

การใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่เพื่อการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพ

Use of Benthic Macroinvertebrates for Biological Monitoring

อิสระ ธาณี*

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Isara Thanee*

Department of Biology, Faculty of Science Mahasarakham University

บทคัดย่อ

การติดตามตรวจสอบทางชีวภาพโดยใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่มีด้วยกันหลากหลายวิธี เช่น การติดตามการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม การสะสมทางชีวภาพของสารพิษ การทดสอบความเป็นพิษในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม การวัดการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากร องค์กรประกอบในชุมชนสิ่งมีชีวิต และบทบาทหน้าที่เชิงนิเวศ ในอนาคตสิ่งที่ยังต้องการเพื่อพัฒนาการใช้สัตว์หน้าดินในการติดตามตรวจสอบประเมินคุณภาพน้ำทางชีวภาพมีดังต่อไปนี้ (1) การพัฒนาความรู้ให้เข้าใจยิ่งขึ้นถึงการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติเพื่อตอบสนองต่อมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา (2) ความต้องการที่สำคัญในการทดสอบภาคสนาม ซึ่งผลของการทดสอบนั้นๆ ต้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ ระดับของการทดสอบภาคสนาม (3) การติดตามตรวจสอบทางชีวภาพ ที่ตรวจสอบจากสภาพของแหล่งกำเนิดมลพิษที่รู้แหล่งแน่นอน (point sources) ควรจะต้องได้รับการพัฒนาเทคนิคเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสภาพของแหล่งกำเนิดมลพิษไม่รู้แหล่งกำเนิด (non point-sources) (4) การติดตามตรวจสอบทางชีวภาพต้องการพัฒนาเพื่อใช้ในการพัฒนามาตรฐานทางสิ่งแวดล้อม การประเมินคุณภาพแหล่งน้ำด้วยสัตว์หน้าดิน ในบทความนี้จะเน้นถึงงานวิจัยและการศึกษาที่ผ่านมาในประเทศไทย ซึ่งทั้งหมดจะเป็นประโยชน์ต่อ นิสิตนักศึกษาที่เรียนและทำวิจัยด้านนี้ นักชีววิทยาแหล่งน้ำจืด อาจารย์และนักวิจัยที่สนใจจะพัฒนาและปรับปรุงเทคนิคการใช้สัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชีวภาพ ตลอดจนผู้สนใจทั่วไป

คำสำคัญ : สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ดัชนีชีวภาพ การติดตามตรวจสอบทางชีวภาพ คุณภาพน้ำ

* ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)
e-mail: isarathani@gmail.com

Abstract

There are many approaches of biological monitoring by applying macroinvertebrates such as; monitoring of hereditary change, biological accumulation of toxic substances, toxicological test in laboratory and field work, measurement of population change, study of community structure and ecological role. At an early date, there are many factors, which need to be developed for biological monitoring by using macroinvertebrates. 1) Novel knowledge is necessary for depth understanding of natural change for responding to pollution in areas and time. 2) It is necessary to apply methodologies for fieldwork to use in many levels of field trials. 3) Methods of biological monitoring for detection of point sources should be improved for detecting non-point-source. 4) Biological monitoring by using macroinvertebrates should be developed to use as ecological standard method for water evaluation. This publication reviews research studies conducting to apply macroinvertebrates for biological monitoring in freshwater in Thailand. This report would benefits not only researchers and students but also individuals who are interested in this field.

Keywords : Benthic macroinvertebrates, Bioindicators, Biomonitoring, Water quality

บทนำ

การประเมินคุณภาพแหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่ (benthic macroinvertebrates) เป็นดัชนีชีวภาพในการประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ มีมานานหลายทศวรรษและได้รับการยอมรับและใช้เป็นวิธีมาตรฐานในการติดตามคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ประเทศในยุโรปและอเมริกาเหนือ เนื่องจากวิธีการมีความแม่นยำ เพียงตรงไปตรงมาตรวจสอบผลสาร รวมทั้งมีต้นทุนในการตรวจสอบที่คุ้มค่ากับการลงทุน (Sangpradub & Boonsoong, 2006; Rosenberg & Resh, 1993) นอกจากนี้เทคนิคในการประเมินลำธารแบบเร็วโดยใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการใช้เทคนิคทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร (multivariate statistical techniques) เพื่อช่วยจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ ทำให้การวิเคราะห์ผลสะดวกขึ้น จึงมีการใช้สัตว์หน้าดินในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแพร่หลายเพิ่มขึ้นในหลายประเทศ รวมทั้งในประเทศไทยที่ได้มีการศึกษาและพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์กันมากขึ้นตามลำดับ

โดยนิยามความหมายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่หรือสัตว์หน้าดิน (Benthos) เพื่อให้เข้าใจความหมายถูกต้องและตรงกัน ขอให้นิยามโดยสรุปดังนี้ สัตว์หน้าดิน หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่มีแหล่งอาศัยอยู่บนพื้นท้องน้ำ อย่างน้อยช่วงหนึ่งของวงจรชีวิต ซึ่งพื้นท้องน้ำจะรวมถึงตะกอนดินท้องน้ำ เศษซากอินทรีย์วัตถุท่อนไม้ พืชน้ำสาหร่ายขนาดใหญ่หรือมีเส้นสาย และอื่นๆ สัตว์หน้าดินจะมีขนาดอยู่ระหว่าง 200-500 ไมโครเมตร ถึงแม้บางชนิด ช่วงแรกๆ และกลุ่มที่สามารถอาศัยอยู่บนผิวน้ำได้ เช่น กลุ่มจิ้งจ้าน้ำ (Rosenberg et al., 2008) ในระยะตัวอ่อนจะมีขนาดเล็กกว่านี้ นอกจากนี้สัตว์หน้าดินยังรวมถึงกลุ่มที่สามารถว่ายน้ำอย่างอิสระ (Merritt et al., 2008)

