ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด

Fish-Based Index of Biological Integrity (IBI) for Freshwater Ecosystems

สมศักดิ์ ระยัน[1*] และ ปราณีต งามเสน่ห์[2]

Somsak Rayan[1*] and Praneet Ngamsnae[2]

[1]*คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร*

[2] *คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*

[1]*Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon Campus*

[2]*Faculty of Agriculture, Ubonratchathani University*

Received : 24 April 2018

Accepted : 20 June 2018

Published online : 9 July 2018

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพหลายชนิดกำลังได้รับความนิยมอย่างสูงในการนำไปใช้สนับสนุนข้อมูลทางวิชาการด้านการจัดการ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการวิจัยต่าง ๆ ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด (Fish-IBI) ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อต้นทศวรรษที่ 1980 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการจัดลำดับคุณภาพและสภาวะของถิ่นอาศัยในแหล่งน้ำ ดัชนีนี้กำหนดใช้คุณลักษณะของปลากลุ่มต่าง ๆ ที่สามารถสื่อความหมายสัมพันธ์กับสุขภาวะของสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงแบบมีทิศทางเมื่อได้รับการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ คุณลักษณะที่ใช้เป็นตัวชี้วัดเชิงปริมาณนี้เรียกว่า “เมทริก” (Metrics) ซึ่งครอบคลุมถึงความหลากชนิด แหล่งอาศัย สถานะในโครงสร้างการบริโภค หรือนิสัยการกินอาหารตามธรรมชาติสัดส่วนที่เป็นชนิดเด่น จำนวนชนิดที่อ่อนไหวและความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง และสภาวะการเป็นโรคของกลุ่มปลา รวมทั้งหมด 12 เมทริก ซึ่งจะสะท้อนการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพของสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ การกำหนดคะแนนของเมทริกที่นิยมใช้ คือ ระบบคะแนน 1 3 และ 5 คะแนน เมทริกที่ประเมินได้ค่าคะแนน 1 หมายถึง แหล่งน้ำนั้นถูกประเมินด้วยเมทริกนั้นว่ามีคุณภาพต่ำ ส่วนแหล่งน้ำที่มีคุณภาพปานกลางและคุณภาพดีจะมีค่าคะแนนสูงขึ้นเป็น 3 และ 5 คะแนน ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำที่ใช้อ้างอิง (Reference site) หลังจากได้คะแนนของแต่ละเมทริกแล้วนำมารวมกันเป็นค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ (Fish-IBI Score) ดัชนีความสมบูรณ์โดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดนี้ ผลคะแนนรวมจะมีค่าตั้งแต่ 12 ถึง 60 เกณฑ์การประเมินสถานภาพของแหล่งน้ำจะกำหนดเป็น 5 ระดับตามแนวทางของ Karr (1981) ได้แก่ ระดับยอดเยี่ยม ระดับดี ระดับปานกลาง ระดับเสื่อมโทรม และระดับเสื่อมโทรมมาก ตามลำดับ บทความนี้นำเสนอวิธีการของดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด และการประยุกต์ใช้โดยนักวิจัยต่าง ๆ โดยกล่าวถึงวิธีการ และอภิปรายผลประกอบในแต่ละกรณี

คำสำคัญ : ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ, ตัวชี้วัด, ตัวแปรทางชีวภาพ, คุณภาพแหล่งที่อยู่อาศัย

***Corresponding author. E-mail** : somsakry@gmail.com

Abstract

The Indices of Biotic Integrity (IBI) are becoming increasingly used as tools for providing scientific information for environmental impact assessment and further research. The Fish-based Index of Biotic Integrity (Fish-IBI) was developed in the early eighties as a tool to classify and rank the environmental quality of aquatic habitats. The Fish-IBI methodology was designed to use biological components (metrics) to determine the relative health of the aquatic environment. The metrics usually included measures of taxonomic richness, habitat and trophic guild composition, dominant species, intolerant and tolerant species, disease health or anomalies, totally 12 metrics. The main criteria for a metric are that it demonstrates a range of values across a gradient of environmental quality and is expected to be found in most aquatic ecosystems. The most common type of scoring for Fish-IBI is the 1-3-5 criteria. Poor habitat quality is scored as 1, moderate habitat quality is scored as 3 and good habitat quality is scored as 5, comparing to the reference site. Each Fish-IBI metric is scored individually and then summed together to create an overall Fish-IBI score for the study site. The overall Fish-IBI calculated ranged from 12 to 60, which can be used to determine the relative health of the site. Using the habitat quality ratings proposed by Karr (1981), the fish habitat ranged 5 levels across the sampling locations are very poor, poor, fair, good and excellent respectively. This paper reviewed the Fish-IBI methodology and the applications for assessing the aquatic ecosystem health, conducted by various researchers. In each case show and discuss on its application.

Keywords : Index of Biotic Integrity (IBI), indicator, metrics, habitat quality

บทนำ

การประเมินคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำนอกจากใช้ตัวชี้วัดทางกายภาพ และเคมีในการวัดคุณภาพน้ำแล้ว ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบการตรวจสอบโดยการใช้สิ่งมีชีวิตที่หลากหลายในน้ำเป็นดัชนีร่วมชี้วัดคุณภาพและระดับมลพิษของแหล่งน้ำ เป็นการเชื่อมโยงข้อมูลทางชีวภาพกับคุณภาพน้ำเพื่อบ่งชี้สุขภาวะของแหล่งน้ำ หลายประเทศในทวีปยุโรป อเมริกา และออสเตรเลีย ได้มีการเลือกสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่าง ๆ ตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ไดอะตอม พื้นท้องน้ำ สาหร่าย พรรณไม้น้ำ จนถึงสัตว์ขนาดใหญ่ คือ ปลา เป็นต้น (Ngamsnae, 2011) เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ วิธีการนี้มีประโยชน์มากเพราะเป็นการทดสอบสภาวะปัจจุบันของแหล่งน้ำที่เป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ เช่น พื้นที่ป่าต้นน้ำถูกบุกรุกทำลาย การปล่อยน้ำเสียจากแหล่งชุมชน เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมลงสู่แหล่งน้ำ และการขาดแคลนน้ำ เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อความหลากหลายของประชากรสิ่งมีชีวิตในน้ำตามอิทธิพลของกิจกรรมที่เกิดขึ้นเหล่านั้นเป็นการสะท้อนสถานการณ์จริงที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดัชนีชีวภาพจึงเป็นข้อมูลที่ใช้เสริมดัชนีทางเคมีและกายภาพได้เป็นอย่างดีและเห็นผลชัดเจน สามารถนำมาใช้ประกอบการจัดการคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ และเปิดโอกาสให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการเฝ้าระวังแหล่งน้ำได้ง่าย ตัวชี้วัดจึงเป็นสิ่งจำเป็นและนิยมใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามตรวจสอบดังกล่าว ในที่นี้จะกล่าวถึงแนวคิดและวิธีการใช้ปลาซึ่งมีวงชีวิตที่ยาวนาน สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในถิ่นอาศัยที่หลากหลาย มีขนาดใหญ่ และจัดจำแนกได้ถึงระดับชนิด ปลาจึงเป็นตัวชี้วัดที่สามารถบ่งบอกผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้

ความหมายของดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ

ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ (Index of Biological Integrity, หรือ IBI) ของระบบนิเวศแหล่งน้ำ คือ ค่าคะแนนที่ได้จากระบบการประเมินผลกระทบของกิจกรรมต่าง ๆ ที่เป็นผลจากการกระทำของมนุษย์ ที่ก่อให้เกิดมลภาวะขึ้นในแหล่งน้ำไม่ว่าจะเป็นลำธาร แม่น้ำ ทะเลสาบ หรือพื้นที่ชุ่มน้ำ เนื่องจากการประเมินด้วยตัวชี้วัดเชิงเดี่ยว (Single variable Index) ที่ผ่านมาไม่เพียงพอที่จะประเมินภาพรวมของผลกระทบทุกปัจจัย และไม่สามารถอธิบายถึงสาเหตุของสภาพความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศแหล่งน้ำได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการบูรณาการของตัวชี้วัดเชิงเดี่ยวหลาย ๆ ตัวเข้าเป็นหนึ่งดัชนีความสมบูรณ์โดยรวมของระบบ (Index of Biotic Integrity, IBI) จึงน่าจะสะท้อนสภาพของผลกระทบดังกล่าวได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Karr, 1981; Karr, 1991; Ngamsnae, 2011) ในการประเมินความสมบูรณ์ทางชีวภาพของแหล่งน้ำ ได้เริ่มต้นดำเนินการโดย Karr (1981) เพื่อใช้ในการอธิบายสภาพของแหล่งน้ำลำธารในมลรัฐ Illinois และ Indiana ประเทศสหรัฐอเมริกา (Karr, 1981) ต่อมามีการพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขสิ่งแวดล้อมและภูมิประเทศ จนได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางทั้งระดับประเทศและนานาชาติ ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ (IBI) สามารถใช้เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการประเมินผลกระทบที่เจาะจงเฉพาะพื้นที่ กำหนดวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน ประเมินประสิทธิภาพของการฟื้นฟู และการบริหารจัดการแหล่งน้ำ (Karr, 1991) ในที่นี้จะกล่าวถึงแนวคิดและวิธีการใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดในการติดตามตรวจสอบผลกระทบของกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ

แนวคิดของดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ

คุณลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เลือกใช้เป็นตัวแปรชีวภาพเพื่อประเมินค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ (IBI) นั้น ประกอบด้วยคุณลักษณะที่สามารถสื่อความหมายถึงคุณลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงแบบมีทิศทางที่คาดคะเนได้เมื่อได้รับการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งใช้คำเรียกว่าตัวแปรชีวภาพว่า “เมทริก” (Metrics) หลักการในการกำหนดเมทริก เพื่อพัฒนาดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ คือ การพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบนิเวศ ที่มีคุณลักษณะที่จะบ่งบอกถึงความสมดุลของระบบและเอื้อต่อการดำรงชีวิตต่อไปได้อย่างยั่งยืน คุณลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่นำมาใช้เป็นตัวแปรทางชีวภาพดังกล่าว ได้แก่ เมทริกที่บ่งบอกถึงความหลากชนิด จำนวนชนิดที่มีความอ่อนไหวและความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง สัดส่วนที่เป็นชนิดเด่น โครงสร้างการบริโภคหรือนิสัยการกินอาหารตามธรรมชาติของประชาคม และสุขลักษณะ หรือสภาวะการเป็นโรคของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ เป็นต้น เมทริกเหล่านี้จะมีคุณสมบัติตอบสนองอย่างชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำและสภาพแวดล้อม

การกำหนดว่าตัวแปรหรือเมทริกใดจะถูกเลือกใช้เป็นองค์ประกอบของดัชนีความความสมบูรณ์ทางชีวภาพนั้นทำได้โดยนำแต่ละค่าคะแนนของเมทริกมาสร้างกราฟเปรียบเทียบกับสัดส่วนความเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการรบกวนของมนุษย์ที่เกิดกับแหล่งน้ำที่ศึกษา และแหล่งน้ำที่ใช้เป็นสภาวะอ้างอิงซึ่งหมายถึงสภาวะของแหล่งน้ำที่ยังคงสภาพตามธรรมชาติที่เป็นแหล่งอาศัยของสิ่งมีชีวิต โดยเป็นตัวแทนของกลุ่มสถานีที่ถูกรบกวนน้อยสุด หรือสภาวะที่ดีที่สุดเท่าที่หาได้ (Reynoldson *et al*., 1997) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการประเมิน เมทริกที่แสดงผลแตกต่างจากสถานีอ้างอิง (reference sites) อย่างชัดเจนไม่ว่าจะสูงกว่าหรือต่ำกว่าจะถูกเลือกรวมเป็นเมทริกองค์ประกอบของ IBI ตามลำดับ (Barbour *et al*., 1996)

การรวมเมทริกแบบนี้เป็นการรวมที่สะท้อนคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของระบบนิเวศแบบบูรณาการ ซึ่งเป็นการรวมผลการประเมินที่มีความสำคัญด้านนิเวศวิทยาของหลาย ๆ เมทริกเป็นดัชนีเดียวเพื่อให้ได้ดัชนีที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ Buffagni *et al*. (2004) ได้อธิบายว่าแนวคิดแบบเมทริกรวมมีความเหมาะสมในการประเมินทางนิเวศวิทยาและสามารถอธิบายคุณสมบัติทางชีวภาพได้ดีกว่าการใช้เมทริกเดี่ยว ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพจึงเป็นผลของการรวมตัวแปรทางชีวภาพของหลายเมทริกให้เป็นตัวเลขเพียงค่าเดียว และที่สำคัญดัชนีที่พัฒนาจากแนวคิดแบบเมทริกรวมเป็นดัชนี

ที่มีการบ่งชี้ได้ในสภาวะการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับแหล่งที่อยู่อาศัย (Gabriels *et al*., 2005) ทำให้สามารถประยุกต์ใช้ได้ในหลายภูมิภาคของโลก

ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด

ปลาเป็นสิ่งมีชีวิตที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำเนื่องจากปลาอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำได้หลากหลาย อาทิเช่น ปลาที่ดำรงชีวิตอยู่ตามแหล่งน้ำไหล เช่น น้ำตก ลำธาร ไปจนถึงปลาที่อยู่ในแหล่งน้ำนิ่ง เช่น อ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ หนอง บึง ปลาบางชนิดอาศัยอยู่ในน้ำลึกที่มีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ต่ำ ในขณะที่บางกลุ่มดำรงชีวิตอยู่บริเวณผิวน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่สูง ประกอบกับวงจรชีวิตที่ยาวนานเมื่อเทียบกับสัตว์น้ำชนิดอื่น ดังนั้น ปลาจึงสามารถบ่งบอกถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ เหตุผลสำคัญอีกที่ประการหนึ่งที่ทำให้ปลาถูกนำมาใช้ในการประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำ คือ การจำแนกชนิดปลาที่พบตามแหล่งน้ำต่าง ๆ นั้นสามารถทำได้โดยง่าย เนื่องจากปลามีขนาดใหญ่ สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Karr, 1981; Karr,1991) เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ที่มีขนาดเล็กจนบางครั้งสายตามนุษย์ไม่สามารถแยกแยะรายละเอียดและความแตกต่างได้อย่างชัดเจนจนต้องใช้แว่นขยายหรือกล้องจุลทรรศน์เข้ามาช่วย ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ทำให้ไม่สะดวกและยุ่งยากในการเคลื่อนย้าย ปลาจึงเป็นสิ่งมีชีวิตในน้ำกลุ่มแรก ๆ ที่มีการศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นดัชนีชีวภาพ และในปัจจุบันก็ยังคงนิยมกันอยู่

การกำหนดกลุ่มเมทริกของปลา

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดเกิดจากแนวคิดแบบเมทริกรวมถูกพัฒนาโดย Karr (1981) ฉะนั้นการกำหนดเมทริกเพื่อพัฒนาเป็นดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ (IBI) จึงเป็นการพิจารณาจากเมทริกที่เป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ของประชาคมปลาในระบบนิเวศแหล่งน้ำที่ศึกษาที่มีคุณลักษณะที่จะบ่งบอกถึงความความสมดุลของระบบ และเอื้อต่อการดำรงชีวิตต่อไปได้อย่างยั่งยืน เมทริกดังกล่าว ได้แก่ เมทริกที่บ่งบอกถึงความหลากของชนิด เมทริกที่มีความอ่อนไหวและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง เมทริกที่แสดงถึงความชุกชุม เมทริกทางโครงสร้างการบริโภคหรือนิสัยการกินอาหารตามธรรมชาติ และเมทริกด้านสุขลักษณะหรือสภาวะการเป็นโรคของสิ่งมีชีวิต เป็นต้น (Ngamsnae, 2011) ค่าคะแนนที่ได้จากการประเมินความสมบูรณ์ทางชีวภาพมีการคัดเลือกจาก เมทริกเหล่านี้จะสะท้อนให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศของแหล่งน้ำ เพราะว่าเมทริกหรือตัวแปรทางชีวภาพเหล่านี้จะมีคุณสมบัติตอบสนองอย่างชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำทั้งการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำและการเลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการเลือกเมทริกที่เป็นองค์ประกอบของดัชนี IBI ของแต่ละพื้นที่จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของชุมชนสิ่งมีชีวิตในพื้นที่นั้น ๆ อาจจะไม่เหมือนกันทุกองค์ประกอบเสมอไปซึ่งต้องเริ่มพัฒนาโดยเริ่มจากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศของพื้นที่เป้าหมายเปรียบเทียบกับพื้นที่อ้างอิง

การกำหนดกลุ่มเมทริกปลาตามหลักการของ Karr (1981)

Karr (1981) ได้จัดกลุ่มเมทริกของปลาออกเป็น 3 กลุ่ม (ตารางที่ 1) ได้แก่

กลุ่มที่หนึ่ง กลุ่มเมทริกทางด้านองค์ประกอบความหลากหลาย (Species richness and composition) กลุ่มตัวชี้วัดนี้เป็นการประเมินความมากชนิดของปลาในพื้นที่ประเมินเปรียบเทียบกับพื้นที่อ้างอิง ประกอบด้วย 6 เมทริก ได้แก่

