

การใช้ดัชนีชีวภาพประเมินคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย แบบบ่อปรับเสถียร

Utilization of Bioindicator for Assessing Water Quality of Stabilization Pond Wastewater Treatment System

มีนา กรมมี (Meena Krommee)* กิตติ เอกอำพน (Kitti Akamphon)**

ดร.นฤมล แสงประดับ (Dr.Narumon Sangpradub)***

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการใช้ อันดับ วงศ์ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน และระบบค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบปรับเสถียร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในการศึกษาทำการเก็บตัวอย่างสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพ 11 พารามิเตอร์ เดือนละ 1 ครั้ง ครอบคลุมในช่วงฤดูแล้ง (เมษายน-ต้นพฤษภาคม) และฤดูฝน (มิถุนายน-กรกฎาคม) พ.ศ.2550 ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพในระบบบำบัดน้ำเสียดีขึ้นจากบ่อแคล์เททิฟ บ่อบ่ม 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่มีแนวโน้มลดลงอันเป็นการบ่งชี้ภาวะที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูง คือ กลุ่มของแมลงสองปีก (Diptera) วงศ์ Tabanidae, Syrphidae, Chironomidae และวงศ์ Stratiomyidae และกลุ่มที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอันเป็นการบ่งชี้การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ลดลง คือ กลุ่มแมลงชีปะขาว (Ephemeroptera) วงศ์ Baetidae และกุ้ง (Decapoda) วงศ์ Palaemonidae และด้วงสีตา (Coleoptera) วงศ์ Gyrinidae การใช้ค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT พบว่าในบ่อแคล์เททิฟมีคุณภาพน้ำปานกลาง ในบ่อบ่ม 1, 2 มีคุณภาพน้ำค่อนข้างดี และบ่อบ่ม 3 มีคุณภาพน้ำดี ดังนั้นการใช้ระบบค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบปรับเสถียร

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the use of order and family of macroinvertebrate and score system of Average Score Per Taxon (ASPT) to assess quality of water in the stabilization pond of Khon Kaen University. In this study, collection of macroinvertebrate samples and chemical and physical analysis of water quality using 11 parameters were undergone once a month, covering hot season (April-May) and rainy season (June-July) 2007. The result of the study showed that the chemical and physical quality of water appeared better in the facultative pond and maturation ponds 1,2 and 3,

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

respectively. The number of macroinvertebrate tended to decrease, indicating high level of bio-organic contamination in families of Diptera, Tabanidae, Syrphidae, Chironomidae and Stratiomyidae, respectively. However, the families likely to show high level indicating less bio-organic contamination included order of Ephemeroptera in families Baetidae and order Decapoda in families Palaemonidae and order Coleoptera in families Gyrinidae, respectively. using ASPT score has been show range of water quality, the facultative pond was moderate water quality. Maturation pond 1,2 were fairly good water quality and in maturation pond 3 was higher water quality. To conclude, using ASPT score to assess the water quality in the stabilization pond was suitable.

คำสำคัญ : สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร

Key Words : Benthic macro invertebrate, Stabilization Pond

บทนำ

มหาวิทยาลัยขอนแก่นมีระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) เป็นกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา โดยอาศัยหลักการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์และมีการเติมอากาศตามธรรมชาติและการเติมด้วยแฟลกก้อนพืช น้ำเสียจากชุมชนจะเข้าสู่ระบบในบ่อแอฟลัเทฟเป็นบ่อแรก และบ่อบ่ม 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในแต่ละขั้นตอนส่งผลให้คุณภาพน้ำดีขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) และปริมาณสารอินทรีย์ (BOD) ในการติดตามตรวจสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพหลายพารามิเตอร์ ซึ่งในการวิเคราะห์แต่ละครั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลาหลายวัน ในปัจจุบันการติดตามตรวจสอบทางด้านชีวภาพ (Biological monitoring) มีแนวโน้มกำลังได้รับความนิยมเพื่อใช้ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพของแหล่งน้ำ โดยใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวชี้วัด (Bendati *et al.*, 1998) ซึ่งกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่นิยมใช้มากที่สุดคือ กลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน (macroinvertebrate) (Rosenberg and Resh, 1993)

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน หมายถึง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยคืบคลานและหากินตามพื้นผิวหน้าดินภายในแหล่งน้ำ ทะเลสาบ ทะเล แม่น้ำ สระน้ำ บ่อน้ำ ลำธาร ตั้งแต่แนวชายฝั่งจนถึงที่ลึกที่สุด (Pennak, 1964; รัชชา, 2546 และ Lind, 1979) มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงร่อนขนาดมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (America Society for Testing and Material) เบอร์ 30 ขนาดตา 0.589 μm สาเหตุผลที่นิยมใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในการตรวจวัดคุณภาพน้ำเนื่องจากเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีถิ่น อาศัยเฉพาะ เคลื่อนย้ายในบริเวณที่จำกัด สามารถพบสิ่งมีชีวิตเหล่านี้อยู่ในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ รวมทั้งมีความไวต่อการถูกรบกวนและฟื้นตัวช้า จึงสามารถตรวจสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นได้แม้เวลาจะผ่านไปแล้ว อีกทั้งสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินแต่ละชนิดยังมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ต่างกัน (รัชชา, 2546) ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้ง่ายต่อการสังเกตและติดตามตรวจสอบ วิธีการดังกล่าวนี้ส่วนใหญ่นำมาใช้กับแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยใช้ระดับชนิด ความชุกชุม และความหลากหลายเป็นตัวบ่งชี้ เพราะแหล่งน้ำที่มีระดับคุณภาพน้ำต่างกันจะพบกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่แตกต่างกันอาศัยอยู่