ในอดีตที่ผ่านมา การใช้สัตว์หน้าดินติดตามตรวจสอบทางชีวภาพในประเทศอเมริกาเหนือจะเหมือนกับในประเทศทางยุโรป ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ จนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 1970 โดยเฉพาะประเทศทางอเมริกาเหนือเริ่มใช้วิธีการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ (Resh & Jackson, 1993) เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการในเชิงปริมาณจะรวมถึงการทดสอบสมมติฐานและต้องมีจำนวนซ้ำเพิ่มขึ้น มีหน่วยตัวอย่างเปรียบเทียบและอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย อย่างไรก็ตามแนวโน้มของการใช้วิธีการติดตามตรวจสอบเชิงคุณภาพบางอย่างจะถูกนำกลับมาปรับใช้ใหม่ ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนของวิธีเชิงปริมาณ ค่อนข้างใช้เวลาและใช้กำลังคนมากทำให้มีต้นทุนสูง ไม่เหมาะกับการติดตามตรวจสอบที่ต้องทำเป็นประจำ ในปัจจุบันวิธีนี้ถูกพัฒนา เรียกว่าวิธีการประเมินแบบเร็ว (rapid assessment procedure) หรือ การประเมินทางชีวภาพแบบเร็ว (Rapid Bioassessment) (Rosenberg et al., 2008)

ความสำคัญทางนิเวศวิทยาของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่ เป็นสัตว์พื้นท้องน้ำที่มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศ แหล่งน้ำจืดเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบทบาทต่อสายใยอาหาร และกระบวนการในระบบของลำธาร และแม่น้ำ การหมุนเวียนสารอาหารและการย่อยสลาย (Wallace & Webster, 1996) สัตว์หน้าดินยังมีบทบาทการกินอาหารในหลากหลายกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่กินอินทรีย์สารขนาดใหญ่ (Shredder) กลุ่มที่กินสาหร่าย (grazer) กลุ่มที่เก็บรวบรวมกินตามพื้นท้องน้ำ (gatherer) กลุ่มที่ขูดกิน (scraper) กลุ่มที่กรองกิน (filterer) และกลุ่มที่เป็นผู้ล่า (predator) (Cummins, 1973; Cummins & Klug, 1979; Cummins et al., 2005) ซึ่งการแบ่งกลุ่มตามบทบาทการกินอาหารนี้สัมพันธ์กับการพัฒนาลักษณะรูปร่างภายนอกและกลไกทางพฤติกรรมของสัตว์หน้าดินแต่ละกลุ่ม นอกจากนี้กลุ่มสัตว์หน้าดินยังเป็นอาหารของนกน้ำหลายชนิด (Merritt et al., 2008) รวมทั้งสัตว์มีกระดูกสันหลังอื่นๆ ด้วยเหตุผลต่างๆ ดังกล่าวทำให้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมีคุณค่าต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำจืดและมีคุณค่าควรแก่การอนุรักษ์

การติดตามตรวจสอบทางชีวภาพโดยใช้สัตว์หน้าดินมีด้วยกันหลากหลายวิธี เช่น การติดตามการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม การสะสมทางชีวภาพของสารพิษ การทดสอบความเป็นพิษในห้องปฏิบัติการ และในภาคสนาม การวัดการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากร องค์ประกอบในชุมชนสิ่งมีชีวิต และบทบาท

หน้าที่เชิงนิเวศ (Rosenberg & Resh, 1993) นอกจากนี้สัตว์หน้าดินยังมีจุดเด่นหรือข้อดีที่แตกต่างจากการติดตามตรวจสอบทางกายภาพและเคมีอยู่หลายประการ (Abel, 1989; Hellawell, 1986) นอกจากสัตว์หน้าดินแล้วยังมีสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในแหล่งน้ำที่นิยมใช้ในการตรวจสอบเพื่อประเมินคุณภาพน้ำ ได้แก่ สหรัย พืชน้ำขนาดใหญ่ สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก เป็นต้น

