรวมข้อมูลชนิดของปลา ความซุกซม โครงสร้างประชาคมปลา

คุณภาพน้ำ ลักษณะถิ่นอาศัย และข้อมูลภูมิสารสนเทศในระดับลุ่มน้ำ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาเกณฑ์อ้างอิง เมทริกที่เหมาะสมกับแหล่งน้ำแต่ละประเภท และมาตรฐานการสำรวจประชาคมปลาในระยะต่อไป การดำเนินงานอาจเริ่มจากพื้นที่นำร่องในลุ่มน้ำสำคัญหรือแหล่งน้ำที่มีข้อมูลเดิมอยู่แล้วก่อนขยายไปสู่ระบบติดตามระดับประเทศในอนาคต การมีส่วนร่วมของชุมชนและแนวทางวิทยาศาสตร์ภาคพลเมือง (citizen science) เป็นกลไกสำคัญในการติดตามแหล่งน้ำท้องถิ่น ชุมชนสามารถช่วยบันทึกรายชื่อปลาที่พบจากการทำประมงพื้นบ้าน รายงานการพบปลาต่างถิ่น การตายของปลา หรือปลาที่มีความผิดปกติ รวมถึงการติดตามคุณภาพน้ำเบื้องต้น เช่น สี กลิ่น และความโปร่งแสงของน้ำ งานวิจัยด้านการติดตามสิ่งแวดล้อมโดยชุมชนแสดงให้เห็นว่าการมีส่วนร่วมของประชาชนช่วยเพิ่มความครอบคลุมของข้อมูลทั้งด้านพื้นที่และเวลา และช่วยเชื่อมโยงข้อมูลทางวิทยาศาสตร์กับการจัดการน้ำในระดับพื้นที่ได้ดีขึ้น (Carlson & Cohen, 2018; Dominguez-Rendón et al., 2024) จากข้อสังเคราะห์ข้างต้นแนวทางในอนาคตของการประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดในประเทศไทยควรมุ่งสู่กรอบการประเมินแบบบูรณาการที่เชื่อมโยงข้อมูล 5 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) ประชาคมปลา 2) คุณภาพน้ำและถิ่นอาศัย 3) ข้อมูลทางชีวภาพที่สามารถใช้สนับสนุนอื่นเมื่อจำเป็น 4) ข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศ และ 5) ข้อมูลจากชุมชน การบูรณาการข้อมูลเหล่านี้จะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของการประเมินซึ่งทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำได้อย่างต่อเนื่อง และสนับสนุนการจัดการทรัพยากรน้ำและประมงน้ำจืดให้สอดคล้องกับลักษณะของแหล่งน้ำในประเทศไทย