นอกเหนือจากวิธีการดังกล่าวแล้วยังมีการใช้ระบบค่าคะแนนในการประเมินระดับคุณภาพของแหล่งน้ำซึ่งระบบที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในกลุ่มประเทศสหราชอาณาจักร คือระบบค่าคะแนนของ Biological Monitoring Working Party (BMWP) ซึ่งเป็นระบบการให้คะแนนที่แสดงถึงผลกระทบของมลพิษจากสารอินทรีย์ต่อแหล่งน้ำ เช่น ผลกระทบจากน้ำทิ้งจากบ้านเรือนหรือฟาร์ม (Bartram and Ballance, 1996; Friedrich *et. al.*, 1996) โดยเป็นการกำหนดค่าคะแนนของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำดินในระดับวงศ์ ซึ่งค่าคะแนนจะเริ่มจาก 1 ถึง 10 โดยวงศ์ที่ไม่ทนทานต่อมลพิษจะมีคะแนนสูงกว่าวงศ์ที่มีความทนทานต่อมลพิษได้มากกว่า (Amitage *et al.*, 1983 อ้างถึงใน นฤมล, 2549) แต่เนื่องจากค่าคะแนนที่กำหนดขึ้นยังไม่เหมาะสมในการนำมาใช้กับแหล่งน้ำของประเทศไทย เพราะชนิดของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำดิน สภาพอากาศและลักษณะทางภูมิประเทศมีความแตกต่างกัน (นฤมล, 2544) จึงได้มีการปรับและดัดแปลงค่าคะแนนให้เหมาะสมโดย Mustow (2002) และเมื่อนำผลรวมค่าคะแนนทั้งหมดของระบบคะแนน BMWP มาหารด้วยจำนวนวงศ์ที่พบทั้งหมดในแหล่งน้ำนั้นๆ ค่าที่ได้ออกมาจะเป็นค่าเฉลี่ยเรียกว่า Average Score Per Taxon (ASPT) ซึ่งจะช่วยลดความแปรปรวนที่เกิดจากฤดูกาลและขนาดของพื้นที่ศึกษา (Rosenberg และ Resh, 1993) จากการศึกษาโดย กานต์ธิดา (2548) ซึ่งได้ใช้ระบบค่าเฉลี่ย ASPT มาประเมินคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำแม่คำจ. เชียงราย และเปรียบเทียบกับคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินตามที่กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดขึ้นพบว่าผลที่ได้มีความเหมาะสมและตรงกับการประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้วิธีทางเคมีและกายภาพ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการใช้ อันดับ วงศ์ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำดิน และระบบค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบปรับเสถียร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งสามารถ

ดำเนินการควบคุมหรือทดแทนการตรวจสอบทางด้านกายภาพและเคมี

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการศึกษา

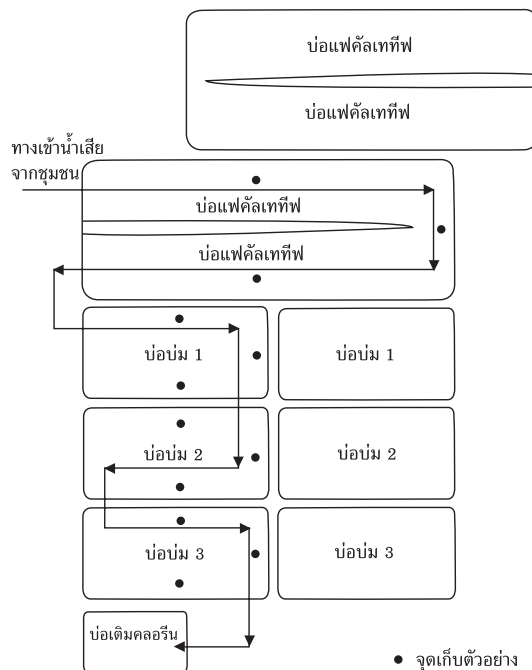
การศึกษานี้ครอบคลุมในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2550 ในฤดูแล้งทำการศึกษาในช่วงเดือนเมษายนถึงต้นเดือนพฤษภาคม และฤดูฝนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม โดยเก็บตัวอย่างน้ำและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำดินตามรายละเอียดต่อไปนี้

การศึกษาคุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพ

เก็บตัวอย่างน้ำตามวิธีที่กำหนดไว้ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2537) โดยเก็บที่จุดกึ่งกลางความลึกของบ่อแฟคัลเททีฟที่ระดับความลึก 90 cm และในบ่อบ่มที่ระดับความลึก 75 cm โดยเก็บตัวอย่างบ่อละ 3 จุด (ภาพที่ 1) จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามวิธีมาตรฐาน APHA (1995) ดังนี้