อย่างไรก็ดี Rosenberg และ Resh (1993) ได้แนะนำให้ใช้สัตว์หน้าดินในการประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำไหล เนื่องจากมีข้อดีต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. สัตว์หน้าดินสามารถพบได้ในทุกประเภทของแหล่งอาศัยของระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด ดังนั้นสัตว์หน้าดินจึงได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมหลากหลายประเภทด้วย
2. มีจำนวนชนิดมาก ทำให้สัตว์หน้าดินตอบสนองต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมได้ครอบคลุม
3. โดยธรรมชาติของสัตว์หน้าดินจะเคลื่อนที่ได้น้อย สามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากมลพิษแบบที่รู้แหล่งกำเนิดแน่นอนได้ดี หรือผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ในเชิงพื้นที่นั้นๆ
4. สัตว์หน้าดินมีช่วงชีวิตที่ยาวนานเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ จึงสามารถใช้วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เกิดจากผลกระทบของสิ่งแวดล้อมได้
5. สัตว์หน้าดินหลายชนิดมีความเฉพาะเจาะจงในการตอบสนองต่อมลพิษแต่ละชนิดแตกต่างกัน
6. ในด้านการเก็บตัวอย่าง สามารถเก็บตัวอย่างเชิงคุณภาพได้สะดวก ค่าใช้จ่ายต่ำ
7. อนุกรมวิธานของสัตว์หน้าดินในหลายๆ กลุ่ม มีการศึกษาไว้เป็นอย่างดี มีคีย์ที่ใช้ในการจัดจำแนกที่สมบูรณ์
8. การวิเคราะห์ผลข้อมูลทั้งเชิงดัชนีชีวภาพและดัชนีความหลากหลาย มีการพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลาย
9. สัตว์หน้าดินมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ในการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพ

จากคุณสมบัติหลายประการที่เป็นประโยชน์ในการใช้สัตว์หน้าดินประเมินคุณภาพแหล่งน้ำ สัตว์หน้าดินยังมีข้อจำกัดที่ควรพิจารณา ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลัก 2 ประการคือ ปัญหารวมลพิษบางชนิดอาจทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาด และปัญหาจากการออกแบบการทดลองหรือการวิเคราะห์ผลข้อมูล ซึ่งปัญหาดังกล่าวที่เกิดจากสารมลพิษ เกิดเนื่องจากสัตว์หน้าดินไม่สามารถตอบสนองต่อผลกระทบจากมลสารที่เกิดในสิ่งแวดล้อมได้ทุกชนิด เช่น สารกำจัดศัตรูพืชและแมลง มีผลต่อตัวอ่อนของสัตว์หน้าดินในระยะยาวไม่มีผลเฉียบพลัน ทำให้ไม่พบลักษณะหรืออาการใดๆ ที่สัตว์หน้าดินแสดงออกมา จึงเป็นเหตุผลที่ดีในการใช้ดัชนีชีวภาพมากกว่า 1 กลุ่ม ในการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพ ส่วนปัญหาจากการออกแบบการศึกษา คือการเก็บตัวอย่างเชิงปริมาณซึ่งทำได้ยากเนื่องจากใช้เวลาและกำลังคนสูง และจากการกระจายตัวของสัตว์หน้าดินมีสูงในหลากหลายแหล่งอาศัย ทำให้ต้องใช้จำนวนตัวอย่างมาก ต้องมีจำนวนซ้ำมากเพื่อให้ได้ผลวิเคราะห์ข้อมูลที่แม่นยำในการประมาณจำนวนประชากร นอกจากนี้ใน

กระบวนการรักษาสภาพตัวอย่างและจำแนกชนิดยังมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลามาก อย่างไรก็ตาม ทางเลือกในการออกแบบการเก็บตัวอย่างและใช้เทคนิคการประเมินคุณภาพลําธารแบบเร็ว จะสามารถช่วยแก้ปัญหาตรงนี้ได้ นอกจากนี้ การกระจายและการชุกชุมของสัตว์หน้าดินยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือจากปัจจัยด้านคุณภาพน้ำ เช่น ทิศทางกระแสน้ำ ความเร็วกระแสน้ำ ธรรมชาติของพื้นที่ท้องน้ำ เพื่อแก้ปัญหานี้จึงจำเป็นต้องรู้ถึงนิเวศวิทยาของสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดเป็นอย่างดี

อีกประการที่สำคัญคือเรื่องของฤดูกาล ซึ่งมีผลอย่างมากต่อความหลากหลายของสัตว์หน้าดินและการแพร่กระจายในแต่ละช่วงฤดู ความรู้เรื่องชีวประวัติ (life history) หรือวงจรชีวิตของสัตว์หน้าดินและพฤติกรรมบางอย่าง จะช่วยในการวางแผนการศึกษาได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างเช่นสัตว์หน้าดินบางชนิดจะมีพฤติกรรมปล่อยตัวให้ลอยไปกับกระแสน้ำในเวลากลางคืน (Hellawell, 1986; Abel, 1989) ทำให้การเก็บตัวอย่างเพื่อประเมินผลกระทบจากมลพิษที่เกิดขึ้นในจุดนั้นๆ มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้ จากพฤติกรรมดังกล่าว

ความเป็นมาของการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพด้วยสัตว์หน้าดิน

