บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานิเวศพิษวิทยาและการติดตามทางชีวภาพของตัวอย่างตะกอนดินใต้น้ำที่ปนเปื้อนโครเมียมและแคดเมียมที่มีต่อหอยน้ำจืดและหนอนริ้นน้ำจืด มีการตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ชีววิทยาของสัตว์หน้าดินที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 ชีววิทยาของริ้นน้ำจืด (Midge)

ริ้นน้ำจืด มีการจำแนกทางอนุกรมวิธาน ดังต่อไปนี้ (Sasa and Kikuchi, 1995)

ชื่อภาษาไทย : ริ้นน้ำจืด
ชื่อสามัญ : Midge
ชื่ออันดับ : Diptera
ชื่อวงศ์ : Chironomidae
ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Chironomus* sp.

(1) ลักษณะสำคัญ

หนอนริ้นน้ำจืดหรือหนอนแดง (Bloodworm) เป็นชื่อเรียกตัวอ่อนของแมลงในวงศ์ย่อย Chironomidae สกุล Chironomus เหตุที่เรียกว่าหนอนแดง เนื่องจากลำตัวมีสีแดงเพราะมีสารฮีโมโกลบินอยู่ในเลือด (Thompson and English, 1966) ตัวเต็มวัยของหนอนแดงคือแมลงที่มีรูปร่างลักษณะคล้ายยุง แต่ลักษณะลำตัวบอบบางกว่า และอวัยวะสำหรับดูดอาหาร (Proboscis) ไม่ค่อยเจริญและสั้นกว่ายุง หนอนแดงไม่ดูดเลือดคนหรือสัตว์เป็นอาหารและไม่เป็นพาหะนำโรค

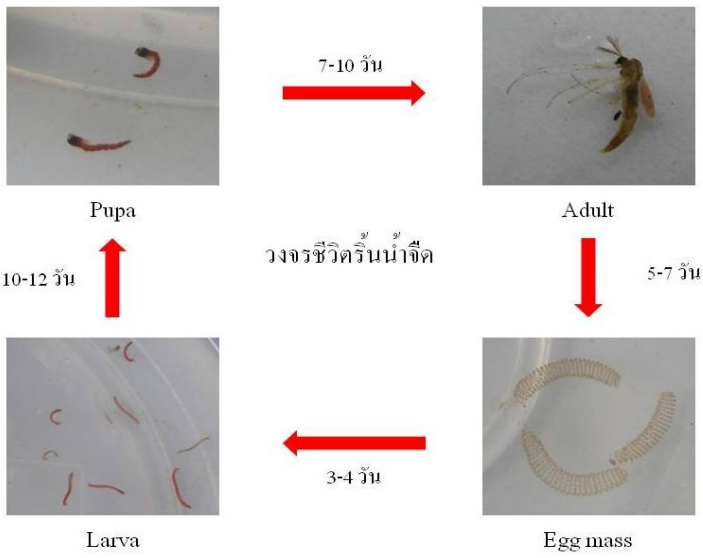
วงจรชีวิตของหนอนริ้นน้ำจืดเริ่มจากไข่เป็นตัวเต็มวัยค่อนข้างสั้นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตัวผู้มีวงจรชีวิตประมาณ 25 วัน ตัวเมียมีวงจรชีวิตประมาณ 27 วัน การเจริญเติบโตของริ้นน้ำจืดเป็นแบบสมบูรณ์ (Complete Metamorphosis) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ไข่ (Egg) ตัวหนอน (Larva) ดักแด้ (Pupa) และตัวเต็มวัย (Adult) ตามลำดับ การเจริญเติบโตของตัวอ่อนแบ่งเป็น 4 วัยคือ วัยแรก วัยสอง วัยสาม และวัยสี่ ซึ่งจะมีการลอกคราบก่อนที่จะเปลี่ยนวัยทุกครั้ง สังเกตการเปลี่ยนวัยและการเจริญเติบโตได้โดยการวัดขนาดความกว้างและความยาวของกระโหลกส่วนหัวของตัวอ่อน

ตัวอ่อนวัยแรก (First Instar) มีขนาดลำตัวยาว 1 มิลลิเมตร ตัวอ่อนวัยนี้ใช้เวลา 2-3 วัน มีความรู้สึกไวต่อแสง ลำตัวยังไม่มีสีแดง เมื่อเริ่มว่ายน้ำเป็นอิสระก็จะเริ่มสร้างปลอกหุ้มลำตัวโดยใช้กระดายเยื่อและเศษอาหารคลุกเคล้ากัน