1) จำนวนชนิดปลาทั้งหมด (Total number of fish species: Native fish species)

2) จำนวนชนิดปลาที่มีพฤติกรรมอาศัยอยู่พื้นท้องน้ำกินสัตว์หน้าดินเป็นอาหาร (Number and identity of darter species: Benthic species)

3) จำนวนชนิดปลาที่มีพฤติกรรมอาศัยอยู่กลางน้ำ (Number and identity of sunfish species: Water-column species)

4) จำนวนชนิดปลาที่มีอายุยืนยาว (Number and identity of sucker species: Long-live species)

5) จำนวนชนิดปลาที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง (Number and identity of intolerance species)

6) ร้อยละของจำนวนปลาที่มีความทนทาน (Percentage of individuals as green sunfish: Tolerance species)

การเปลี่ยนแปลงหรือการลดลงของความมากชนิด จำนวนชนิด หรือจำนวนประชากรของปลาในกลุ่มนี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแต่ละภูมิภาค และขนาดของแหล่งน้ำที่ทำการประเมิน

กลุ่มที่สอง กลุ่มเมทริกทางด้านองค์ประกอบการกินอาหาร กลุ่มตัวชี้วัดกลุ่มนี้สามารถประเมินจากพื้นฐานการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง และชุมชนปลาที่กินอาหารในระบบห่วงโซ่อาหารของแหล่งน้ำ โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชุมชนปลาในแหล่งน้ำที่เกิดมลภาวะเพิ่มขึ้นสัดส่วนของกลุ่มปลากินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร (Omnivores) ซึ่งสามารถกินอาหารได้หลากหลายในแหล่งน้ำจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่สัดส่วนของปลาที่กินแมลงน้ำ (Insectivores) และสัดส่วนของปลาที่เป็นผู้ล่า (Top carnivores) จะลดลง กลุ่มเมทริกนี้ประกอบด้วย 3 เมทริก ได้แก่

1) ร้อยละของจำนวนปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร (Percentage of individuals as omnivores)

2) ร้อยละของจำนวนกลุ่มปลาตะเพียนที่กินแมลงเป็นอาหาร (Percentage of individuals as insectivorous cyprinids: Insectivores)

3) ร้อยละจำนวนตัวของปลาที่เป็นผู้ล่า (Percentage of individuals as piscivores: Top carnivores)

กลุ่มที่สาม กลุ่มเมทริกทางด้านความชุกชุมและกลุ่มเมทริกตามสภาพเงื่อนไข กลุ่มตัวชี้วัดนี้จะใช้เพื่อประเมินความหนาแน่นของประชากรปลาในแหล่งน้ำ จำนวนปลาที่สามารถสุ่มเก็บตัวอย่างมีความสำคัญในการประเมินเนื่องจากการลดลงของความชุกชุมปลาเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่ประเมิน ส่วนกลุ่มตัวชี้วัดตามสภาพเงื่อนไข เช่น ตัวชี้วัดปลาลูกผสมที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อแหล่งที่อยู่อาศัยของปลาพื้นถิ่น และตัวชี้วัดปลาที่แสดงอาการผิดปกติการเพิ่มขึ้นของปลาที่มีอาการผิดปกติบ่งชี้ถึงผลกระทบจากความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ กลุ่มนี้ประกอบด้วย 3 เมทริก ได้แก่

1) จำนวนตัวปลาทั้งหมดของตัวอย่าง (Number of individuals in sample)

2) ร้อยละของจำนวนปลาลูกผสม (Percentage of individuals as hybrids: Exotics, or Simple lithophils)

3) ร้อยละของจำนวนปลาที่แสดงอาการป่วย (Percentage of individuals as with diseases, tumors, fin damage and skeletal anomalies)

ทั้งนี้คุณลักษณะของแต่ละเมทริกสามารถแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง และองค์ประกอบของชุมชนปลาในระบบนิเวศแหล่งน้ำ ความไวต่อการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของแต่ละตัวชี้วัดเหล่านี้จะแตกต่างกันตามพื้นที่ของแต่ละภูมิภาค (Angermeier and Karr, 1986; Karr *et al.,* 1986; Steedman, 1988) โดยเฉพาะเมทริกที่มีการตอบสนองที่ไวต่อการถูกรบกวน เช่น การตกตะกอน การเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำ และการมีสารพิษในแหล่งน้ำ (Karr, 1991) สอดคล้องกับรายงานการลดลงของจำนวนชนิดปลาและเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างตามพฤติกรรมการกินอาหารของปลาโดยจำนวนปลาที่กินพืชและสัตว์เป็นอาหารเพิ่มขึ้น เป็นผลกระทบจากน้ำเสียของชุมชนที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ (Karr *et al*., 1985) ผลกระทบที่เกิดจากการตกตะกอน และการลดลงของแหล่งที่อยู่อาศัยทำให้จำนวนชนิดปลาที่กินสัตว์หน้าดินเป็นอาหารลดลง (Karr, 1991) ในสภาพแหล่งน้ำที่เกิดความเสื่อมโทรมระดับสูง การใช้ตัวแปรชีวภาพหลาย ๆ ตัวแปรในรูปแบบของดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพสามารถสะท้อนภาพให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศแหล่งน้ำได้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการกำหนดคะแนนตามระบบ 1 3 และ 5 ของ 12 เมทริก ในการประเมินดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด ดัดแปลงจาก Karr (1981) และ Karr *et al*. (1986)

เมทริก	**เกณฑ์**		
	5	3	1
กลุ่มเมทริกทางด้านองค์ประกอบความหลากหลาย			
1. จำนวนชนิดปลาทั้งหมด (หรือจำนวนชนิดปลาพื้นถิ่น)	เกณฑ์ของเมทริกที่ 1-5 สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาด และภูมิภาคของแหล่งน้ำ		
2. จำนวนชนิดปลาที่มีพฤติกรรมอาศัยอยู่พื้นท้องน้ำกินสัตว์หน้าดินเป็นอาหาร			
3. จำนวนชนิดปลาที่มีพฤติกรรมอาศัยกลางน้ำ			
4. จำนวนชนิดปลาที่มีอายุยืนยาว			
5. จำนวนชนิดปลาที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง			
6. ร้อยละของจำนวนปลาที่มีความทนทาน	<5	5-20	>20
กลุ่มเมทริกทางด้านองค์ประกอบการกินอาหาร			
7. ร้อยละของจำนวนปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร	<20	20-45	>45
8. ร้อยละของจำนวนกลุ่มวงศ์ปลาตะเพียนที่กินแมลงน้ำเป็นอาหาร	>45	45-20	<20
9. ร้อยละจำนวนตัวของปลาที่เป็นผู้ล่า	> 5	5-1	< 1
กลุ่มเมทริกทางด้านความชุกชุมและกลุ่มเมทริกตามสภาพเงื่อนไข			
10. จำนวนตัวปลาทั้งหมดของตัวอย่าง	เกณฑ์ของเมทริกที่ 10 สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดของแหล่งน้ำ		
11.ร้อยละของจำนวนปลาลูกผสม	0	> 0-1	> 1
12. ร้อยละของจำนวนปลาที่แสดงอาการป่วย	0-2	>2-5	>5

ความต้องการที่จะตรวจวัดการตอบสนองทางชีวภาพต่อผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ในแหล่งน้ำ คือ วัตถุประสงค์หลักของแนวคิดของ Karr (1981) ที่ริเริ่มพัฒนาดัชนี IBI ถึงแม้จะได้รับการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง แต่วิธีการเลือกเมทริกที่เป็นองค์ประกอบของดัชนี IBI ของแต่ละพื้นที่จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของชุมชนสิ่งมีชีวิตในพื้นที่เหล่านั้นอาจจะไม่เหมือนกันทุกองค์ประกอบ ซึ่งต้องเริ่มพัฒนาโดยเริ่มจากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศของพื้นที่เป้าหมายเปรียบเทียบกับพื้นที่อ้างอิง (Ngamsnae, 2011) ตัวอย่างเมทริกของประชากรปลาสำหรับการประเมิน IBI ของพื้นที่ชุ่มน้ำที่ประยุกต์จากแนวคิดของ Karr (1981) แล้วปรับองค์ประกอบให้สอดคล้องกับแหล่งน้ำนิ่ง คือ พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) โดย Teels *et al*. (2004) กำหนดตัวแปรชีวภาพโดยใช้ลักษณะของประชาคมปลาเป็นตัวชี้วัดจำนวน 12 เมทริก มีรายละเอียดและหลักการดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เมทริกของกลุ่มชนิดปลาสำหรับการประเมินดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำ ดัดแปลงจาก Teels *et al*. (2004)