การใช้สัตว์หน้าดินในการตรวจสอบคุณภาพน้ำเริ่มในประเทศเยอรมนี ในช่วงเริ่มต้น ศตวรรษที่ 20 Kolkwitz และ Marsson (1909) ได้พัฒนาแนวคิด ซาโปรเบีย (idea of saprobity) (ระดับของมลพิษ) สำหรับการระบุมลพิษของสารอินทรีย์ในแม่น้ำซึ่งส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง และปริมาณออกซิเจนที่ลดลงนี้มีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแม่น้ำ (Cairns & Pratt, 1993) จากการสังเกตการพบกลุ่มของสัตว์ที่ตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน นำมาซึ่งการพัฒนาบัญชีรายชื่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นดัชนีบ่งชี้ (indicator organisms) ตัวอย่างได้แก่ ไส้เดือนน้ำจืด (*Tubifex*) ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มสัตว์ที่มีความทนทานต่อมลพิษ คือสามารถอยู่ได้ในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำ ยังมีหนอนร้นน้ำจืด (*Chironomus*) หรือที่เรียกว่าหนอนแดง ซึ่งจะพบสัตว์ทั้งสองประเภทนี้อยู่ในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนมลพิษ ส่วนอีกกลุ่มสัตว์หน้าดินที่ไม่ทนทานต่อสภาพมลพิษ (intolerant index) ซึ่งพบสัตว์เหล่านี้อาศัยอยู่ในน้ำคุณภาพดี ได้แก่ ตัวอ่อนของแมลงชีปะขาวและตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำ แนวคิดนี้ได้ถูกใช้ในประเทศทางยุโรปและอเมริกาเหนือ และมีการใช้กันอย่างกว้างขวางเมื่อรวมเอาแนวคิดการใช้ทั้งชุมชนเป็นดัชนีชี้วัด (indicator communities)

การใช้สัตว์หน้าดินในการประเมินคุณภาพทางชีวภาพในอเมริกาเหนือดำเนินการตามแนวทางประเทศในยุโรปจนกระทั่งช่วง ค.ศ. 1970 ประเทศทางอเมริกาเหนือได้พัฒนาการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลในเชิงปริมาณ (Resh & Jackson, 1993)

ระดับของการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพ (Scales of Biomonitoring)

การติดตามตรวจสอบทางชีวภาพโดยใช้สัตว์หน้าดินโดยเฉพาะแมลงน้ำ จะครอบคลุมทั้งเชิงพื้นที่และเวลาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลำดับขั้นของการใช้ ซึ่งช่วงชั้นลำดับนี้จะมีตั้งแต่ระดับชีวเคมี (subcellular) จนถึงระดับระบบนิเวศ Resh และ Rosenberg (1989) ได้สรุปลำดับขั้นของการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพ จากงานวิจัยในแมลงน้ำสรุปได้ดังนี้ (1) ระดับชีวเคมีและสรีรวิทยา จะดูการตอบสนองในระดับชีวเคมีจนแสดงออกมาในรูปแบบของการทำงานของเอนไซม์ ระดับปริมาณโปรตีน ปริมาณกรดอะมิโน การแลกเปลี่ยนไอออน อัตราเมตาบอลิซึมในการหายใจ เป็นต้น (2) ระดับเฉพาะตัว (individual) จะศึกษาลักษณะรูปร่างภายนอก พฤติกรรมที่แสดงออก ชีวประวัติ การสะสมทางชีวภาพ (3) ระดับประชากร ดัชนีทางชีวภาพและวิธีการวิเคราะห์แบบหลายตัวแปร (multivariate approaches) (4) ระดับชุมชนสัตว์หน้าดิน นับจำนวนชนิดหรือแทกซา (taxa) การใช้ดัชนีความหลากหลาย (diversity indices) ดัชนีความคล้ายคลึง (similarity indices) ดัชนีทางชีวภาพอื่นๆ การวิเคราะห์บทบาทการกินอาหาร (functional feeding group measures) และดัชนีการวิเคราะห์เมตริกหลายแบบ (mutimetric indices)

การใช้แมลงน้ำเป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนมลพิษในแหล่งน้ำไหล

มีงานวิจัยหลายเรื่องได้ศึกษาการใช้แมลงน้ำเป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินคุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ โดยที่การปนเปื้อนนั้นเกิดจากมลสารหลากหลายประเภท ทั้งจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม วัสดุเหลือใช้จากกระบวนการทางการเกษตร การปล่อยน้ำเสียของชุมชน โดยเฉพาะการปนเปื้อนที่เกิดจากสารพิษที่สำคัญได้แก่การปนเปื้อนจากโลหะหนัก โดยกลุ่มที่นิยมใช้เป็นดัชนีชีวภาพคือ อันดับแมลงชีปะขาว (Ephemeroptera) อันดับแมลงเกาะหิน (Plecoptera) อันดับแมลงหนอนปลอกน้ำ (Trichoptera) (Sicbakk et al., 1997; Maret et al., 2003) จากการศึกษาพบว่า แมลงชีปะขาวเพียงกลุ่มเดียวที่สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนของโลหะหนักได้

แมลงน้ำอีกกลุ่มที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้การปนเปื้อนของโลหะหนักคือ แมลงหนอนปลอกน้ำ โดยเฉพาะชนิด *Hydropsyche* sp. (Hellowell, 1986; Cain et al., 1992) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มแมลง 2 ปีก (Diptera) ที่นิยมให้ใช้เป็นดัชนีชี้วัด (Goodyear & McNeill, 1999) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ผิดปกติ (deformity) มีการศึกษาในตัวอ่อนของแมลงหนอนปลอกน้ำชนิด *Hydropsyche pellucidula* โดยดูการเปลี่ยนรูปร่างผิดปกติและความผันแปรที่เกิดขึ้นในระยะตัวอ่อน จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของอลูมิเนียมสะสมในตัวอ่อนที่มีลักษณะรูปร่างที่ผิดปกติมากกว่าตัวอ่อนที่ปกติ (Vuoli & Kukkonen, 1996) และมีงานวิจัยที่ศึกษาการสะสมโลหะหนักในไฮโดโซลิกและเนื้อเยื่อทั้งตัวของแมลงน้ำ โดย Cain และ Luoma (1998) ได้รายงานไว้ว่า ตัวอ่อน *Hydropsyche* ในแม่น้ำที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักจะได้รับและสะสมโลหะหนัก โดยมีการแสดงอาการเกิดพิษแบบเรื้อรัง และบางลักษณะที่ไม่ปรากฏหลักฐานชัดเจนว่าได้รับพิษจากโลหะหนัก ซึ่งปฏิกิริยาตอบสนองในการสะสมโลหะหนักเหล่านี้ ขึ้นกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ด้วย

การวิจัยเชิงทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้ใช้ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำมาทำการศึกษาการได้รับแคดเมียมจากการสร้างตาข่ายเพื่อดักอาหาร จากการศึกษาพบว่า ตัวอ่อน *Hydropsyche* ที่สร้างตาข่ายมีการสะสมโลหะหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Illes et al., 2001) และบางชนิดของจิ้งส *Hydropsyche* มีรายงานพบความเข้มข้นโลหะหนักในตัวอ่อนถึง 35 เท่า เทียบกับกลุ่มที่ไม่อยู่บริเวณที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก (Solà et al., 2004) ในประเทศสเปน มีการศึกษาในแม่น้ำ Guadimar โดย Solà & Prat (2006) ได้ทดสอบในตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำจิ้งส *Hydropsyche* พบความเชื่อมโยงของความเข้มข้นโลหะในน้ำและในตะกอนดิน นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับดัชนีชีภาพอื่นๆ เช่น ความขุ่น ความหลากหลายชนิด โดยเฉพาะกลุ่ม EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) และ OCH (Odonata, Coleoptera และ Heteroptera) โดยตรวจวัดโลหะดังนี้ สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว อาร์เซนิก ทอลเลียม และแอนติโมนี พบเฉพาะอาร์เซนิกที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการทดลองของ Solà และ Prat (2006) พบว่าระยะเวลาที่ตัวอ่อนแมลงน้ำสามารถทำความสะอาดลำไส้ จากการปนเปื้อนของโลหะหนักสามารถทำความสะอาดลำไส้ได้ร้อยละ 33 ทดสอบ ภายใน 24 ชั่วโมง

ในประเทศโปแลนด์ มีการศึกษาในแมลงชีปะขาว 2 ชนิด ในจิ้งส *Baetis* จากแม่น้ำ Biala Przemsza ซึ่งมีการปนเปื้อนโลหะแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และเหล็ก และแม่น้ำสาขาที่อยู่ในพื้นที่ที่มีตะกั่วและสังกะสี พบว่าตัวอ่อนทั้งสองชนิดมีการสะสมตามลักษณะภูมิศาสตร์โดยเฉพาะโลหะหนัก 3 ชนิด คือตะกั่ว สังกะสีและแคดเมียม ที่พบความเข้มข้นสูงในพื้นที่ดังกล่าว ตัวอ่อนแมลงน้ำทั้งสองชนิดมีการสะสมโลหะหนักที่สัมพันธ์และสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยนี้สนับสนุนการใช้แมลงชีปะขาวในการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพของแม่น้ำและลำธารในประเทศยุโรปตอนกลาง

กลุ่มแมลงสองปีก (Diptera) Bervotes et al. (1997) ได้ศึกษาจากการทำเหมืองเพื่อตรวจสอบการสะสมโลหะหนักในตะกอนดินและในตัวอ่อนหนอนร่อนน้ำจืด ในแม่น้ำ Borivia ผลการศึกษาความเข้มข้นทั้งหมดในตะกอนดิน ไม่สามารถประเมินการสะสมในตัวอ่อนของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่บริเวณตะกอนดินได้ อย่างไรก็ตาม สาเหตุที่ไม่พบความสัมพันธ์นี้อาจเกิดจากการละลายของโลหะหนักในน้ำ และการศึกษาดังกล่าวไม่ได้ตรวจวิเคราะห์โลหะหนักที่ละลายในน้ำ ในแมลงกลุ่มร่อนน้ำจืดนี้ยังมีการศึกษาด้านความหลากหลายและโครงสร้างชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หนอนร่อนน้ำจืดชนิด *Procladius* (*Holotanypus*) spp. *Tanytarsus* spp. และชนิด *Chironomus anthracinus* แสดงความสัมพันธ์เชิงลบกับโลหะหนัก ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นถึงการเป็นดัชนีชีวิตที่ดีในการใช้ติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะหนัก

นอกจากนี้มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้กลุ่มแมลงสองปีกเพื่อดูผลที่เกิดจากสารแคดเมียม โดยทดสอบการเจริญพัฒนาของตัวอ่อนลูกน้ำยุงชนิด *Aedes aegypti* พบว่าตัวอ่อนมีการตอบสนองที่ไวต่อสารแคดเมียม ทองแดงและปรอท ในหนอนร่อนน้ำจืดชนิด *Chironomus staeger* มีการทดสอบกับแคดเมียมเพื่อดูกลไกการรับแคดเมียมเข้าไปในเซลล์ พบว่าโลหะหนักแทรกซึมเข้าไปภายในเซลล์โดยผ่านช่องทางเดียวกับที่แคลเซียมผ่านเข้าเซลล์ (Craig et al., 1999)