- อุณหภูมิ (Temperature) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH Meter
- ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen; DO) โดยใช้ Oxygen Meter YSI MODEL 57
- ปริมาณสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand ; BOD) โดยวิธี Azide Modification
- ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) โดยวิธี Macro Kjeldahl
- ไนเตรทไนโตรเจน (Nitrate; $\text{NO}_3\text{-N}$) โดยวิธี Brucine
- แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen; $\text{NH}_3\text{-N}$) โดยวิธี Macro Kjeldahl

- ฟอสเฟต (Phosphate; PO_4) โดยวิธีแวนาโดโมลิบโดฟอสฟอริกแอซิด
- น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) โดยวิธีสกัดด้วยกรวยแยก
- ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) โดย วิธีการกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาด 47 mm
- ตะกอนหนัก (Settleable solids) ใช้ Imhoff Cone จากนั้นวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของคุณภาพน้ำในแต่ละบ่อ (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 12.0 for Windows ในการวิเคราะห์ทางสถิติใช้ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 1 แสดงทิศทางการไหลของน้ำเสียและจุดเก็บตัวอย่าง

การศึกษาสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน

ใช้วิธีมาตรฐานตาม Environmental Protection Agency's Rapid Bioassessment Protocol (Barbour *et al.*, 1999) ทำการเก็บตัวอย่างสัตว์ไม่มี

กระดูกสันหลังหน้าดินโดยใช้สวิงขนาดตา 500 μm ช้อนเอาสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่อาศัยตามรากพืช ตะกอน และที่ลอยตัวอยู่บริเวณผิวน้ำ เก็บตัวอย่างบ่อละ 3 จุด เก็บรักษาตัวอย่างไว้โดยการดองด้วยเอธานอลที่ความเข้มข้น 70% จากนั้นนำมาตรวจเอกลักษณ์ถึงอนุกรมวิธานระดับวงศ์และนับจำนวน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ สเตอริโอ ยี่ห้อ OLYMPUS โดยใช้เอกสารของ Merritt and Cummins (1984) และบันทึกเป็นภาพถ่าย

วิธีทางชีวภาพ (Benthic Macroinvertebrate Matric) ที่นำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย

1. สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ โดยพิจารณาจากแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในแต่ละอันดับ (Order) โดยเรียงจากบ่อแพลคัลเททีฟ บ่อปั๊ม 1, 2 และ 3 ตามลำดับทิศทางการไหลของน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย

2. พิจารณาโดยอาศัยการพบหรือไม่พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในแต่ละบ่อ ซึ่งสัตว์แต่ละวงศ์มีระดับความทนทานต่อมลพิษจากสารอินทรีย์ที่ต่างกัน และพิจารณาชนิดเด่นที่พบมากที่สุดในบ่อที่มีปริมาณการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูง เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำ

3. พิจารณาโดยใช้ระบบค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT คือ นำค่าคะแนนรวมทั้งหมดมาหารด้วยจำนวนวงศ์ที่พบ ดังสูตร

$$ASPT = \sum ti/n$$

กำหนดให้ ti = ค่าคะแนนที่กำหนดของแต่ละวงศ์

n = จำนวนวงศ์ที่พบทั้งหมด

จากนั้นนำค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าคะแนนที่ได้กำหนดขึ้นตามระดับคุณภาพน้ำ 5 ระดับ

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. คุณภาพทางเคมีและกายภาพของน้ำในระบบ บัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี และกายภาพของน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ของบ่อ แพลคัลเททิฟ บ่อบ่ม 1, 2 และ 3 มีคุณภาพน้ำ

ดีขึ้นตามลำดับ คือมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เพิ่มขึ้น และมีอุณหภูมิค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณไนโตรเจน ไนเตรท ฟอสเฟต น้ำมันและไขมันของแข็งแขวนลอย และตะกอนหนักลดลง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพในระบบบำบัดน้ำเสีย ม.ขอนแก่น ในฤดูแล้งและฤดูฝน พ.ศ. 2550

พารามิเตอร์	บ่อแพลคัลเททิฟ	บ่อบ่ม 1	บ่อบ่ม 2	บ่อบ่ม 3
T (°C)	27.43 ^a	27.35 ^a	27.11 ^a	27.03 ^a
pH	8.90 ^a	8.50 ^b	8.39 ^b	8.20 ^b
DO (mg/l)	2.84 ^a	3.70 ^b	4.30 ^c	5.33 ^d
BOD (mg/l)	19.30 ^a	14.77 ^b	13.42 ^b	11.83 ^c
TKN (mg/l)	6.00 ^a	3.82 ^b	3.29 ^b	2.19 ^c
NH ₃ -N (mg/l)	3.81 ^a	2.16 ^b	1.82 ^b	1.16 ^c
NO ₃ (mg/l)	0.65 ^a	0.52 ^a	0.47 ^a	0.43 ^a
PO ₄ (mg/l)	1.02 ^a	0.38 ^b	0.16 ^b	0.05 ^b
Oil & Grease (mg/l)	0.41 ^a	0.14 ^b	0.06 ^b	0.03 ^b
SS (mg/l)	76.84 ^a	54.17 ^a	35.50 ^b	26.84 ^b
Settleable Solids (ml/l)	0.5 ^a	<0.1 ^b	<0.1 ^b	<0.1 ^b