ตัวอ่อนวัยสอง (Second Instar) มีขนาดลำตัวยาว 1-3 มิลลิเมตร ตัวอ่อนอยู่ระยะนี้ประมาณ 2 วัน ตัวอ่อนเริ่มมีสีแดง หลังการลอกคราบของตัวอ่อนวัยแรก

ตัวอ่อนวัยสาม (Third Instar) มีขนาดลำตัวยาว 3-6 มิลลิเมตร ใช้เวลาประมาณ 2 วัน ตัวอ่อนระยะนี้เจริญเติบโตเร็วมาก เริ่มเห็นอวัยวะสืบพันธุ์เป็นตุ่มเล็ก ๆ แต่ยังแยกเพศไม่ได้

ตัวอ่อนวัยสี่ (Fourth Instar) มีขนาดลำตัวยาว 6-20 มิลลิเมตร วัยนี้อวัยวะสืบพันธุ์เจริญอย่างรวดเร็วและเจริญเต็มที่ตอนปลายระยะจึงทำให้สามารถแยกเพศได้ชัดเจน ตัวอ่อนอยู่ในระยะนี้นานกว่าระยะอื่น ๆ แต่ระยะเวลาจะต่างกันระหว่างเพศผู้และเพศเมีย เพศผู้อยู่ในระยะนี้สั้นกว่าเพศเมียโดยใช้เวลาเพียง 7-8 วัน ซึ่งเพศเมียใช้เวลา 9-10 วัน ดังนี้เพศผู้จะเจริญเป็นตัวดักแด้และเป็นตัวเต็มวัยก่อนเพศเมียประมาณ 2 วัน นอกจากนี้เพศผู้มีขนาดเล็กกว่าเพศเมียอย่างเห็นได้ชัด (เฉลียว, 2537; Bat and Akbulut, 2001)



ภาพที่ 2.1 วงจรชีวิตของหนอนริ้นน้ำจืด

(2) แหล่งที่อยู่อาศัย

หนอนริ้นน้ำจืดเป็นแมลงขนาดเล็กพบได้โดยทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น คู คลอง หนอง บึง หรือทะเลสาบ ทั้งในเขตหนาว อบอุ่น และร้อ น (Williams and Feltmate, 1992)

ส่วนใหญ่หนอนริ้นน้ำจืดอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำตั้งแต่ระยะไข่จนถึงดักแด้ ส่วนระยะตัวเต็มวัยอาศัยอยู่บนบก โดยตัวหนอนริ้นน้ำจืดอาศัยอยู่ในชั้นตะกอนดินพื้นท้องน้ำ สร้างปลอกหุ้มลำตัวจากเศษซาก พืชใบไม้และกิ่งไม้ที่ทับถมในตะกอนดินใต้น้ำ กินเศษซากอินทรียวัตถุเป็นอาหาร ตัวเต็มวัยอาศัยอยู่บนบกใกล้ ๆ แหล่งน้ำ ดูดกินน้ำหวานเป็นอาหาร (สำรวย, 2532)

(3) ประโยชน์และความสำคัญ

หนอนริ้นน้ำจืดเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำ เช่น ปลา เพราะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 5.29 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.22 ไขมันร้อยละ 1.21 และมีพลังงานที่สูงถึง 495.51 กิโลแค ลอรี่ต่อกิโลกรัม จึงทำให้อัตราการรอดชีวิตและอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อระบบห่วงโซ่อาหาร และช่วยฟื้นฟูระบบนิเวศแหล่งน้ำ โดยย่อยสลายเศษซากอินทรียวัตถุที่อยู่ในตะกอนดินใต้น้ำ (สำรวย, 2532)

(4) คุณสมบัติการเป็นสัตว์ทดลอง

หนอนริ้นน้ำจืดเป็นสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการที่ดี (Taylor et al., 1993) เพราะมีขนาดเล็ก วงจรชีวิตสั้น เพิ่มปริมาณได้รวดเร็วและจำนวนมาก เลี้ยงง่ายในห้องปฏิบัติการ (McCahon and Pascoe, 1988) มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ มาก เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเค็ม เป็นต้น (Armetage et al., 1995; Cranston, 2004) ไวต่อการตอบสนองของสารพิษ และมีความสำคัญต่อระบบห่วงโซ่อาหารและระบบนิเวศทางน้ำ (สำรวย, 2532)