10. บทสรุป

ประชาคมปลาเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด และมีศักยภาพสูงในการใช้เป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ สุขภาวะของแหล่งน้ำ และการเปลี่ยนแปลงจากแรงกดดันทางด้านสิ่งแวดล้อม การใช้ประชาคมปลาไม่ได้ให้ข้อมูลเพียงจำนวนปลาหรือผลผลิตทางการประมงเท่านั้น แต่ยังบ่งชี้องค์ประกอบชนิดของปลา สภาพถิ่นอาศัย โครงสร้างห่วงโซ่อาหาร ความเชื่อมโยงของระบบน้ำ และความสามารถของแหล่งน้ำในการรองรับวงจรชีวิตของปลาในระยะยาว การประเมินจึงควรใช้ตัวชี้วัดหลายด้านร่วมกัน เช่น จำนวนชนิดของปลา ความชุกชุม สัดส่วนปลาพื้นเมืองและปลาต่างถิ่น กลุ่มการกินอาหาร ปลาชนิดอ่อนไหว ปลาชนิดทนทาน โครงสร้างขนาด ช่วงวัย และภาวะสุขภาพของปลา เนื่องจากการพิจารณาเฉพาะจำนวนของปลาหรือผลจับต่อหน่วยลงแรงทำประมง (CPUE) เพียงอย่างเดียวอาจทำให้แปลผลคลาดเคลื่อนได้ โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่มีปลาชนิดทนทานหรือปลาต่างถิ่นเป็นกลุ่มเด่น ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด (Fish-based IBI) เป็นกรอบแนวคิดสำคัญที่ช่วยให้การประเมินสุขภาพของแหล่งน้ำด้วยประชาคมปลามีความเป็นระบบมากขึ้น โดยใช้เมทริกหลายด้านของประชาคมปลาและเปรียบเทียบกับสภาวะอ้างอิง ทั้งนี้ การนำ Fish-based IBI หรือดัชนีชีวภาพจากต่างประเทศมาใช้ในประเทศไทยควรปรับให้เหมาะสมกับชนิดของปลา ลักษณะถิ่นอาศัย ฤดูกาล ระบบอุทกวิทยา และรูปแบบการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำของแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้ประชาคมปลาในแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ห้วยน้ำหลาก แหล่งน้ำชุมชน และพื้นที่สำคัญต่อทรัพยากรประมง ควรคำนึงถึงข้อจำกัดด้านเครื่องมือจับปลา ฤดูกาล ความแตกต่างของถิ่นอาศัย การเคลื่อนที่ของปลา และความพร้อมของข้อมูลพื้นฐาน สำหรับอนาคตของการพัฒนาการใช้ประชาคมปลาเป็นดัชนีชีวภาพในประเทศไทยควรมุ่งสู่การประเมินแบบบูรณาการโดยใช้ข้อมูลประชาคมปลาร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำ สภาพถิ่นอาศัย สัตว์หน้าดิน ภูมิสารสนเทศ การใช้ประโยชน์พื้นที่ และข้อมูลจากชุมชน รวมถึงการใช้เทคโนโลยีดีเอ็นเอสิ่งแวดล้อม (eDNA) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นเครื่องมือเสริมควบคู่กับการสำรวจภาคสนาม แนวทางดังกล่าวจะช่วยยกระดับระบบติดตามและประเมินแหล่งน้ำจืดของประเทศไทยให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น รวมทั้งสนับสนุนการอนุรักษ์ชนิดพันธุ์ปลาน้ำจืด การฟื้นฟูแหล่งน้ำ และการจัดการทรัพยากรประมงน้ำจืดอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- ฐานันท์ พลดี. (2564). การประยุกต์การใช้ปลาเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำในลุ่มน้ำปิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2563). ประชาคมปลาในพื้นที่รับน้ำอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. รายงานวิจัย ฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2566). องค์ประกอบชนิดและการกระจายของปลาบริเวณคลองบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 28(3), 2018–2033.
- ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2569). องค์ประกอบอาหารของปลากระมัง *Puntioplites proctozyston* (Bleeker, 1865). *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 31(1), 289–304.
- สมศักดิ์ ระย่น และปราณีต งามเสน่ห์. (2561). ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 23(2), 928–943.
- สมศักดิ์ ระย่น และปราณีต งามเสน่ห์. (2563). การประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินคุณภาพพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร. *วารสารวิจัย*, 13(1), 59–70.
- Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream ecology: Structure and function of running waters* (2nd ed.). Springer.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish* (2nd ed.). U.S. Environmental Protection Agency.
- Carlson, T., & Cohen, A. (2018). Linking community-based monitoring to water policy: Perceptions of citizen scientists. *Journal of Environmental Management*, 219, 168–177.
- Dominguez-Rendón, E., Villada-Canela, M., & Muñoz-Pizza, D. M. (2024). Community strengthening through citizen monitoring of water quality: A systematic review. *PLOS ONE*, 19(7), Article e0305723.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A. H., Soto, D., Stiassny, M. L. J., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182.
- Fausch, K. D., Karr, J. R., & Yant, P. R. (1984). Regional application of an index of biotic integrity based on stream fish communities. *Transactions of the American Fisheries Society*, 113(1), 39–55.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241–253.
- Hughes, R. M., & Oberdorff, T. (1999). Applications of IBI concepts and metrics to waters outside the United States and Canada. In T. P. Simon (Ed.), *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities* (pp. 79–93). CRC Press.
- Hughes, R. M., Kaufmann, P. R., Herlihy, A. T., Kincaid, T. M., Reynolds, L., & Larsen, D. P. (1998). A process for developing and evaluating indices of fish assemblage integrity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(7), 1618–1631.

- Jaywant, S. A., & Arif, K. M. (2024). Remote sensing techniques for water quality monitoring: A review. *Sensors*, 24(24), Article 8041.
- Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106, 110–127.
- Karr, J. R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6), 21–27.
- Karr, J. R. (1991). Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Applications*, 1(1), 66–84.
- Karr, J. R., Fausch, K. D., Angermeier, P. L., Yant, P. R., & Schlosser, I. J. (1986). *Assessing biological integrity in running waters: A method and its rationale*. Illinois Natural History Survey.
- Le Cren, E. D. (1951). The length–weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch *Perca fluviatilis*. *Journal of Animal Ecology*, 20(2), 201–219.
- Matthews, W. J. (1998). *Patterns in freshwater fish ecology*. Chapman & Hall.
- Moyle, P. B., & Cech, J. J. (2004). *Fishes: An introduction to ichthyology* (5th ed.). Prentice Hall.
- Simon, T. P. (1999). *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities*. CRC Press.
- Thomsen, P. F., & Willerslev, E. (2015). Environmental DNA: An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation*, 183, 4–18.
- Welcomme, R. L. (2001). *Inland fisheries: Ecology and management*. Fishing News Books.
- Winemiller, K. O. (1990). Spatial and temporal variation in tropical fish trophic networks. *Ecological Monographs*, 60(3), 331–367.
- Winemiller, K. O., & Jepsen, D. B. (1998). Effects of seasonality and fish movement on tropical river food webs. *Journal of Fish Biology*, 53(Suppl. A), 267–296.
- Xiong, F., Shu, L., Zeng, H., Gan, X., He, S., & Peng, Z. (2022). Methodology for fish biodiversity monitoring with environmental DNA metabarcoding: The primers, databases and bioinformatic pipelines. *Water Biology and Security*, 1(1), Article 100007.