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำในแถวเดียวกันที่พิมพ์ด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (p<0.05)

2. สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน

2.1 เมื่อพิจารณาจากแนวโน้มการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน แต่ละอันดับของบ่อแพลคัลเททิฟ บ่อบ่ม 1, 2 และ 3 พบว่าจำนวนของกลุ่มแมลงสองปีก (Diptera) มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ จึงสามารถใช้ใช้บ่งชี้ได้ถึงคุณภาพน้ำที่ต่ำ มีสารอินทรีย์สูง กลุ่มตัวอ่อน แมลงชีปะขาว(Ephemeroptera) และกุ้ง (Decapoda) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับจึงเป็นกลุ่มที่สามารถ บ่งชี้ได้ว่าคุณภาพน้ำดีขึ้น (ตารางที่ 2 และภาพที่ 3)

2.2 เมื่อพิจารณาถึงสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง หน้าดินที่พบเฉพาะในแต่ละบ่อแล้ว พบว่ามีทั้งหมด 7 วงศ์ ซึ่งวงศ์ที่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำ ที่มีความสกปรกมี 4 วงศ์ คือวงศ์ Tabanidae (A,B) วงศ์ Syrphidae (C) ในอันดับ Diptera ซึ่งพบ เฉพาะในบ่อแพลคัลเททิฟ วงศ์ที่เป็นชนิดเด่นในบ่อ แพลคัลเททิฟคือ Chironomidae (D) และวงศ์ Stratiomyidae (E) ส่วนวงศ์ที่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ ถึงคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นมี 3 วงศ์ คือวงศ์ Gyrinidae (H) ในอันดับ Coleoptera โดยพบเฉพาะในบ่อบ่ม 3 และวงศ์ Palaemonidae (G) ในอันดับ Decapoda

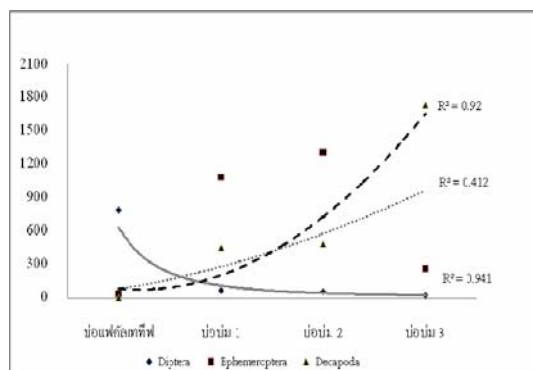
พบในบ่อป๋ม 1, 2 และ 3 และมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่ไม่พบในบ่อแฟคัลเททีฟ ส่วนวงศ์ Baetidae (F) ในอันดับ Ephemeroptera พบในทุกบ่อและจำนวนเพิ่มขึ้นตามลำดับจากบ่อแฟคัลเททีฟ

บ่อป๋ม 1 และ 2 ส่วนในบ่อป๋ม 3 ลดลง (ตารางที่ 3, ภาพที่ 4) เนื่องจากตัวอ่อนแมลงชีปะขาวเป็นอาหารของปลาและกุ้ง ซึ่งมีจำนวนมากในบ่อป๋ม 3

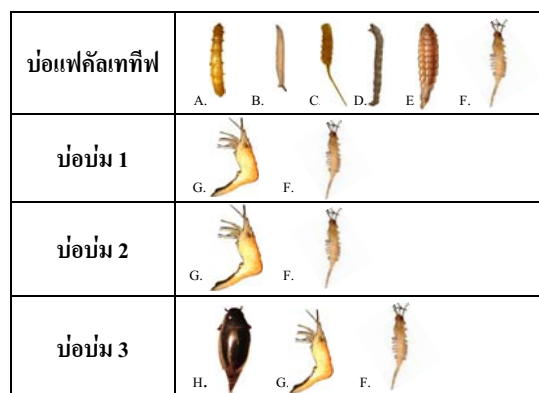
ตารางที่ 2 จำนวนของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในแต่ละอันดับในระบบบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2550

Order	จำนวนของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน				Bioindicator
	บ่อแฟคัลเททีฟ	บ่อป๋ม 1	บ่อป๋ม 2	บ่อป๋ม 3	
Mesogastropoda	0	1,275	1,685	595	×
Coleoptera	229	92	56	62	×
Diptera	785	61	51	18	✓
Ephemeroptera	35	1,080	1,308	259	✓
Hemiptera	457	1,818	587	1,437	×
Lepidoptera	2	16	1	0	×
Odonata	177	79	129	48	×
Orthoptera	3	12	14	11	×
Decapoda	0	449	483	1,735	✓

หมายเหตุ : ✓ หมายถึง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่สามารถนำมาเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำได้
 X หมายถึง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่ไม่สามารถนำมาเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำได้