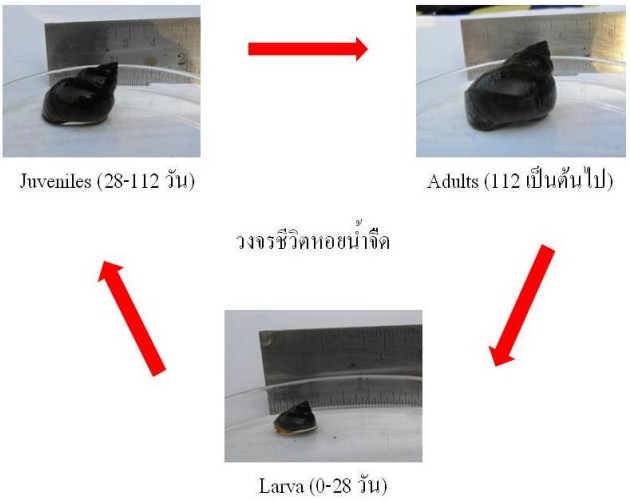
2.1.2 ชีววิทยาของหอยน้ำจืด (Freshwater Snail)

หอยขม มีการจำแนกทางอนุกรมวิธาน ดังต่อไปนี้ (กรมประมง, ม.ป.ป.)

ชื่อภาษาไทย :	หอยขม
ชื่อสามัญ :	Pond snail หรือ River snail
ชื่ออันดับ :	Mesogastropoda
ชื่อวงศ์ :	Viviparidae
ชื่อวิทยาศาสตร์ :	*Filopaludina (Siamopaludina) martensi martensi*

(1) ลักษณะสำคัญ

หอยขมเป็นหอยฝาเดียวขนาดเล็กอาศัยในแหล่งน้ำจืด เปลือกเป็นเกลียวกลมยอดแหลม เปลือกหนาและแข็ง ผิวชั้นนอกเป็นสีเขียวแก่ ฝาปิดเปลือกเป็นแผ่นกลม ตีนใหญ่ จะงอยปากสั้นทู่ ตามีสีดำอยู่ตรงกลางระหว่ างโคนหนวด ตัวผู้มีหนวดเส้นข้างขวาพองโตกว่าเส้นข้างซ้าย ลักษณะพิเศษของหอยชนิดนี้ จะมีอวัยวะเพศทั้งเพศผู้และเพศเมียอยู่ในตัวเดียวกัน ออกลูกเป็นตัว การผสมพันธุ์จะต้องผสมกับตัวอื่น เป็นการแลกเปลี่ยนน้ำเชื้อซึ่งกันและกันโดยไม่ได้ผสมตัวเอง (ดีพร้อม, 2541) เมื่ออายุได้ 60 วัน หอยขมออกลูกเป็นตัวครั้งละประมาณ 40-50 ตัว ลูกหอยขมที่ออกมาใหม่ ๆ มีวุ้นหุ้มอยู่ แม่หอยขมจะใช้หนวดแทงวุ้นจนแตก เพื่อให้ลูกหอยหลุดออกจากวุ้น ลูกหอยขมสามารถเคลื่อนไหวได้ทันทีเมื่อออกจากตัวแม่ จะพบเห็นชุกชุมอยู่ในช่วงเดือนธันวาคม-พฤษภาคม ซึ่ง Ma et al. (2010) กล่าวว่าวงจรชีวิตของหอยน้ำจืด แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ ระยะ Larva มีระยะเวลา 0-28 วัน, ระยะตัวอ่อน (Juveniles) มีระยะเวลา 28-112 วัน และระยะตัวเต็มวัย (Adults) มีระยะเวลาตั้งแต่ 112 วัน



ภาพที่ 2.2 วงจรชีวิตของหอยน้ำจืด

(2) แหล่งที่อยู่อาศัย

หอยขมอาศัยในแหล่งน้ำจืด เช่น ในคู คลอง หนอง บึง ที่น้ำไม่ไหลแรงและเป็นแหล่งน้ำนิ่งที่มีระดับความลึกตั้งแต่ 10 เซนติเมตร ถึง 2 เมตร มักเกาะอยู่กับพันธุ์ไม้น้ำ เสาหลัก ตอไม้ หรือตามพื้นท้องน้ำตามธรรมชาติ กินอาหารพวกสาหร่าย และอินทรียสาร ใบไม้ใบหญ้าผุๆใน