เมทริก	รายละเอียด/องค์ประกอบ
1. **จำนวนชนิดปลาทั้งหมด**	● เมทริกนี้ได้แก่จำนวนชนิดปลาพื้นถิ่น ไม่รวมปลาลูกผสมหรือปลาต่างถิ่น จำนวนชนิดปลาทั้งหมดหรือจำนวนชนิดของปลาพื้นถิ่นในพื้นที่ประเมิน ควรจะมีจำนวนใกล้เคียงกับสถานีอ้างอิง โดยจำนวนชนิดปลาจะลดลงตามความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศแหล่งน้ำ
2. **จำนวนชนิดปลาที่ชอบอาศัยอยู่พื้นท้องน้ำกินสัตว์หน้าดินเป็นอาหาร**	● เมทริกนี้เป็นกลุ่มปลาที่มีพฤติกรรมการหากินอาหารและผสมพันธุ์วางไข่ตามพื้นน้ำ มีความต้องการออกซิเจนระดับสูง และมีความอ่อนไหวต่อผลกระทบที่เกิดจากตกตะกอนบนพื้นน้ำที่เป็นแหล่งอาศัย โดยเฉพาะกรณีการสร้างสิ่งกีดขวางลำน้ำจากระบบนิเวศน้ำไหลเป็นระบบนิเวศน้ำนิ่ง ปลาในกลุ่มนี้จะสูญหายไปจากระบบนิเวศ ตัวแปรชีวภาพนี้สามารถใช้ในการแบ่งแยกแหล่งน้ำที่มีคุณภาพยอดเยี่ยมกับคุณภาพปานกลาง
3. **จำนวนชนิดปลาที่ชอบอาศัยกลางน้ำ**	● เมทริกนี้เป็นกลุ่มปลาที่อาศัยอยู่กลางน้ำตามแอ่งน้ำนิ่ง ประชากรของปลาจะลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของที่หลบซ่อนในแหล่งน้ำ มีพฤติกรรมการกินอาหารตามผิวน้ำ สามารถว่ายน้ำได้อย่างคล่องแคล่ว ตัวอย่างปลาในกลุ่ม sunfish species ได้แก่ ปลาในวงศ์ปลาตะเพียน (cyprinidae) ปลาที่อาศัยอยู่กลางน้ำ (water column species) ปลาที่อาศัยตามแหล่งต้นน้ำ (headwater species) ปลาเทราท์ และปลาแซลมอน เป็นต้น
4. **จำนวนชนิดปลาที่มีอายุยืนยาว**	● เมทริกนี้เป็นกลุ่มปลาที่อยู่ในแหล่งที่อยู่อาศัยที่มีคุณภาพน้ำที่ดี มักอาศัยอยู่ตามพื้นท้องน้ำที่เป็นกรวด หากินสัตว์หน้าดินเป็นอาหาร และมีอายุยืนยาว ปลาในกลุ่มนี้จะมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม ตัวแปรชีวภาพนี้สามารถใช้ในการแบ่งแยกแหล่งน้ำที่มีคุณภาพยอดเยี่ยมกับคุณภาพปานกลาง
5. **จำนวนชนิดปลาที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง**	● เมทริกนี้เป็นจำนวนชนิดปลาที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำโดยเฉพาะการตกตะกอน การเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ และสภาวะการขาดออกซิเจนที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งปลากลุ่มที่มีความอ่อนไหวจะเป็นกลุ่มแรกที่หายไปจากแหล่งน้ำเมื่อเกิดมลพิษ โดยปกติปลากลุ่มนี้ควรจะมีประมาณร้อยละ 5-10 ของปลาทั้งหมด ตัวแปรชีวภาพนี้จะช่วยแบ่งแยกระหว่างแหล่งน้ำที่มีคุณภาพระดับยอดเยี่ยมกับระดับปานกลาง
6. **ร้อยละของจำนวนปลาที่มีความทนทาน**	● เมทริกนี้แสดงค่าร้อยละของปลากลุ่มที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำได้สูง โดยปลากลุ่มนี้จะมีจำนวนมากขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำทั้งกายภาพ และเคมีเสื่อมโทรม ปลากลุ่มนี้จะเป็นปลาชนิดเด่นขึ้นมาแทนปลากลุ่มเดิม เมทริกนี้สามารถใช้แบ่งแยกระหว่างแหล่งน้ำที่มีคุณภาพระดับปานกลางกับคุณภาพระดับต่ำ
7. **ร้อยละของจำนวนปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร**	● เมทริกนี้แสดงร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร ซึ่งปลากลุ่มนี้สามารถปรับตัวตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี กินอาหารได้หลากหลาย โดยประชากรของปลากลุ่มนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำทั้งทางกายภาพ และเคมีเสื่อมโทรม เมทริกนี้สามารถใช้แบ่งแยกระหว่างแหล่งน้ำที่มีคุณภาพระดับปานกลางกับคุณภาพระดับต่ำ

ตารางที่ 2 (ต่อ) เมทริกของกลุ่มชนิดปลาสำหรับการประเมินดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำ ดัดแปลงจาก Teels *et al*. (2004)

เมทริก	รายละเอียด/องค์ประกอบ
8. ร้อยละของจำนวนกลุ่มปลาตะเพียนที่กินสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังเป็นอาหาร	● เมทริกที่แสดงร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารที่เป็นสัตว์หน้าดิน (Benthic) และรวมถึงจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารที่เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยปลาในกลุ่มนี้จะลดลงเมื่อสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรม
9. ร้อยละจำนวนตัวของปลาที่เป็นผู้ล่า	● เมทริกนี้แสดงร้อยละของจำนวนตัวของปลาที่เป็นผู้ล่า หรือปลากลุ่มที่มีพฤติกรรมกินสัตว์อื่นเป็นอาหาร โดยปลาในกลุ่มนี้จะลดลงเมื่อสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรม ปลากลุ่มนี้สามารถใช้แยกความแตกต่างของแหล่งน้ำที่มีคุณภาพยอดเยี่ยมกับคุณภาพปานกลาง
10. จำนวนตัวปลาทั้งหมดของตัวอย่าง	● เมทริกนี้ใช้ประเมินความหนาแน่นหรือความชุกชุมของประชากรปลาในแหล่งน้ำ จำนวนปลาที่สามารถสุ่มเก็บตัวอย่างมีความสำคัญต่อการประเมินเนื่องจากการลดลงของความชุกชุมปลาเป็นผลกระทบที่เกิดจากความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำที่ประเมิน นอกจากใช้จำนวนตัวปลาทั้งหมดแล้ว เมทริกนี้สามารถประเมินได้บนพื้นฐานผลการจับต่อหน่วยแรงลงทุน (Catch Per Unit Effort : CPUE) เช่น จำนวนต่อพื้นที่และจำนวนต่อเวลา เป็นต้น
11. ร้อยละของจำนวนปลาลูกผสม	●เมทริกนี้แสดงร้อยละของจำนวนปลาลูกผสม หรือปลาต่างถิ่นที่สามารถอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่ประเมิน การเพิ่มขึ้นของปลาในกลุ่มนี้แสดงถึงสภาพแวดล้อมเกิดความเสื่อมโทรม โดยเมทริกนี้ใช้แยกความแตกต่างระหว่างแหล่งน้ำที่มีคุณภาพปานกลางกับคุณภาพต่ำ
12. ร้อยละของจำนวนปลาที่แสดงอาการป่วยหรือผิดปกติ	● เมทริกนี้แสดงร้อยละของจำนวนปลาที่แสดงอาการป่วย หรือมีลักษณะผิดปกติที่สามารถสังเกตได้ เช่น มีการติดเชื้อโรค ตัวบวม ครีบหลุด มีบาดแผล เมทริกนี้จะแสดงให้เห็นถึงสภาวะทางสุขลักษณะของแหล่งน้ำ ปลาที่มีลักษณะผิดปกติจะไม่พบในแหล่งน้ำเปรียบเทียบ หรือสถานีอ้างอิง