ภาพที่ 3 แสดงแนวโน้มจำนวนของ Diptera Ephemeroptera และ Decapoda ในระบบบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยขอนแก่น



ภาพที่ 4 สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่พบในบ่อต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตารางที่ 3 อันดับ วงศ์ จำนวน และค่าคะแนนของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินแต่ละวงศ์ที่พบในระบบ
บำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้ค่าคะแนนของ BMWP

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน			BMWP Score	จำนวนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน			
Class	Order	Family		แฟล็กเทททิฟ	บ่อบ่ม 1	บ่อบ่ม 2	บ่อบ่ม 3
Gastropoda	Mesogastropoda	Lymnaeidae	3	0	736	858	261
		Planorbidae	3	0	539	827	335
Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	5	151	31	5	22
		Elmidae	5	48	9	6	29
		Gyrinidae *	5	0	0	0	5
		Heteroceridae	-	3	3	0	2
		Hydrophilidae	5	27	49	45	4
	Diptera	Chaoboridae	-	1	12	3	0
		Chironomidae ***	2	238	5	11	6
		Culicidae	-	35	32	35	8
		Tipulidae	5	13	2	1	3
		Psychodidae	-	38	0	1	0
		Stratiomyidae ***	-	234	10	0	1
		Syrphidae ***	3	15	0	0	0
		Tabanidae (A) ***	-	1	0	0	0
		Tabanidae (B) * **	-	210	0	0	0
	Ephemeroptera	Baetidae *	4	35	1,080	1,308	259
	Hemiptera	Belostomatidae	-	214	15	8	9
		Corixidae	5	7	11	45	2
		Helotrephidae	-	57	164	446	323
		Hydrometridae	5	4	1	3	6
		Mesoveliidae	5	2	1	2	1
		Nepidae	5	120	88	41	41
		Notonectidae	5	53	1,548	40	1,055
		Veliidae	-	0	0	2	0
	Lepidoptera	Pyralidae	-	2	10	1	0
	Odonata	Coenagrionidae	6	177	75	118	41
		Corduliidae	6	0	0	1	1
		Protoneuridae	3	0	4	10	6
	Orthoptera		-	3	12	14	11
Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae *	8	0	449	483	1,735
Total Taxa richness				24	24	25	24
Total BMWP Score				60	74	80	85
ASPT				2.50	3.08	3.20	3.54

หมายเหตุ : *** ตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำสกปรก, * ตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำดีขึ้น

2.3 การใช้ค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT

เมื่อนำจำนวนทั้งหมดของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่พบในแต่ละวงศ์มาคำนวณโดยใช้ค่าคะแนนของ BMWP (Mustow, 2002) (ตารางที่ 3) แล้วนำมาหารด้วยจำนวนวงศ์ที่พบทั้งหมดในแต่ละบ่อ จะได้ค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT และจากการคำนวณพบว่าในบ่อ 3 มีคะแนนมากที่สุดรองลงมาคือบ่อ 2, 1 และในบ่อแฟคัลเททีฟ มีคะแนนน้อยที่สุด และเมื่อนำค่าคะแนน ASPT ที่ได้ในแต่ละบ่อไปเปรียบเทียบกับค่าคะแนนที่กำหนดขึ้นตามระดับคุณภาพน้ำ 5 ระดับ คือ คุณภาพต่ำมาก คุณภาพต่ำ คุณภาพปานกลาง คุณภาพค่อนข้างดี และคุณภาพดี พบว่าในบ่อแฟคัลเททีฟมีคุณภาพน้ำปานกลางแต่สกปรกมากที่สุด ในบ่อ 1, 2 มีค่าคะแนนอยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งมีคุณภาพน้ำค่อนข้างดี และบ่อ 3

มีคุณภาพน้ำดี (ตารางที่ 4) ซึ่งได้ถึงคุณภาพน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ สูง และมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำ โดยพบมากที่สุด ในบ่อแฟคัลเททีฟ รองลงมาคือบ่อ 1, 2 และมีปริมาณน้อยที่สุดในบ่อ 3 ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ดังกล่าวเกิดจากการกิจกรรมประจำวันของบุคคลากรที่อาศัยภายในมหาวิทยาลัย ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหาร ห้องน้ำ/ส้วม การใช้สารอินทรีย์สังเคราะห์กำจัดวัชพืชและตังผิวที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่างๆ เช่น สบู่และผงซักฟอก เป็นต้น กลุ่มตัวอ่อนแมลงชีปะขาว (Ephemeroptera) และกุ้ง (Decapoda) มีจำนวนน้อยที่สุดในบ่อแฟคัลเททีฟและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในบ่อ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จึงเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีและกายภาพ

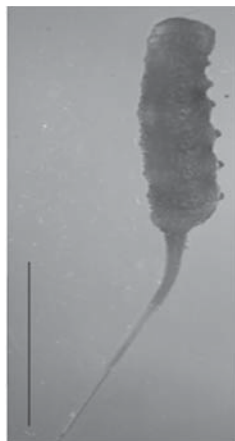
ตารางที่ 4 คะแนนเฉลี่ย ASPT เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินและคุณภาพแหล่งน้ำทั่วไป