น้ำ รวมทั้งซากอินทรีย์ที่เน่าเปื่อยและผงตะกอนที่จมอยู่ตามผิวดิน (คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร, 2552)

(3) ประโยชน์และความสำคัญ

หอยขมเป็นสัตว์น้ำที่ให้คุณค่าทางอาหาร มีโปรตีน ร้อยละ 12 คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 4 ไขมัน ร้อยละ 2 และความชื้น ร้อยละ 78 จึงเหมาะสำหรับนำมาประกอบอาหารแต่ก่อนรับประทานควรทำให้หอยขมสุกเต็มที่ เนื่องจากหอยขมมีตัวอ่อนของพยาธิใบไม้ในลำไส้ เมื่อเข้าสู่คนแล้วสามารถเจริญเติบโตในคนได้ (อ้างในสัตว์โลก, 2010)

(4) คุณสมบัติการเป็นสัตว์ทดลอง

คุณลักษณะหลายประการที่ ทำให้หอยเป็นสิ่งมีชีวิตที่ใช้ติดตามสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่ากว่าสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ คือ เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทสำคัญในระบบ นิเวศ มีการกระจายทางภูมิศาสตร์อย่างกว้างขวาง พบได้ทั่วไป อยู่กับที่ ทนการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม สามารถทนกับสารปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ สูง หาได้ง่ายในแหล่งน้ำธรรมชาติ สามารถดำรงชีวิตได้จากการกินอาหารที่มีการปนเปื้อนสารโลหะหนักในปริมาณสูงได้ และมีขนาดที่เหมาะสมและแข็งแรงซึ่งเหมาะสมในการศึกษาในห้องปฏิบัติการ (Cortet et al., 1999; Zhou et al., 2008; ชุลีมาศ และคณะ, 2550)

2.2 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง แร่ธาตุที่มีประจุไฟฟ้าบวก มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป โดยไม่รวมโลหะที่เป็นอัลคาไลน์ (Alkali) และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline Earth) มีความหนาแน่นอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 5 เท่าของน้ำ (ศุภมาศ, 2539; Mottet, 1974) มีน้ำหนักอะตอมสูงกว่า 100 ขึ้นไป (Greath, 1990) มีความหนาแน่นมาก กว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Stoker and Seagers, 1976) มีคุณสมบัติเป็นของแข็งหรือเมื่อหลอมเหลว มีลักษณะเป็นเงาและมันวาว เป็นตัวนำความร้อนที่ดี เหนียว และสามารถดัดงอโดยไม่แตกหัก มีจุดแข็งตัวและจุดหลอมเหลวที่แน่นอน สามารถรวมตัวกับสารประกอบอื่น ๆ กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายสภาพที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ (ศุภมาศ, 2539) เช่น แคดเมียม ไซยาไนด์ ปรอท ทองแดง สังกะสี โครเมียม แมงกานีส สารหนู อาเซนิค และตะกั่ว เป็นต้น

โลหะหนักเป็นสารกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญในทางพิษวิทยา เนื่องจากนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการแพร่กระจายและปนเปื้อนเข้า

สู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง เช่น ทางดิน น้ำ และอากาศ เมื่อโลหะหนักป นเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำ จึงละลายได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ เช่น พวกอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ท ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ Na^+ แย่งจับกับสารประกอบที่อยู่ในน้ำ ทำให้เกิดการตกตะกอนได้น้อยลง และละลายน้ำได้มากขึ้น การลดลงของออกซิเจนในน้ำ ทำให้เ กิดสภาวะการขาดออ กซิเจน เกิดเป็นสารประกอบไฮดรัสออกไซด์ ที่ละลายน้ำได้ และการลดลงของ pH ทำให้ H^+ เพิ่มขึ้น จึงเข้าไปแทนที่โลหะหนักในรูปของสารประกอบคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ เกิดการตกตะกอนได้น้อยลงและละลายน้ำได้มากขึ้น แต่เมื่อโลหะหนักที่ปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำทำปฏิกิริยากับแอน อิออนที่อยู่ในน้ำ เช่น คาร์บอเนต ออกไซด์ ซัลไฟด์ คลอไรด์ และไนเตรท เป็นต้น ทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ และตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำแล้วเข้าไปสะสมอยู่ในตะกอนดิน เกิดการดูดซับเข้าสู่อนุภาคของดิน ซากแพลงก์ตอนพืชและสัตว์ แล้วถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น จนกระทั่งเข้าสู่ระบบห่วงโซ่อาหารและมนุษย์ในที่สุด (โชคชัย, 2536)