สำหรับแมลงกลุ่มอื่นๆ ได้แก่ จิงโจ้น้ำ (water striders) แมลงปอ (dragonfly) แมลงข้างปิกไส และกลุ่มมด มีการศึกษาเพื่อใช้เป็นตัวชี้ทางชีวภาพ ถึงแม้กลุ่มนี้จะเป็นผู้ล่าในระบบนิเวศก็ตาม จากการศึกษาพบว่า ในจิงโจ้น้ำสามารถตรวจวัดการปนเปื้อนของเหล็กและแมกนีเซียมได้ดี ส่วนแมลงข้างปิกไสสามารถตรวจวัดเหล็กได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังตรวจพบการสะสมของโลหะแมกนีเซียมและแคดเมียมในแมลงข้างปิกไสและมดได้อีกด้วย ส่วนจิงโจ้น้ำไม่พบการสะสมของโลหะตะกั่ว เนื่องจากเป็นสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่บนผิวน้ำ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นตัวชี้ทางชีวภาพในประเมินคุณภาพน้ำที่มีการปนเปื้อนจากโลหะหนัก (Nummelin et al., 2007)

การติดตามตรวจสอบทางชีวภาพของแหล่งน้ำจืดในประเทศไทย

ในประเทศไทยมีการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดทั่วประเทศ โดยหน่วยงานทางราชการและเอกชนหลายหน่วยงาน โดยเฉพาะหน่วยงานหลักคือ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในแต่ละปีมีรายงานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินทั่วประเทศ ในรายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประจำปี 2556 จากจำนวนแม่น้ำ 48 สาย และแหล่งน้ำนิ่ง 4 แห่ง (บึงบอระเพ็ด กว๊านพะเยา หนองหาร และทะเลสาบสงขลา) โดยประเมินจากดัชนีคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน (Water Quality Index; WQI) พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ ร้อยละ 31 พอใช้ ร้อยละ 38 และเสื่อมโทรม ร้อยละ 21 (PCD, 2013) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าคุณภาพน้ำระดับลดลงอย่างต่อเนื่องทุกปี การติดตามคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดินของหน่วยงานราชการไทยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีเป็นหลัก วิธีทางชีวภาพที่ใช้ร่วมด้วยคือ การวิเคราะห์แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดและจำนวนฟิคอลโคลิฟอร์ม จากสาเหตุที่คุณภาพน้ำเสื่อมลงมีผลต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน จึงทำให้หลายหน่วยงานทั้งที่เป็นของราชการและที่ไม่ใช่หน่วยงานราชการ เช่น โรงเรียน วัด เอ็น จี โอ (NGO) พยายามช่วยรักษาคุณภาพน้ำด้วยวิธีการหลากหลายแบบ เช่น การบวชป่าในภาคเหนือเพื่อรักษาแหล่งต้นน้ำ การประกาศเป็นเขตอภัยทานและอนุรักษ์พันธุ์ปลา การทำวังปลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งของกลุ่มรักเมืองน่าน จังหวัดน่าน

การใช้กลุ่มสัตว์หน้าดินเพื่อติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ ได้มีการพัฒนาดัชนีหลายแบบและแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ระบบการประเมิน Biological Monitoring Working Party (BMWP) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในประเมินคุณภาพน้ำ เริ่มขึ้นในประเทศอังกฤษโดย National Water Council ในปี 1981 โดยเป็นดัชนีที่ใช้จำแนกตัวอย่างสัตว์หน้าดินในระดับวงศ์ ยกเว้นในกลุ่มของไส้เดือนน้ำจืดที่คงไว้เป็นกลุ่มใหญ่เช่นเดิม โดยให้คะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 10 คะแนน ค่าคะแนนรวมแต่ละจุดที่ศึกษาได้เป็นค่า BMWP Score แล้วหาค่า ASPT (Average Score Per Taxon) โดยนำ BMWP Score ของแต่ละจุดหารด้วยจำนวนวงศ์ที่มีค่า BMWP Score ในแต่ละจุดนั้นที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ ซึ่ง ASPT มีค่าไม่เกิน 10 ในการให้คะแนนสิ่งมีชีวิตแต่ละวงศ์ขึ้นอยู่กับ การปรับตัวของสัตว์หน้าดิน ในการใช้ออกซิเจนที่ต่างกันสัตว์ที่อยู่ได้ในแหล่งน้ำที่ปริมาณออกซิเจนต่ำมักมีความทนทานต่อมลพิษได้สูงจะมีคะแนนต่ำ สำหรับประเทศไทยได้มีการพัฒนาปรับปรุงดัชนีมาใช้กับแม่น้ำทางภาคเหนือ (Mustow, 2002) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Sangpradub et al. (1998) ได้ศึกษาปัจจัยคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่อชุมชนสัตว์หน้าดินในลุ่มน้ำพอง ด้วยการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของน้ำและศึกษาองค์ประกอบโครงสร้างชุมชนสัตว์หน้าดินตลอดลำน้ำพอง ตั้งแต่อำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย จนถึงฝายคุยเชือก จังหวัดมหาสารคาม พบว่ามีความสัมพันธ์กันมากบริเวณที่น้ำมีคุณภาพดีมีจำนวนชนิดของสัตว์มากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอ่อนของแมลงชีปะขาว แมลงสโตนฟลาย และแมลงหนอนปลอกน้ำ สัตว์เหล่านี้มีจำนวนตัวและจำนวนชนิดลดลงในสถานที่ที่คุณภาพน้ำเสื่อมลง และสถานที่ที่คุณภาพน้ำเสื่อมมากจากการปนเปื้อนของมลพิษไม่พบตัวอ่อนแมลงกลุ่มนี้เลย แต่พบตัวอ่อนริ้นน้ำจืด (chironomidae) และไส้เดือนน้ำจืด ซึ่งจัดเป็นกลุ่มสัตว์ที่ทนต่อมลพิษ จากผลการศึกษาได้เสนอการจำแนกคุณภาพน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพสำหรับแม่น้ำพองโดยระบบค่าคะแนน เรียกว่า ค่าคะแนนน้ำพอง และการพิจารณาโครงสร้างชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน เรียกว่า ดัชนี Q และได้ดัดแปลงดัชนี Q ให้เหมาะสมกับการเฝ้าระวังคุณภาพแหล่งน้ำในชุมชนท้องถิ่น และได้ผลิตคู่มือชี้แนะนาฬิกาสัตว์หน้าดิน ซึ่งมีการนำไปใช้โดยกลุ่มอาสาสมัครสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำพอง (Sangpradub et al., 1998)