บ่อบำบัด	ค่าคะแนน ASPT	คุณภาพแหล่งน้ำทั่วไป
แฟคัลเททีฟ	2.50	คุณภาพน้ำปานกลาง
บ่อ 1	3.08	คุณภาพน้ำค่อนข้างดี
บ่อ 2	3.20	คุณภาพค่อนข้างดี
บ่อ 3	3.54	คุณภาพน้ำดี

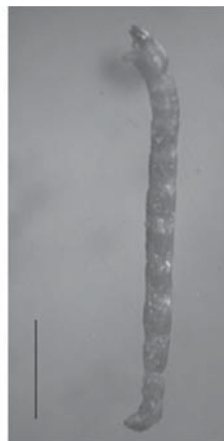
อภิปรายผล

คุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียดีขึ้นตามลำดับทิศทางการไหลของน้ำโดยเริ่มจากบ่อแฟคัลเททีฟ ซึ่งเป็นบ่อแรกที่รองรับน้ำเสียจากชุมชนภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น และเมื่อเปรียบเทียบกับบ่อทั้ง 3 บ่อแล้ว จึงมีคุณภาพน้ำทั้งทางเคมีและกายภาพต่ำที่สุด โดยบ่อ 3 มีคุณภาพน้ำดีที่สุด รองลงมาคือบ่อ 2 และ 1 และจากการพิจารณาตัวบ่งชี้ทางชีวภาพโดยการรวมจำนวนตัวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินแต่ละอันดับแล้วพบว่ากลุ่มของแมลงสองปีก (Diptera) สามารถเป็นตัวบ่ง

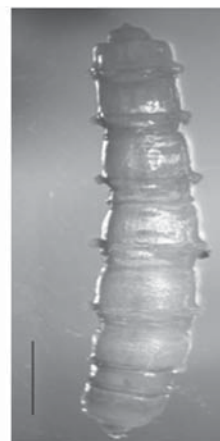
จากผลการพิจารณาตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำในระดับวงศ์ พบว่าวงศ์ที่สามารถบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณสูงของระบบบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุดคือวงศ์ Syrphidae (หนอนแมลงวันดอกไม้) วงศ์ Tabanidae ซึ่งทั้ง 2 วงศ์นี้พบเฉพาะในบ่อแฟคัลเททีฟ ส่วนวงศ์ Chironomidae (หนอนแดง) และวงศ์ Stratiomyidae ถือว่าเป็นวงศ์เด่นโดยพบจำนวนมาก สำหรับวงศ์ที่สามารถบ่งบอกได้ว่าคุณภาพน้ำของระบบบำบัดดีขึ้นตามลำดับ คือวงศ์ Baetidae (แมลงชีปะขาวเข็ม) วงศ์ Palaemonidae (กุ้งฝอย) และวงศ์ Gyrinidae (ด้วงสีดา)



หนอนแมลงวันดอกไม้
วงศ์ Syrphidae



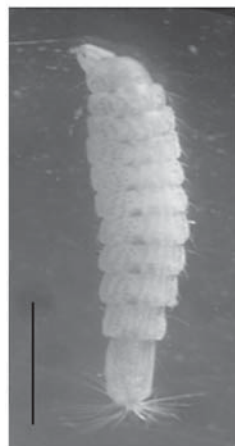
หนอนแดง
วงศ์ Chironomidae



หนอนแมลงวัน
วงศ์ Tabanidae



หนอนแมลงวัน
วงศ์ Tabanidae



หนอนแมลงวัน
วงศ์ Stratiomyidae



กุ้ง
วงศ์ Palaemonidae



ตัวอ่อนแมลงชีปะขาวเข็ม
วงศ์ Baetidae



ตัวงีต๋า
วงศ์ Gyrinidae

ภาพที่ 5 สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบปรับเสถียร มหาวิทยาลัยขอนแก่น (สเกล = 2 มิลลิเมตร)

นอกจากการพิจารณาอันดับและวงศ์แล้ว ยังพิจารณาถึงลักษณะการหายใจของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินแต่ละวงศ์ควบคู่ไปด้วย ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการดำรงชีวิตอยู่ในแหล่งน้ำที่มีสภาวะการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน ดังนี้

หนอนแมลงวันดอกไม้ วงศ์ Syrphidae สามารถอาศัยอยู่ได้ในแหล่งน้ำที่สกปรกมาก ๆ เนื่องจากมีท่ออากาศสำหรับหายใจรูปร่างทรง

กระบอกยาวบริเวณปลายของลำตัวที่สามารถยื่นขึ้นมารับออกซิเจนบริเวณผิวน้ำได้ สามารถยืดหางได้ยาวประมาณ 5 เซนติเมตร ส่วนใหญ่จะพบหนอนแมลงวันดอกไม้ในบ่อแช่ปุ๋ยและบริเวณแหล่งน้ำที่มีการสะสมของสารอินทรีย์ในปริมาณสูง (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 10, 2546)

หนอนแดง วงศ์ Chironomidae พบมากที่สุด ในบ่อแผลคัลเทพิเพราะมีค่าความสกปรกสูงที่สุด หนอนแดงจะอาศัยอยู่ตามตะกอนท้องน้ำ มีฮีโมโกลบิน