2.2.1 โครเมียม (Cr)

(1) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

โครเมียมจัดเป็นธาตุทรานสิชัน อยู่ในหมู่ VI B มีสัญลักษณ์ คือ Cr มี Atomic Number เท่ากับ 24 Atomic Weight เท่ากับ 51.996 มีจุดเดือดเท่ากับ 2,665 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวเท่ากับ 1,875 องศาเซลเซียส โครเมียมสามารถเกิดไอออน Cr^{2+}, Cr^{3+} และ CrO_4^{2+} ได้ในสารละลายออกซิเดชั่นของโครเมียมที่เสถียรที่สุด +3 สารประกอบของ Cr(III) เป็นตัวริดิวส์ และสารประกอบของ Cr(VI) เป็นตัวออก ซิไดส์อย่างแรง สมบัติความเป็นกรดและเบสสังเกตได้จากออกซิเดชั่นเสตต คือความเป็นกรดจะเพิ่มเมื่อออกซิเดชั่นสเตตของโครเมียมสูงขึ้น เช่น ในออกไซ ด์ CrO และไฮดรอกไซด์ $Cr(OH)_2$ โครเมียมมีออกซิเดชั่นสเตต +2 เป็นเบสใน Cr_2O_3 โครเมียมมีออกซิเดชั่นสเตต +3 เป็นแอมไฟเทอริก ออกไซด์ และใน CrO_3 โครเมียมมีออกซิเดชันสเตต +6 เป็นแอซิดิกออกไซด์

โครเมียมเป็นโลหะชนิดหนึ่ง ซึ่งมีสีขาวคล้ายเงิน แข็งและเปราะ พบได้ในธรรมชาติในประเทศต่าง ๆ แร่ที่สำคัญที่สุดของโครเมียม คือ แร่โครไมต์ (Chromite) มีสูตรคือ $FeO.Cr_2O_3$ เป็นออกไซด์ผสมระหว่างโครเมียมกับเหล็ก พบได้ในธรรมชาติ (สิทธิชัย, 2549)

(2) ประโยชน์ของโครเมียม

โครเมียมนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เช่น ชุบชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า นำมาผสมกับโลหะระหว่างโครเมียม เหล็ก และนิกเกิล เป็นโลหะผสมปราศจาก

สนิม และผสมกับโลหะอื่นแต่ละตัว เช่น นิกเกิล โคบอลต์ ไททาเนียม เป็นโลหะผสมธรรมดา และงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่นำโครเมียมมาใช้ ได้แก่ การพิมพ์ภาพด้วยเพลตโลหะ การผลิตหลอดภาพโทรทัศน์สี งานเครื่องแก้ว การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ การแกะสลักภาพ งานถ่ายภาพ การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ การผลิตสิ่งทอ

(3) การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนของโครเมียมในสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่มาจากอุตสาหกรรมดังกล่าวข้างต้น เมื่อเกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำต่าง ๆ โครเมียมก็จะสะสมในน้ำ ตะกอนดินใต้น้ำ พืช และสัตว์น้ำ ในที่สุดมนุษย์ก็อาจได้รับเข้าสู่ร่างกายทางห่วงโซ่อาหาร

สุจารี (2547) วิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมในน้ำทะเล ตะกอนดินและสัตว์น้ำทะเลผิวดิน บริเวณ จ.สมุทรปราการ พบระดับความเข้มข้นของโครเมียมในตะกอนดินและสัตว์ทะเลผิวดินค่อนข้างสูง โดยในตะกอนดินวัดได้ 102.46-527.03 mg/g ส่วนในสัตว์ทะเลผิวดิน พบการสะสมโครเมียมในหอยกระปุก หอยขี้นก เพรียงทราย และหนอนถั่ว โดยวัดความเข้มข้นของโครเมียมได้ในระดับ 30-1,200 mg/g การทดลองความเป็นพิษต่อปริมาณโครเมียมในเพรียงทราย พบว่าโครเมียม 36-251 mg/g มีผลทำให้เพรียงทรายมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลง

จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษบริเวณชายฝั่งทะเลทั่ วประเทศ ในปี พ.ศ. 2541, 2542, 2544, 2549 และ 2551 พบว่า ปริมาณโครเมียมในตะกอนดินมีค่าเฉลี่ย 21.13, 15.44, 16.10, 20.01 และ 15.93 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (ตารางที่ 2.1) โดยมีค่าเปอร์เซนต์ไทล์ที่ 80 ของข้อมูลดังกล่าว เท่ากับ 33 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) และได้เปรียบเทียบค่ามาตรฐานคุณภาพดินตะกอนกับแนวทางพิจารณาต่างๆ (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยของปริมาณโครเมียม (mg/kg dry wt.) ในตะกอนดินบริเวณชายฝั่งของประเทศไทย

พื้นที่	2541	2542	2544	2549	2551
ชายฝั่งทะเลทั่วประเทศ	21.13	15.44	16.10	20.01	15.93
อ่าวไทยฝั่งตะวันออก	19.00	13.90	25.20	16.78	14.14
อ่าวไทยตอนใน	39.19	35.91	42.56	45.57	33.67
อ่าวไทยฝั่งตะวันตก	18.60	15.04	24.53	18.72	14.61
ทะเลฝั่งอันดามัน	15.83	9.63	18.28	14.85	12.42
Detection Limit	0.1	0.06	0.3	0.02	0.3

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (ม.ป.ป.)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบวิธีพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพดินตะกอน

วิธีพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพดินตะกอน	ปริมาณโครเมียม (mg/kg dry wt.)
1. แนวทางกำหนดค่ามาตรฐานโดยวิธี EqP	1.4
2. แนวทางกำหนดค่ามาตรฐานโดยใช้ BCF	1.16 (ปลา)
2.1 BCF (LaGrega, M.D et al., 2001)	0.25 – 0.93 (ปลา)
2.2 BCF (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)	0.06 – 0.53 (หอย)
3. NOEL และ LOEL	260 และ 270
4. ค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดินของต่างประเทศ	
4.1 อเมริกา (ERL / ERM)	81 / 370
4.2 ฮ่องกง (ISQV-Low / ISQV-High)	80 / 370
4.3 ออสเตรเลีย-นิวซีแลนด์ (ISQV-Low / ISQV-High)	80 / 370
5. โครงการ UNEP GEF	81 / 370
6. Baseline (percentile 80)	33
7. กรมควบคุมมลพิษ *	ไม่เกิน 43.4

หมายเหตุ : ERL = Effects Range Low ERM = Effects Range Median
ISQV = Interim Sediment Quality Values NOEL = No Observed Effect Level
LOEL = Lowest Observed Effect Level
* ร่างมาตรฐานคุณภาพตะกอนดินในแหล่งน้ำผิวดิน เพื่อป้องกันผลกระทบอันไม่พึงประสงค์ของสารอันตรายที่จะมีต่อสัตว์หน้าดิน

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (ม.ป.ป.)

2.2.2 แคดเมียม (Cd)

(1) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบา อ่อน ดัดโค้งได้ง่าย และทนต่อการกัดกร่อน มีความหนาแน่น 8.65 ค่า Mohs Hardness 2.0 ค่า Refractive Index 1.13 จุดหลอมเหลว (m.p) 302.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด (b.p.) 767 องศาเซลเซียส มีความดันไอ (Vapor Pressure) 1.4 มิลลิเมตร ที่ 400 องศาเซลเซียส และ 16 มิลลิเมตร ที่ 500 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อมีการใช้ความร้อนสูง เช่น การอบแร่ การบัดกรี การหลอมเหล็ก และการเผาของเสีย จะทำให้มีไอของแคดเมียมออกมาได้ในระหว่างกระบวนการที่มีการให้ความร้อน และไอของแคดเมียมในอากาศจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วไปเป็นแคดเมียมออกไซด์ (CdO) นอกจากนี้แคดเมียมยังเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (HNO_3) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เจือจางซึ่งจะทำให้เป็นอันตรายต่อคนแบบเฉียบพลันเมื่อกินเข้าไป โดยทั่วไปจะไม่ค่อยพบแคดเมียมในรูปของ