บทสรุป

ถึงแม้ว่าจะมีการใช้สัตว์หน้าดินเพิ่มขึ้นเพื่อติดตามตรวจสอบทางชีวภาพของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ แต่ในปัจจุบันนี้ยังมีอีกหลายๆ ประการที่ควรพิจารณา ดังต่อไปนี้ (1) ความสำคัญในการจำแนกสัตว์หน้าดินที่ถูกต้อง ซึ่งในหลายๆ กลุ่มมีความสมบูรณ์ของหนังสือที่ใช้ในการจำแนกชนิดแล้ว แต่บางกลุ่มยังต้องใช้เวลาในการพัฒนาให้สมบูรณ์ต่อไป (2) การใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปรจะทำให้สามารถเข้าใจมลพิษที่เกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะการสร้างแบบจำลองเพื่อการคาดการณ์ จะมีประโยชน์ต่อการจัดการข้อมูลและการวิเคราะห์ผลได้อย่างดี (3) การศึกษาด้านการทดสอบความเป็นพิษ ซึ่งมีความสำคัญในการประเมินความเสี่ยงผลกระทบสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากมลสารบางชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารกำจัดศัตรูพืชและแมลงต่างๆ (4) การศึกษาในระดับระบบนิเวศ (ecosystem level) เพื่อดูผลกระทบปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่อโครงสร้างและหน้าที่ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทั้งหมด ซึ่งการทดสอบในระดับระบบนิเวศนี้มีค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างนักวิจัยในมหาวิทยาลัย หน่วยงานราชการ และหน่วยงานเอกชนต่างๆ (Rosenberg et al., 2008)

ในอนาคต สิ่งที่ต้องการเพื่อพัฒนาการใช้สัตว์หน้าดินในการติดตามตรวจสอบประเมินคุณภาพน้ำทางชีวภาพ มีดังต่อไปนี้ (1) การพัฒนาความรู้ให้เข้าใจยิ่งขึ้นถึงการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติเพื่อตอบสนองต่อมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา (2) ความต้องการที่สำคัญในการทดสอบภาคสนาม ซึ่งผลของการทดสอบนั้นๆ ต้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ ระดับของการทดสอบภาคสนาม (3) การติดตามตรวจสอบทางชีวภาพ ที่ตรวจสอบจากสภาพของแหล่งกำเนิดมลพิษที่รู้แหล่งแน่นอน (point sources) ควรจะต้องได้รับการพัฒนาเทคนิคเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสภาพของแหล่งกำเนิดมลพิษไม่รู้แหล่งกำเนิด (non point-sources) (4) การพัฒนาวิธีการติดตามตรวจสอบทางชีวภาพเพื่อใช้ในการพัฒนา

ค่ามาตรฐานทางสิ่งแวดล้อม เช่น ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการวางแผนจัดการลุ่มน้ำ และ ประการสุดท้ายที่สำคัญคือการนำความรู้ด้านนิเวศวิทยาแหล่งน้ำจัด โดยเฉพาะความรู้ความเข้าใจในนิเวศวิทยาของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อม

Reference

- Abel, P. D. (1989). *Water Pollution Biology*. Ellis Horwood, Chichester, England.
- Bervoets, L., Solis, D., Romero, A.M., Andre, P., Damme, V. & Ollevier, F. (1998). Trace metal levels in chironomid larvae and sediments from a Bolivian River : Impact of mining activities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*., 41 : 275-283.
- Bonada N., Prat N., Resh V.H. and Statzner B. (2006). Development in aquatic insect Biomonitoring : A comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.*, 51 : 495-523.
- Cain, D. J., Luoma, S. N., Carter, J. L., & Fend, S. V. (1992). Aquatic insects as bioindicators of trace element contamination in cobble-bottom rivers and streams. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science*, 2141-2154.
- Cain, D.J. & Luoma, S.N. (1998.). Metal exposures to native populations of the caddisfly *Hydropsyche* (Trichoptera : Hydropsychidae) determined from cytosolic and whole body metal concentrations. *Hydrobiologia*., 386 : 103-117.
- Cairns, J. & J.R. Pratt. (1993). *A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates*. Pages 10-27 in : *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates* (D. M. Rosenberg and V. H. Resh, eds.). Chapman and Hall, New York.
- Craig, A., Hare, L. & Tessier, A. (1999). Experimental evidence for cadmium uptake via calcium channels in the aquatic insect *Chironomus staegeri*. *Aquatic Toxicology*., 44 : 255-262.
- Cummins K.W. (1973). Trophic relations of aquatic insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 18 : 183-206.
- Cummins K.W. & M.J. Klug. (1979). Feeding ecology of stream invertebrates. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 147-172.