ในเลือด หายใจทางผิวหนัง จึงทำให้สามารถอาศัยอยู่ในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำๆ ได้ ผลการศึกษาสอดคล้องกับบุญเสฐียร (2545) ที่พบว่าหนอนแดงจะอาศัยอยู่บริเวณท้ายกระชังเลี้ยงปลาที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สูง และหนอนแดงยังใช้ตะกอนเป็นอาหาร (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 10, 2546) อีกทั้งยังเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำดินที่มีผลในการช่วยฟื้นฟูปะบบนิเวศของแหล่งน้ำ โดยจะย่อยสลายเศษซากอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในตะกอนดินอีกด้วย (สำรว, 2532 อ้างถึงใน เหริพัตตร, 2546)

หนอนแมลงวัน วงศ์ Tabanidae มีรูปร่างยาวเรียว ตัวเป็นปล้อง ปลายสุดของส่วนท้องเป็นท่อหายใจ (นฤมล, 2548) จึงทำให้สามารถขึ้นมารับอากาศบริเวณผิวน้ำได้เช่นเดียวกับหนอนแมลงวันดอกไม้ หนอนแมลงวันวงศ์ Stratiomyidae มีพู่ขนอยู่บริเวณส่วนปลายสุดของลำตัว ทำให้สามารถลอยตัวขึ้นมารับออกซิเจนบริเวณผิวน้ำได้

กิ้ง วงศ์ที่พบคือ Palaemonidae ซึ่งเป็นวงศ์ที่สามารถอาศัยอยู่ได้ในทุกระบบนิเวศของแหล่งน้ำไม่ว่าผิวน้ำหรือใต้น้ำ แม่น้ำ น้ำตก ลำธาร คูคลอง หนองและบึง ยกเว้นในที่สูง เช่น บนภูกระดึง และพบพบมีการแพร่กระจายในทุกจังหวัดของประเทศไทย (ทิวารัตน์, 2547) และจากภูมิปัญญาชาวบ้านของคนไทยใช้การสังเกตพฤติกรรม ของกิ้งในการเป็นสัญญาณบอกถึงคุณภาพน้ำ (สรณรัชฏ์และนิรมล, 2542) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ คือ ถ้ามีจำนวนกิ้งมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำนั้นดีขึ้นตาม ลำดับ อีกทั้งเป็นวงศ์ที่ต้องการอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำสะอาด (สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

แมลงชีปะขาวเข็ม วงศ์ Baetidae แมลงชีปะขาวมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามลำดับจากบ่อแฟคัลเททิฟ บ่อบ่ม 1, 2 แต่ในบ่อบ่ม 3 กลับพบว่ามีความหนาแน่นของแมลงชีปะขาวลดลง ทั้งนี้เพราะแมลงชีปะขาวเป็นอาหารของปลาและกิ้งซึ่งมีจำนวนมากในบ่อบ่ม 3 ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของบริษัทออลเวท จำกัด

(2548) คือ กุ้งกินแพลงก์ตอน หนอน และแมลงขนาดเล็กเป็นอาหาร เช่น ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว และหนอนแดง แต่จากการศึกษาของ ศุภลักษณ์และนฤมล (2548) พบว่าแมลงชีปะขาววงศ์นี้มีการกระจายตัวกว้างและทนต่อมลพิษ จึงพบในบ่อแฟคัลเททิฟด้วยและยังสามารถอาศัยได้ทั้งในแหล่งน้ำนิ่งและน้ำไหล หรือถ้าเทียบกับดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปจะอยู่ในเกณฑ์คุณภาพพอใช้

ด้วงสีดา วงศ์ Gyrinidae พบเฉพาะในบ่อบ่ม 3 ซึ่งมีคุณภาพน้ำดีทั้งทางเคมีและกายภาพที่สุด สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 10 รายงานว่าเป็นแมลงที่พบในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดี ด้วงสีดาจะว่ายน้ำบนผิวน้ำซึ่งสังเกตเห็นได้เป็นฟองอากาศสีเงินที่เกิดจากตัวด้วงที่จับอากาศไว้ที่ใต้ปีกสำหรับหายใจเวลาดำน้ำ (นฤมล, 2548)

จากผลการใช้ค่าคะแนน ASPT พบว่าค่าคะแนนเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งบ่อบ่ม 3 มีค่าคะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือบ่อบ่ม 2, 1 และบ่อแฟคัลเททิฟตามลำดับ สำหรับการให้ค่าคะแนน ASPT กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบปรับเสถียรแล้วนำมาเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำที่ได้กำหนดขึ้นนั้นมีความสอดคล้องเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นดัชนีประเมินคุณภาพน้ำในระบบบำบัดได้

สรุป

1. การใช้จำนวนรวมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้ำดินในระดับอันดับ (Order) และระดับวงศ์เป็นดัชนีชีวภาพเพื่อตรวจติดตามระดับคุณภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบปรับเสถียร มีความสอดคล้องกับปริมาณสารอินทรีย์ คือจะพบหนอนแดง หนอนแมลงวันดอกไม้ และหนอนแมลงวันอื่นๆ จำนวนมากในบ่อแฟคัลเททิฟ ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูงที่สุด ในทำนองเดียวกันก็พบกิ้ง ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว และด้วงสีดาเป็นจำนวนมากที่สุดในบ่อบ่ม 2 และ 3 ซึ่งบ่อน้ำที่มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำกว่า