แคดเมียม บริสุทธิ์ แต่มักพบในรูปของสารประกอบ ของเกลือ เช่น แคดเมียมซัลเฟต ($CdSO_4$) แคดเมียมไนเตรต ($Cd(NO_3)_2$) แคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2$) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลายได้ดีในน้ำ และแคดเมียมยังสามารถรวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับไซยาไนด์ (Cyanides) และเอไมน์ (Amines) (เขมชิต และคณะ, 2551)

(2) ประโยชน์ของแคดเมียม

แคดเมียมเกิดขึ้นในธรรมชาติร่วมกับสังกะสีเป็นส่วนมาก เพราะธาตุทั้งสองมีสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีที่คล้ายคลึงกัน และมีการนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ดังนี้

(2.1) ด้านเกษตรกรรม ใช้แคดเมียมเป็นองค์ประกอบของสารปราบวัชพืช (Herbicide) สารปราบเชื้อรา (Fungicide) และใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟต เป็นต้น

(2.2) ด้านอุตสาหกรรม ใช้แคดเมียมเป็น ส่วนประกอบของสีในอุตสาหกรรมทำสีทาบ้าน สีชุบโลหะ เพื่อป้องกันการกัดกร่อน สีย้อมในเซรามิค เส้นใยแก้ว หมึกพิมพ์ ได้แก่ แคดเมียมซัลไฟซีลีไนต์ และแคดเมียมซัลไฟด์ ใช้เป็นสารที่ทำให้สีเป็นเนื้อเดียวกัน , แคดเมียมสเตียเรต ใช้ในการทำพลาส ติกโพลีไวนิลคลอไรด์ ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอยด์ (Alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและความทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น อัลลอยด์ของทองแดงที่มีแคดเมียม 1 % (Cadmium Bronze) และใช้เป็นส่วนประกอบในวิทยุ โทรศัพท์ ในอุตสาหกรรมทำแบตเตอรี่ เป็นต้น จึงเป็นสารเหตุให้แคดเมียมมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและมนุษย์ได้

(3) การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

แคดเมียมเป็นธาตุที่มีอยู่น้อยในธรรมชาติ ส่วนมากมักเกิดปนอยู่กับแร่สังกะสี ทองแดง และดีบุก ดังนั้นจึงสามารถพบแคดเมียมได้ในโรงงานย่างแร่สังกะสี ถลุงดีบุก เป็นต้น ในทางอุตสาหกรรมแคดเมียมถูกนำมาใช้ในการทำยาง พลาสติก ผสมน้ำมันเค รื่อง ใช้ทำสารกำจัดศัตรูพืช เหล่านี้จะทำให้แคดเมียมมีการปนเปื้อนในดินได้ ส่วนแ คดเมียมในอากาศมาจากควันที่ปล่อยออกมาจากโรงงานดังกล่าว

การปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำ ส่วนใหญ่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานย่างแร่สังกะสี โรงงานชุบโลหะ โรงงานแบตเตอรี่ ที่มีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำจากการทำเหมืองแร่ สังกะสี ดีบุก ซึ่งมีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ ก็จะเกิดการชะล้างลงสู่แหล่งน้ำได้

แคดเมียม มีความเป็นพิษสูงต่อพืช สัตว์และมนุษย์ ไตนั้นเป็นอวัยวะเป้าหมายของการแสดงความเป็นพิษของแคดเมียม สิ่งมีชีวิตในน้ำบางชนิดมีควา มไวสูงต่อแคดเมียมด้วยผลกระทบที่เป็นอันตรายที่มีรายงานในปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่ระดับความเข้มข้นต่ำเท่ากับ 5 ไมโครกรัม/ลิตร จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษบริเวณชายฝั่งทะเลทั่วประเทศ ในปี พ.ศ.2541, 2542, 2544, 2549 และ 2551 พบว่า ปริมาณแคดเมียมในตะกอนดิ นมีค่าเฉลี่ย 0.37, 0.08, 0.10, 0.047และ 0.051 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (ตารางที่ 2.3) โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 80 ของข้อมูลดังกล่าว เท่ากับ 0.20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และได้เปรียบเทียบค่ามาตรฐานคุณภาพดินตะกอนกับแนวทางพิจารณาต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยของปริมาณแคดเมียม (mg/kg dry wt.) ในตะกอนดินบริเวณชายฝั่งประเทศไทย