ระบบการกำหนดคะแนนของเมทริก

ระบบการให้คะแนนแต่ละเมทริกหลังจากการจัดกลุ่มตัวอย่างที่จำแนกได้ตามประเภทของกลุ่มตัวแปรชีวภาพ เช่น ชนิด นับจำนวน และคำนวณค่าสัดส่วนร้อยละ เป็นต้น แล้วพิจารณากำหนดค่าคะแนนของแต่ละเมทริกโดยใช้ระบบคะแนน 1 3 และ 5 คะแนน อ้างอิงตามวิธีของ Karr *et al*. (1986) ใช้วิธีการแบ่งสามส่วน (trisection) โดยแบ่งข้อมูลสิ่งมีชีวิตแต่ละเมทริกที่สำรวจได้ออกเป็นสามส่วนที่มีความสัมพันธ์กับระดับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้น เมทริกที่ได้คะแนนระดับ 5 แสดงถึงมีสิ่งมีชีวิตเท่ากับ หรือใกล้เคียงกับสถานีอ้างอิงที่มีความสมบูรณ์ทางธรรมชาติสูง เมทริกที่ได้คะแนนระดับ 3 แสดงถึงมีสิ่งมีชีวิตเบี่ยงเบน หรือแตกต่างจากสถานีอ้างอิง และเมทริกที่ได้คะแนนระดับ 1 แสดงถึงการมีสิ่งมีชีวิตแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสถานีอ้างอิง

ระบบการให้คะแนนเมทริกรวมเป็นคะแนนรวมดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ นอกจากเกณฑ์ของระบบคะแนน 1 3 และ 5 ที่เรียกว่าวิธีการให้ค่าคะแนนแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete scoring method) ยังมีวิธีการให้ค่าคะแนนอีกระบบหนึ่งคือ วิธีการให้ค่าคะแนนแบบต่อเนื่อง (Continuous scoring method) รายละเอียดของการให้คะแนนแบบนี้ได้นำเสนอโดย Barbour *et al*. (1996) โดยใช้หลักการปรับมาตรฐานคะแนนของเมทริกโดยใช้ค่าคะแนนสูงสุดเท่ากับ 100 ค่าคะแนนของแต่ละเมทริกจะเรียงจากน้อยที่สุด 0 คะแนน (สภาวะเสื่อมโทรม) จนถึงมากที่สุด 100 คะแนน (สภาวะดีมาก) ในการคำนวณค่าคะแนนมาตรฐานของแต่ละตัวอย่างในแต่ละเมทริก พิจารณาจากทิศทางการตอบสนองต่อ

สภาวะกดดันของสภาวะแวดล้อมเช่นเดียวกันกับวิธีการให้ค่าคะแนนแบบไม่ต่อเนื่องโดยอ้างอิงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 หรือเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ขึ้นอยู่กับทิศทางการสภาวะกดดันในทิศทางที่เพิ่มขึ้นเมื่อสถานีมีคุณภาพเสื่อมลง จะคำนวณจากค่าของเมทริกที่อยู่ระหว่างค่ามากที่สุด และการตอบสนองของเมทริก ถ้าเมทริกมีการตอบสนองในทิศทางที่ลดลงเมื่อคุณภาพของสถานีนั้นเสื่อมสภาพลงจะพิจารณาใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของเมทริกในการกำหนดค่าคะแนน 100 คะแนน ในทางตรงข้ามเมทริกที่มีการตอบสนองต่อค่าที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ค่าคะแนนที่ให้จะอยู่ระหว่างสภาวะเสื่อมโทรม 0 คะแนน และสภาวะดีมากคือ 100 คะแนน

การรวมเมทริกและการแปลผลดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ (IBI Score)

หลังจากได้คะแนนของ 12 เมทริก นำมารวมกันเป็นค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ (IBI Score) เพื่อใช้ในการประเมินสถานภาพแหล่งน้ำ ดัชนีความสมบูรณ์โดยใช้ปลาเป็นองค์ประกอบ (Fish-IBI) ผลคะแนนรวมที่ได้จะมีค่าตั้งแต่ 12 ถึง 60 การประเมินสถานภาพของแหล่งน้ำจะกำหนดเกณฑ์การประเมินสภาวะแหล่งน้ำเป็น 5 เกณฑ์ เพื่อให้สามารถเข้าใจง่ายได้แก่ ระดับยอดเยี่ยม (Excellent = 51-60 คะแนน) ระดับดี (Good = 41-50 คะแนน) ระดับปานกลาง (Fair = 31-40 คะแนน) ระดับเสื่อมโทรม (Poor = 21-30 คะแนน) และระดับเสื่อมโทรมมาก (Very poor = 12-20 คะแนน) โดย Karr (1981) ได้นำเสนอโดยละเอียดของคุณลักษณะแหล่งน้ำที่มีค่า IBI Score ทั้ง 5 ระดับ ในด้านต่าง ๆ เช่น ความหลากชนิดของสิ่งมีชีวิต โครงสร้างประชากร ตลอดจนมลภาวะต่าง ๆ ดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลรวมดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพและระดับการรายงานผลคุณภาพแหล่งน้ำ (ดัดแปลงจาก Karr, 1981)

คะแนนรวม IBI	**ระดับคุณภาพแหล่งน้ำ**	**คุณลักษณะแหล่งน้ำ**
51-60	ระดับดีเยี่ยม (Excellent)	แสดงถึงการมีจำนวนสิ่งมีชีวิตที่มีความหลากหลายชนิด และมีองค์ประกอบของกลุ่มสิ่งมีชีวิตใกล้เคียงกับสถานีอ้างอิง พบปลาที่มีความอ่อนไหวมาก ปลาตามโครงสร้างการกินอาหารสมดุลย์ แสดงว่าระบบนิเวศมีสมดุลย์ หรือได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์น้อยมาก
41-50	ระดับดี (Good)	แสดงถึงการลดลงของความมากชนิดของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะการลดลงของสิ่งมีชีวิตที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง ชนิด และขนาดของสิ่งมีชีวิตลดลง ความชุกชุมและการแพร่กระจายเปลี่ยนแปลง สัดส่วนปลาตามโครงสร้างการกินอาหารเริ่มเปลี่ยนแปลงลดลงกว่าระดับที่เหมาะสมซึ่งเกิดจากผลกระทบที่เพิ่มขึ้น
31-40	ระดับปานกลาง (Fair)	แสดงถึงความสมดุลของระบบนิเวศเริ่มสูญเสีย สิ่งมีชีวิตที่มีความอ่อนไหวลดลง จำนวนชนิดลดลง สัดส่วนโครงสร้างตามการกินอาหารเปลี่ยนแปลง และกลุ่มที่ทนทานปรับตัวได้ง่ายเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 (ต่อ) ผลรวมดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพและระดับการรายงานผลคุณภาพแหล่งน้ำ (ดัดแปลงจาก Karr, 1981)

คะแนนรวม IBI	**ระดับคุณภาพแหล่งน้ำ**	**คุณลักษณะแหล่งน้ำ**
21-30	ระดับเสื่อมโทรม (Poor)	แสดงถึงการลดลงของความหลากชนิดของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ปรับตัวได้ง่าย กินอาหารได้หลากหลาย และมีความทนทานเพิ่มจำนวนขึ้น และเป็นชนิดเด่น และอาจพบสิ่งมีชีวิตที่แสดงอาการเป็นโรคหรือป่วยได้
12-20	ระดับเสื่อมโทรมมาก (Very poor)	แสดงถึงการสูญเสียความหลากชนิดของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ระดับความชุกชุมสัมพัทธ์ต่ำมาก พบสิ่งมีชีวิตชนิดที่มีความทนทาน ชนิดต่างถิ่น และชนิดลูกผสมจำนวนมาก และสามารถพบสิ่งมีชีวิตที่เป็นโรคหรือป่วยได้
ไม่มีคะแนน	ไม่พบสิ่งมีชีวิต	สุ่มตัวอย่างซ้ำอีกครั้ง

ผลรวมของคะแนนดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพที่ต่ำแสดงถึงความหลากพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตที่ต่ำ สิ่งมีชีวิตที่มีอยู่นั้นส่วนใหญ่จะปรับตัวให้ทนทานต่อมลภาวะได้อย่างชัดเจน ส่วนผลรวมคะแนนดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพที่สูง (ระดับยอดเยี่ยม) หมายถึง การมีจำนวนสิ่งมีชีวิตที่มีความหลากหลายชนิด และมีองค์ประกอบของกลุ่มสิ่งมีชีวิตใกล้เคียงกับสถานีอ้างอิง แสดงว่าแหล่งน้ำมีความสมบูรณ์ หรือได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์น้อย (Karr, 1991) ผลรวมของคะแนนสามารถอธิบายรายละเอียดได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนชนิดปลา การเปลี่ยนแปลงของชนิดปลาตามโครงสร้างการกินอาหาร การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของชนิดปลาที่มีความอ่อนไหวหรือชนิดปลาที่มีความทนทาน ความชุกชุมของประชากรปลา ตลอดจนการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปลาที่ผิดปกติ รวมทั้งรายละเอียดของสิ่งที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศของแหล่งน้ำได้ จะเห็นได้ว่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพสามารถใช้ประโยชน์เพื่อ 1) ประเมินสถานภาพของพื้นที่ในสภาวะปัจจุบัน 2) ตรวจสอบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มเก็บตามช่วงเวลาและพื้นที่ 3) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่จากข้อมูลที่มีการรายงานในอดีตเปรียบเทียบกับปัจจุบัน และ 4) สามารถใช้เป็นผลสรุปของการเสื่อมสภาพของพื้นที่ประเมิน (Karr *et al.,* 1986)