- Cummins, K.W., R.W. Merritt & Priscila C.N. Andrade. (2005). The use of invertebrate functional group to characterize ecosystem attributes in selected stream and rivers in South Brazil. *Studies on Neotropical and Funa aand Environment*, 69-89.
- Goodyear K.L., & McNeill S. (1999). Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macroinvertebrates of different feeding guilds : a review. *The Science of the Total Eviroment*, 1-19.
- Kolkwitz, R. & Marsson, M. (1909). Okologic der pflanzlichen Saprobien. *Ber. Dt. Bot. Ges.*, 26 : 505-519.
- Merritt R.W., K.W. Cummins, & M.B.Berg. (2008). *An Introduction to the Aquatics of North America*. Dubuque : Kendall/Hunt Publishing Company.
- Hellawell, J. (1986). *Biological Indicators of Freshwater Pollution ann Environment Management*. New York : Elsevier.
- Illes, J. E. (2001). Influence of food-capture nets on cadmium uptake by net-spinning caddisfly (Trichoptera : Hydropsychidae) larvae. *Bull. Environ, Contam. Toxicol.*, 66 : 484-491.
- Maret, T.R., Cain, D.J., Maccoy, D.E. & Short, T.M. (2003). Response of benthic invertebrate assemblages to metal exposure and bioaccumulation associated with hard-rock mining in north-western streams, USA. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 22 : 598-620.
- Merritt R.W, & Cummins K.W. (2007). *Trophic relationships of macroinvertebrates*. In : Hauer F.R. Lamberti G.A. editors. *Methods in Stream Ecology*. San Diego : Academic Press.
- Merritt R.W., J.R. Wallace, M.J Higgins, M.K. Alexander, M.B. Berg, W.T. Morgan, K.W. Cummins, & B. Vandeneeden. (1996). Procedure for the functional analysis of invertebrate communities of the Kissimmee river-floodplan ecosystem. *Florida Scientist*, 216-274.
- Merritt R.W., K.W. Cummins, & M.B.Berg. (2008). *An Introduction to the Aquatics of North America*. Dubuque : Kendall/Hunt Publishing Company.
- Mustow, S.E. (2002). Biological monitoring of river in Thailand and application of the BMWP score. *Hydrobiologia*. 479, 191-229

- Nummelin, M., Lodenius, M., Tulisalo, E., Hirvonen, H., & Alanko, T. (2007). Predatory insects as bioindicators of heavy metal pollution. *Environmental Pollution*, 145 : 339-347.
- Pollution Control Department (PCD). (2013). *Thailand State of Pollution Report*. Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand.
- Resh, V.H. & J.K. Jackson.(1993). *Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates*. Pages 195-233 in D.M. Rosenberg and V.H. Resh (editors). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall, New York.
- Rosenberg D.M, & Resh, V.H. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York : Chapman and Hall.
- Rosi-Marshall E.J., & J.B. Wallace. (2002). Invertebrate food webs along a stream resource gradient. *Freshwater biology*, 47, 129-141.
- Sangpradub, N., Inmuong, Y., Hanjavanit, C. & Inmuong, U. 1998. *A Correlation Study between Freshwater Benthic Macroinvertebrate Fauna and Environmental Quality Factors in Nam Pong Basin Thailand Part III*. A Research Report to the Thailand Research Fund
- Sangpradub N. & B. Boonsoong. (2006). *Identification of freshwater invertebrates of the Mekong River and its tributaries*. Vientiane : Mekong River Commission.
- Sjcbakk, T.B., Almli, B., & Steinnes, E. (1997). Heavy metal monitoring in contaminated river systems using mayfly larvae. *Journal of Geochemical Exploration.*, 58 : 203-207.
- Sola`, C. B. (2004). Heavy metal bioaccumulation and macroinvertebrate community changes in a Mediterranean stream affected by acid mine drainage and an accidental spill (Guadamar River, SW Spain). *Science of the total Environment*, 333 : 1109-126.
- Sola`, C. & Prat, N. (2006). Monitoring metal and metalloid bioaccumulation in *Hydropsyche* (Trichoptera, Hydropsychidae) to evaluate metal pollution in a mining river. Whole body versus tissue content. *Science of the Total Environment.*, 359 : 221– 231.

- Vuori, K. (1993). Influence of water quality and feeding habits on the whole-body metal concentrations in lotic trichopteran larvae. *Limnologica.* , 23 : 301-308.
- Vuori, K.M. & Kukkonen, J. (1996). Metal concentration in *Hydropsyche pellucidula* larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) in relation to the anal papillae abnormalities and age of exocuticle. *Wat. Res.*, 30 : 2265-2272.
- Wallace, J.B. & Webster, J.R. (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annu. Rev. Entomol.*, 41 : 115-139.

ผู้เขียน

ดร. อีสระ ธานี

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ต.ขามเรียง อ. กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

e-mail : isarathani@gmail.com