2. การใช้ระบบค่าคะแนน ASPT มีแนวโน้มว่าอาจใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบคุณภาพ

น้ำทางชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ และมีความสอดคล้องกับผลการตรวจวัดทางด้านเคมีและกายภาพ

3. การใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเป็นตัวดัชนีชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบปรับเสถียรนี้ คาดว่าจะสามารถประยุกต์ใช้ให้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำนิ่งในแหล่งชุมชนเมืองโดยทั่วไปได้ ซึ่งมักมีระดับการปนเปื้อนของน้ำเสียจากชุมชนในระดับต่างๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และศูนย์วิจัยและพัฒนาการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ม.ขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กานต์ธิดา เชียงทอง. 2548. การใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของคุณภาพน้ำลุ่มน้ำแม่คำ อำเภอมะนัง และอำเภอมะปายหลวง จังหวัดเชียงราย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่

ทิวรัตน์ เถลิงเกียรติสิลา. 2547. ความหลากหลายและชีววิทยาบางประการของกุ่มฝอยน้ำจืดในกุดทิงใหญ่ จังหวัดหนองคาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาการประมง), มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

นฤมล แสงประดับ. 2544. การจำแนกคุณภาพน้ำทางชีวภาพด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น; 3(1): 6-8.

นฤมล แสงประดับ. 2548. เอกสารคำสอนวิชาแมลงน้ำ. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น : ขอนแก่น

นฤมล แสงประดับ. 2549. การประเมินคุณภาพแหล่งน้ำจัดด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 34(1): 34-36.

บริษัทออลเวท. 2548. กุ้ง. [ออนไลน์] (อ้างเมื่อ 16 ตุลาคม 2548) [http://www.kungthai.com /KungThai/con_detail.php?id=21](http://www.kungthai.com/KungThai/con_detail.php?id=21)

บุญเสถียร บุญสูง และนฤมล แสงประดับ. 2545. ผลของการเลี้ยงปลาในกระชังต่อชุมชนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในลำน้ำชี. วารสารวิทยาศาสตรมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 30(4): 229-239.

รัฐชา ชัยชนะ. 2546. การตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้ตัวชี้วัดทางชีวภาพ (Biomonitoring). [ออนไลน์] (อ้างเมื่อ 11 กันยายน 2548) http://www.thaibryozoans.com/news_articles/bioindicator_th.shtm.

ศุภลักษณ์ สามีภาค และนฤมล แสงประดับ. 2548. การเชื่อมโยงตัวอ่อนแมลงชีปะขาวอันดับย่อย Baetidae Cenidae และ Ephemeroidea ในลำธารห้วยหญ้าเครืออุทยานแห่งชาติน้ำหนาว: บทคัดย่อโครงการวิจัยและวิทยา นิพนธ์ 2548. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์

สรณรัชฎ์ กาญจนะวณิช และนิรมล มูลจินดา. 2542. คู่มือนักสืบสายน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แปลนพริ้นติ้ง.

สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2548. การตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน. [ออนไลน์] (อ้างเมื่อ 21 กรกฎาคม 2548) http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_water.cfm?task=quality.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 10. 2546. คู่มืออาชีพการสำรวจหน้าดิน การเฝ้าระวังคุณภาพแหล่งน้ำจัดโดยวิธีทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 3. ขอนแก่น: โรงพิมพ์ธรรมขันธ์.

- เทิรพัทตร สุจิรา. 2546. ผลของแคะตเมี่ยมและตะกั่วที่มีต่อรึนน้ำจืด (*Chironomus* sp.) วิทยานพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณทิต (สาขาวิชาชีววิทยา), มหาวิทยาลัยขอนแก่น : ขอนแก่น.
- Barbour, MT., Gerritsen, J., Snyder, BD., and Stribling, JB. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in stream and wadeable river: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2nd ed. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.
- Bartram, J., and Balance, R. 1996. Water Quality Monitoring. A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. London: E and FN SPON.
- Bendati, MMA., Maizonave, CRM., Olabarriage, EO., and Rosado, RM. 1998. Use of the benthic macroinvertebrate community as a pollution indicator in the Gravatai River (RS, Brasil). Verh. Internat. Verein. Limmo. (26): 2019-2033.
- Lind, OT. 1979. Hand book of common methods in limnology. St.Louis: The C.V. Mosby.
- Merritt, RW., and Cummins, KW. 1984. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Third Edition.
- Mustow, SE. 2002. Biological monitoring of rivers in Thailand: use and adaptation of the BMWP score. Hydrobiologia (497): 191-229.
- Pennak, RW. 1964. Collegiate Dictionary of Zoology. New York: The Ronal Press Company.
- Rosenberg, DM., and Resh, VD. 1993. Fresh water biomonitoring and benthic Macroinvertebrates. NewYork: Chapman and Hall.