การประเมินประสิทธิภาพของดัชนี (Verification of IBI)

การประเมินประสิทธิภาพหรือความเชื่อมั่นของดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพขั้นสุดท้ายเป็นสิ่งที่จำเป็น ซึ่งสามารถทำได้โดยการประเมินจากสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างดัชนีขั้นสุดท้ายและข้อมูลของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมได้เช่น ปัจจัยทางกายภาพ เคมี และคะแนนรวมคุณภาพแหล่งน้ำที่ศึกษา เช่น การเพิ่มขึ้นของคลอรีนในแม่น้ำ 3 แห่ง ในมลรัฐอิลินอยทำให้ค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพลดลง (Karr *et al*., 1985) การเพิ่มขึ้นของค่าผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์มีผลทำให้ค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพลดลง (U.S.EPA, 2002) สอดคล้องกับ Teels *et al*.,(2004) เปรียบเทียบค่าดัชนีผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Human Disturbance Index : HDI) มีความสัมพันธ์กับดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยเมื่อค่าดัชนีผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เพิ่มขึ้นค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพจะลดลง เช่นเดียวกับ Rayan (2014) เปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพน้ำผิวดิน (Water Quality Index: WQI) กับค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ ค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพลดลงตามค่าดัชนีคุณภาพน้ำผิวดินที่ลดลง เป็นสิ่งบ่งบอกถึงความเชื่อมั่นของดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของแหล่งน้ำที่ศึกษามีทิศทางอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้

การพัฒนาและประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด

ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดได้มีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายทั้งในแหล่งน้ำไหลและแหล่งน้ำนิ่ง หลังจากการพัฒนาครั้งแรกโดย Karr (1981) ได้มีการพัฒนาการใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพอย่างแพร่หลาย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยของต่างประเทศสามารถสรุปสาระการดำเนินงานและผลการศึกษาที่สำคัญ ดังนี้

ปี 2004 Teels *et al*. (2004) ได้ประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินพื้นที่ชุ่มน้ำซึ่งเป็นแหล่งน้ำนิ่งมีการจัดกลุ่มตัวแปรชีวภาพออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะทางชีววิทยาของปลาที่ศึกษาอ้างอิงตาม Teels and Danielson (2001) ทำการคัดเลือกตัวแปรชีวภาพจำนวน 12 เมทริก ได้แก่ เมทริกที่ 1 คือ จำนวนชนิดปลาพื้นถิ่น (Number of native species) เป็นชนิดของปลาที่เป็นปลาพื้นถิ่นแยกออกจากปลาต่างถิ่น ซึ่งอ้างอิงจาก Jenkins and Burkhead (1993) เมทริกที่ 2 จำนวนชนิดปลาที่อาศัยพื้นท้องน้ำ (Number of darter species) เป็นปลาที่อาศัยพื้นท้องน้ำต้องการออกซิเจนในน้ำระดับสูง มีความอ่อนไหวต่อการตกตะกอน ได้แก่ สกุล *Percina* และ *Etheostoma* เมทริกที่ 3 จำนวนชนิดปลาที่เคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว (Number of minnow species) เช่น ชนิดปลาในวงศ์ปลาตะเพียน เมทริกที่ 4 ร้อยละของปลาชนิดเด่น (Percent of dominant species) เป็นค่าร้อยละของปลาชนิดเด่นที่ชุกชุมที่สุดจากการสุ่มตัวอย่างได้อ้างอิงตาม Karr (1981) เมทริกที่ 5 จำนวนชนิดปลาที่มีความอ่อนไหวต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลง (Number of intolerant species) เมทริกที่ 6 ร้อยละจำนวนตัวปลาที่มีความทนทาน (Percent tolerant individual) โดยเมทริกที่ 5 และเมทริกที่ 6 ใช้การเปรียบเทียบกับดัชนีผลกระทบที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (HDI) เมทริกที่ 7 ร้อยละจำนวนตัวปลาที่มีพฤติกรรมการกินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร (Percent omnivorous individual) เป็นร้อยละกลุ่มปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารในกลุ่มของสาหร่าย พืช และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังซึ่งถูกกำหนดโดย Smogor (1996) เมทริกที่ 8 ร้อยละปลาที่มีพฤติกรรมการกินสัตว์หน้าดินเป็นอาหาร (Percent benthic invertivores) เป็นร้อยละจำนวนปลาที่กินสัตว์หน้าดิน และตัวเต็มวัยกินสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังเป็นอาหารหลัก เมทริกที่ 9 ร้อยละปลาที่กินสัตว์เป็นอาหารลบออกด้วยจำนวนปลาที่กินสัตว์เป็นอาหารที่มีความทนทาน (Percent specialist carnivores minus tolerant species) เมทริกที่ 10 ร้อยละชนิดปลาที่วางไข่ติดลบออกด้วยชนิดปลาไข่ติดที่มีความทนทาน (Percent simple lithophilic spawners minus tolerant species) เป็นชนิดปลาที่มีพฤติกรรมการวางไข่ติดกับหิน หรือวัตถุที่จมอยู่ใต้น้ำ ไม่รวมกับกลุ่มที่ทำรัง และมีพฤติกรรมการดูแลไข่และลูกปลาวัยอ่อน เมทริกที่ 11 จำนวนชนิดปลาที่สมบูรณ์เพศช้า (Number of late-maturing species) เป็นจำนวนชนิดปลาที่มีความสมบูรณ์เพศโดยใช้ระยะเวลามากกว่า 3 ปี และ เมทริกที่ 12 ร้อยละปลาที่มีอาการผิดปกติ (Percent anomalies) เป็นค่าร้อยละของปลาที่สุ่มตัวอย่างได้ที่มีลักษณะผิดปกติ ได้แก่ มีอาการป่วย มีเนื้องอก ครีบกร่อน และมีบาดแผล เป็นต้น มีเกณฑ์การให้คะแนนระบบ 1 3 และ 5 คะแนน โดยนำข้อมูลที่เคยมีการรายงานในอดีตเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บได้เป็นฐานข้อมูลในการกำหนดช่วงค่าการให้คะแนนของแต่ละเมทริก การประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินพื้นที่ชุ่มน้ำที่เป็นแหล่งน้ำนิ่งครั้งนี้ให้ผลเป็นที่ยอมรับได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีผลกระทบที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งมีผลการประเมินดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพลดลงเมื่อดัชนีผลกระทบที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เพิ่มขึ้น (Teels *et al*., 2004)

Bozzetti and Schulz (2004) ประยุกต์ใช้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินลำธารที่ได้รับผลกระทบจากพื้นที่อุตสาหกรรมการเกษตรแบบพัฒนาในพื้นที่เขตกึ่งร้อนโดยใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาในประเทศบราซิลตอนใต้ ซึ่งมีจำนวนชนิดของปลาที่สุ่มเก็บตัวอย่างมากกว่าในเขตภูมิอากาศอบอุ่น การศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการคัดเลือกสถานีอ้างอิงโดยใช้สถานีอ้างอิงที่ถูกรบกวนน้อยที่สุด และใช้ข้อมูลพื้นฐานของชนิดปลาที่มีการรายงานตามวิธีการของ Hughes *et al*.,(1998) และ Gammon and Simon (2000) โดยสามารถคัดเลือกเมทริกที่มีประสิทธิภาพได้จำนวน 10 เมทริก ด้วยการสุ่มตัวอย่างพบปลามากถึง 57 ชนิด โดยค่าคะแนนดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพสะท้อนให้เห็นว่าค่าคะแนนลดลง

ตามอุตสาหกรรมการเกษตรที่ขยายเพิ่มขึ้น อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบแต่ละฤดูกาลในรอบปีให้ผลค่าคะแนนไม่แตกต่างกัน Das and Samanta (2006) ทำการประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินปากแม่น้ำกร่อยในพื้นที่เขตร้อน โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรชีวภาพเป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ (1) กลุ่มความมากชนิดที่ประยุกต์ตาม Lyons (1992) มีจำนวน 2 เมทริก (2) กลุ่มตามโครงสร้างชนิด (Species composition metrics) ที่ประยุกต์ตาม Ganasan and Hughes (1998) ที่เคยรายงานในแม่น้ำในประเทศอินเดีย ซึ่งกลุ่มตัวแปรนี้มีจำนวน 4 เมทริก (3) กลุ่มตามพฤติกรรมการกินอาหารประยุกต์ตาม Karr (1981) ซึ่งมีจำนวน 3 เมทริก และ (4) กลุ่มด้านสุขภาพและความชุกชุมประยุกต์ตาม Ganasan and Hughes (1998) จำนวน 3 เมทริก รวมเป็นดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาที่ให้ผลสามารถยอมรับได้ โดยเปรียบเทียบกับค่าคุณภาพน้ำทางเคมี พบว่า ค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาจะลดลงตามค่าคุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมลง และปี 2008 มีการประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลา เพื่อประเมินแม่น้ำแยงซีตอนบนที่มีการสร้าง เขื่อน Three Gorges Reservoir ในประเทศจีนโดย Zhu and Chang (2008) ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรชีวภาพหลักเป็น 5 กลุ่มได้แก่ (1) กลุ่มความหลากหลายจำนวน 5 เมทริก (2) กลุ่มความอ่อนไหวและความทนทานจำนวน 2 เมทริก (3) กลุ่มตามพฤติกรรมการกินอาหารจำนวน 3 เมทริก (4) กลุ่มความชุกชุมจำนวน 1 เมทริก และ (5) กลุ่มลักษณะพิเศษจำนวน 2 เมทริก รวมเป็นดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลา โดยการเปรียบเทียบจากข้อมูลที่มีการรายงานในปี ค.ศ. 1997-2002 ซึ่งผลการประเมินพบว่าคุณภาพของแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง นำไปสู่การเสนอแนะให้มีการจัดการป้องกันการทำการประมงที่มากเกินควร การสร้างแหล่งอนุบาลลูกปลาวัยอ่อน ลดการจับปลา และให้มีการสร้างบันไดปลาเพื่อให้ปลาอพยพไปยังแหล่งวางไข่ได้

ในประเทศอิรัก Mohamed (2014a) ประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินสภาวะสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำนิ่งคือบึง Huwazah ซึ่งเป็นประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกกลาง โดยกำหนดตัวแปรชีวภาพเป็นจำนวน 14 เมทริก จาก 4 กลุ่มตัวแปรชีวภาพ ได้แก่ (1) กลุ่มความมากชนิด (Species richness metrics) (2) กลุ่มตามโครงสร้างของชนิด (Species composition metrics) (3) กลุ่มตามพฤติกรรมการกินอาหาร (Trophic guilds metrics) และ (4) กลุ่มดัชนีทางชีววิทยา (Integrated biology index) โดยการให้คะแนน 0-100 คะแนน พบว่าสามารถใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินแหล่งน้ำนิ่งได้ และผลการประเมินสภาวะบึง Huwazah มีผลรวมค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพค่อนข้างต่ำซึ่งสอดคล้องกับข้อเท็จจริงคือแหล่งน้ำนี้เคยขาดน้ำจนแห้งเมื่อกว่า 10 ปีก่อน และ 2 ปีที่ผ่านมามีการขุดและบูรณะใหม่ ค่าดัชนีที่ต่ำจึงชี้ให้เห็นว่าแหล่งน้ำนี้ต้องใช้เวลาอีกสักระยะในกลับคืนสู่ความอุดมสมบูรณ์เหมือนเดิม และในปีเดียวกัน Mohamed (2014b) รายงานการใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินแหล่งน้ำนิ่งบึง Chybaish พบว่า สามารถใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อการเฝ้าระวังและตรวจติดตามคุณภาพของแหล่งน้ำได้

Rayan (2014) ได้ประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินสุขภาวะของหนองหาร จังหวัดสกลนคร ประเทศไทย โดยการบูรณาการกลุ่มตัวแปรชีวภาพ 4 กลุ่ม สามารถคัดเลือกตัวแปรชีวภาพได้จำนวน 12 เมทริก ตามคุณลักษณะและบทบาทในระบบนิเวศแหล่งน้ำ ได้แก่ กลุ่มความชุกชุมของชนิดปลา กลุ่มปลาที่แสดงความหลากหลายของแหล่งอาศัย กลุ่มที่แสดงบทบาททางห่วงโซ่อาหาร และกลุ่มปลาที่แสดงผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ ข้อมูลชนิดและปริมาณปลาที่ใช้มาจากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 10 สถานี ในบริเวณเขตต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำของหนองหาร ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2554 โดยสุ่มตัวอย่าง 4 ช่วงเวลา ตามการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาของระดับเก็บกักน้ำ และปริมาณน้ำฝนในพื้นที่หนองหาร ได้แก่ ช่วงเวลาที่ 1 ระหว่างเดือนมีนาคม-พฤษภาคมเป็นช่วงที่ระดับเก็บกักลดลงต่ำที่สุด แต่เริ่มมีฝนตก ช่วงเวลาที่ 2 ระหว่างเดือนมิถุนายน-สิงหาคมเป็นช่วงที่มี

ฝนตกมาก ระดับน้ำขึ้นสูงอย่างรวดเร็วและมีความขุ่นมาก ช่วงเวลาที่ 3 ระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายนเป็นช่วงสิ้นสุดฤดูฝนระดับเก็บกักสูงสุด น้ำเริ่มตกตะกอนและใส ช่วงเวลาที่ 4 ระหว่างเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์เป็นช่วงที่ระดับเก็บกักน้ำลดลง ปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุด โดยกำหนดสภาวะอ้างอิงของตัวแปรชีวภาพจากข้อมูลรายงานผลการศึกษาประชากรปลาในหนองหารตั้งแต่ปี 2511-2553 อ้างอิงจาก Srimukda (1968), Srikomut (1971), Hiranyawat (1976), Sricharoendham and Koanantaku (1993), Department of Fisheries (1992), Duangsawasdi *et al*. (1994), Suteemeechaikul *et al*. (2000) และ Duangsawasdi *et al*. (2003) ส่วนเมทริกที่ใช้ค่าร้อยละของจำนวนตัวปลาอ้างอิงจากข้อมูลจากผลการจับต่อหน่วยการลงแรงประมง (Rayan *et al*., 2016) และการสอบถามผู้เชี่ยวชาญ เป็นพื้นฐานของการเปรียบเทียบอ้างอิง รวมทั้งใช้ข้อมูลผลการสำรวจของการศึกษาครั้งนี้มาเป็นส่วนประกอบร่วมกัน ส่วนเกณฑ์กำหนดคะแนนของแต่ละตัวแปรชีวภาพใช้ระบบ 1 3 และ 5 คะแนน ผลของการคำนวณพบว่า ค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพมีค่าสูงสุดพบในปี พ.ศ. 2552 เท่ากับ 40 คะแนน รองลงมาเป็นปี พ.ศ. 2554, 2551, 2553 และ 2550 มีค่าเท่ากับ 38, 34, 32 และ 24 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงสุขภาวะของหนองหารอยู่ในระดับต่ำในปี 2550 และอยู่ในระดับปานกลางในปี 2551-2554 แสดงถึงคุณภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบจากปี พ.ศ. 2550 ถึงปี พ.ศ. 2554 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่หนองหารมีการบูรณะฟื้นฟูโดยการกำจัดวัชพืชของหน่วยขุดลอกและกำจัดวัชพืชหนองหาร กรมประมง ในปี 2550 และ ปี 2551 มีการกำจัดวัชพืชจำนวน 962 และ 900 ไร่ ตามลำดับ เมื่อคำนวณจากรายงานของ Ruekaewma *et al*. (2002) ที่หนองหารมีการแพร่กระจายของพรรณไม้น้ำ 4.09 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เท่ากับมีการกำจัดวัชพืช 6,295.4 และ 5,889.6 ตันต่อปี ตามลำดับ ในขณะที่ปี 2552 2553 และ 2554 มีการกำจัดวัชพืช 60,400 60,720 และ 61,000 ตันต่อปี (Nong Han dredging and weedding, personal contact) ซึ่งการกำจัดวัชพืชในปริมาณที่สูงขึ้นถึง 10 เท่า อาจมีผลทำให้แนวโน้มค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพมีค่าสูงขึ้นในปี 2552 โดยค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพที่ศึกษาครั้งนี้มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าดัชนีคุณภาพน้ำผิวดิน (Water Quality Index : WQI) อย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.84$) โดยที่ระดับคุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมลงมีผลทำให้ค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพลดลง ชี้ให้เห็นว่าค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพมีส่วนในการสะท้อนถึงผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของประชาคมปลานี้สามารถประยุกต์และปรับใช้สำหรับการวางแผนศึกษาวิจัยและการตรวจติดตามประเมินคุณภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำได้ โดยควรมีการพัฒนาตัวแปรชีวภาพที่สะท้อนสภาพความเป็นจริงของพื้นที่ให้ถูกต้องและมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

บทสรุป

ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด (Fish-based IBI) สามารถใช้เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งสำหรับประเมินสถานภาพของแหล่งน้ำจืด นอกเหนือจากการประเมินคุณภาพทางกายภาพ และเคมี ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดที่มีความยืดหยุ่นสามารถใช้ได้กับทุกแหล่งน้ำผิวดินขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ของแต่ละภูมิภาคและขนาดของแหล่งน้ำที่ประเมิน การใช้เพื่อประเมินแหล่งน้ำในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนที่มีความหลากหลายของชนิดปลาสูง จำเป็นต้องมีการขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษาซึ่งจะแสดงผลที่แตกต่างกันตามพื้นที่ประเมิน การร่วมมือกันของนักวิชาการ นักวิจัย และผู้ที่เกี่ยวข้องกำหนดคุณลักษณะทางชีววิทยาของปลาให้ครอบคลุมปลาทุกชนิด เช่น การจำแนกคุณลักษณะตามการกินอาหาร การจำแนกชนิดปลาที่มีความอ่อนไหวหรือความทนทานต่อมลพิษ เป็นต้น ควรมีการปรับปรุงตัวแปรชีวภาพที่สามารถแสดงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน และแสดงออกถึงการเปลี่ยนแปลงของแต่ละพื้นที่ และควรมีการทบทวนวิธีการประเมินและตรวจติดตาม

อย่างเป็นระบบ เพื่อพัฒนาการประเมินคุณภาพแหล่งน้ำโดยใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดในประเทศไทยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Angermeier, P. L. and Karr, J. R. (1986). Applying an index of biotic integrity based on stream fish communities: considerations in sampling and interpretation. *North American Journal of Fisheries Management*, *6*, 418-429.

Barbour, M. T., Gerritsen, J., Griffith, G. E., Frydenborg, R., Mc Carron, E., White, J. S. and Bastian, M. L. (1996). A Framework for Biological Criteria for Florida Streams Using Benthic Macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, *15*, 185-211.

Bozzetti, M. and Schulz, U. H. (2004). An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil. *Hydrobiologia*, *529*, 133–144.

Buffagni, A., Erba, S., Cazzola, M. and Kemp, J. L. (2004). The AQEM multimetrics system for the southern Italian Apennines: assessment the impact of water quality and habitat degradation on pool macroinvertebrate in Mediterranean rivers. *Hydrobiology*, *516*, 313-329.

Das, M.K. and Samanta, S. (2006). Application of an index of biotic integrity (IBI) to fish assemblage of the tropical Hooghly estuary. *Indian Journal of Fisheries*, *53*(1), 47-57.

Department of Fisheries. (1992). *Fisheries survey in Nong Han during renovations*. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)

Duangsawasdi, S., Leeranont, Y., Sricharoendham, B. and Rattanachamnong, D. (1994). *Fishery resource and fishery activities in Nong Han after rehabilitation*. Technical Paper 158. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)

Duangsawasdi, S., Sricharoendham, B., Kaewjaroon, P., Aimsab, M., Somchan, W. and Promkhruan, N. (2003). *Ecology and Fish Community in Nong Han Swamp, Sakon Nakhon Province*. Technical Paper 6/2003. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)

Gabriels, W., Goethals, P.L.M. and De Pauw, N. (2005). Implications of taxonomic modifications and alien species on biological water quality assessment as exemplified by the Belgian Biotic Index method. *Hydrobiologia*, *542*, 137-150.

Ganasan, V. and Hughes, R.M. (1998). Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh), India. *Freshwater Biology*, *40*(2), 367-383.

Gammon, J.R. and Simon, T.P. (2000). Variation in a great river index of biotic integrity over a 20-year period. *Hydrobiologia*, *422*(423), 291–304.

Hiranyawat, S. (1976). *Study on ecology and fisheries in Nong Han, Sakon Nakhon*. Department of Fisheries, Bangkok. (in Thai)

Hughes, R.M., Kaufmann, P.R., Herlihy, A.T., Kincfaid, T.M., Reynolds, L. and Larsen, D.P. (1998). A process for developing and evaluating indices of fish assemblage integrity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, *55*, 1618-1631.

Jenkins, R.E. and Burkhead, N.M. (1993). *The freshwater fishes of Virginia*. American Fisheries Society, Bethesda, MD, USA.

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., Heidinger, R. C. and Helmer, E. H. (1985). Sensitivity of the index of biotic integrity to changes in chlorine and ammonia levels from wastewater treatment facilities. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 57, 912-915.

Karr, J. R., Fausch, K. D. Angermeier, P. L. Yant, P. R. and Schlosser, I. J. (1986). *Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale*. Illinois Natural History Survey, Champaigne, Illinois, Special Publication.

Lyons. J. (1992). *Using the index of biotic integrity (IBI) to measure environmental quality in warmwater stream of Wisconsin*. General Technical Report NC-149. U.S.Department of Agriculture, St. Paul, MN.

Mohamed, A.R. (2014a). Evaluation of fish assemblage environment in Huwazah marsh, Iraq using integrated biological index. *Advance Agriculture and Biology*, *1*(3), 105-111.

Mohamed, A.R. (2014b). A fish index of biotic integrity for evaluation of fish assemblage environment in restored Chybaism marsh, Iraq. *G.J.B.A.H.S*, *3*(1), 32-37.

Ngamsnae, P. (2011). *Monitoring and bio-indicators for assessment of freshwater ecosystems*. Department of Fisheries. Faculty of Agriculture. Ubon Ratchathani University. (in Thai)

Rayan, S. (2014). *Fishes diversity and fish-based index of biological integrity (IBI) of Nong Han wetland, Sakon Nakhon province, Thailand*. PhD Thesis. Ubon Ratchathani University. (in Thai)

Rayan, W., Naunsang, A., Ngoichansri, S. and Chatchavantatri, T. (2016). *Spatio-temporal variation in fish community of Nonghan Swamp, Sakon Nakhon province, between 2009 and 2015*. Technical Paper No. 31/2016. Department of fisheries. (in Thai)

Reynoldson, T. B., Norris, R. H., Resh, V. H., Day, K. E. and Rosenberg, D. M. (1997). The reference condition: a comparison of multimetric and multivariate approaches to assess water-quality impairment using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, *16*, 833-852.

Ruekaewma, P., Ngoichansri, S., Thongphant, W., Rayan, W. and Sutti-arj, S. (2002). *Species, biomass and distribution of aquatic macrophyte in Nong Han swamp, Sakon Nakhon province*. Retrieved November 10, 2017, from http://www.fisheries.go.th/if-sakhon/web2. (in Thai)

Smogor, R. (1996). *Developing an index of biotic integrity (IBI) for warmwater wadeable streams in Virginia*. M.S. Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, USA.

Sricharoendham, B. and Koanantakul, K. (1993). *Fish catch and fisheries survey during the rehabilitation program of Nong Han swamp, Sakon Nakhon province, 1992*. Technical Paper 143. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)

Srikomut, S. (1971). *Fishery biological surveys in Nong Han, Sakon Nakhon province. In Annual Report 1971*. Sakon Nakhon Inland Fisheries Station, Sakon Nakhon. (in Thai)

Srimukda, P. (1968). *Fishery biological surveys in Nong Han, Sakon Nakhon province*. In Annual Report 1968. Sakon Nakhon Inland Fisheries Station, Sakon Nakhon. (in Thai)

Suteemeechaikul, S., Vibulsook, S. and Sricharoendham, B. (2000). *Fishery activities and catch of Nong Han Swamp, Sakon Nakhon Province*. Technical Paper 18/2000. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)

Steedman, R. J. (1988). Modification and assessment of an index of biotic integrity to quantify stream quality in Southern Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *45*, 492-501.

Teels, B.M. and Danielson, T.J. (2001). *Using a regional IBI to characterize the condition of northern Virginia streams, with emphasis on the Occoquam Watershed*. USDA, NRCS, Wetland Science Institute, Laurel, MD, USA. Technical Note 190-13-1.

Teels, B.M., Mazanti, L.E. and Rewa, C.A. (2004). Using an IBI to assess effectiveness of mitigation measures to replace loss of a wetland-stream ecosystem. *Wetlands*, *24*, 375-384.

U.S. EPA. (2002). *Methods for Evaluating Wetland Condition: Introduction to Wetland Biological Assessment*. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA-822-R-02-014.

Zhu, D. and Chang, J. (2008). Annual variations of biotic integrity in the upper Yangtze River using an adapted index of biotic integrity (IBI). *Ecological Indicators*, *8*, 564–572.