พื้นที่	2541	2542	2544	2549	2551
ชายฝั่งทะเลทั่วประเทศ	0.37	0.08	0.10	0.05	0.05
อ่าวไทยฝั่งตะวันออก	0.30	0.30	0.11	0.06	0.07
อ่าวไทยตอนใน	0.40	0.12	0.12	0.08	0.13
อ่าวไทยฝั่งตะวันตก	0.43	0.04	0.10	0.06	0.05
ทะเลฝั่งอันดามัน	0.31	0.11	0.11	0.04	0.03
Detection Limit	0.07	0.04	0.05	0.01	0.01

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (ม.ป.ป.)

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบวิธีพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน

วิธีพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพดินตะกอน	ปริมาณแคดเมียม (mg/kg dry wt.)
1. แนวทางกำหนดค่ามาตรฐานโดยวิธี EqP	0.26
2. แนวทางกำหนดค่ามาตรฐานโดยใช้ BCF	0.856 (ปลา)
2.1 BCF (LaGrega, M.D et al., 2001)	0.49 – 0.69 (ปลา)
2.2 BCF (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)	0.005 – 0.69 (หอย)
3. NOEL และ LOEL	5.1 และ 6.7
4. ค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดินของต่างประเทศ	
4.1 อเมริกา (ERL / ERM)	1.2 / 9.6
4.2 ฮ่องกง (ISQV-Low / ISQV-High)	1.5 / 9.6
4.3 ออสเตรเลีย-นิวซีแลนด์ (ISQV-Low / ISQV-High)	1.5 / 10

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบวิธีพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน (ต่อ)

วิธีพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพดินตะกอน	ปริมาณแคดเมียม (mg/kg dry wt.)
5. โครงการ UNEP GEF	1.2 / 9.6
6. Baseline (percentile 80)	0.20
7. กรมควบคุมมลพิษ *	ไม่เกิน 0.99

หมายเหตุ : ERL = Effects Range Low ERM = Effects Range Median
ISQV = Interim Sediment Quality Values NOEL = No Observed Effect Level
LOEL = Lowest Observed Effect Level
* ร่างมาตรฐานคุณภาพตะกอนดินในแหล่งน้ำผิวดิน เพื่อป้องกันผลกระทบอันไม่พึงประสงค์ของสารอันตรายที่จะมีต่อสัตว์หน้าดิน

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (ม.ป.ป.)

การทดลองในสัตว์พบว่า แคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็งโดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่อยู่ลึก (Sarcoma) เช่น กล้ามเนื้อกระดูกในหนูทดลอง จากความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียมที่กล่าวมา ยังมีโลหะหนักอื่นอีกหลายชนิดซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่เป็นอันตรา ยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น ตะกั่ว สารหนู ปรอท โครเมียม เป็นต้น เนื่องจากโลหะหนักเหล่านี้จะทำให้โลหะหนักมีโอกาสที่จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ การศึกษาพิษวิทยาของโลหะหนักจึงมีความสำคัญเพื่อหาแนวทางป้องกันอันตรายที่อาจเกิ ดขึ้นในอนาคตต่อไป

2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของประเทศไทย

มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของประเทศไทย

ดัชนีคุณภาพน้ำผิวดิน	เกณฑ์กำหนดสูงสุด mg/L	วิธีการตรวจสอบ
ความเป็นกรดและด่าง	5-9	pH meter
ออกซิเจนละลายน้ำ	4.0	Azide Modification
บีโอดี	2.0	Azide Modification อุณหภูมิ 20 ºC 5 วัน
ไนเตรต	5.0	Cadmium Reduction
แอมโมเนีย	0.5	Distillation Nesslerization

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของประเทศไทย (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำผิวดิน	เกณฑ์กำหนดสูงสุด mg/L	วิธีการตรวจสอบ
โครเมียม	0.05	Atomic Absorption Direct Aspiration
แคดเมียม	0.005 *	Atomic Absorption Direct Aspiration
	0.05 **	

หมายเหตุ : * น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ได้แก แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประดยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การเกษตร

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2537)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การปนเปื้อนและการประเมินความเสี่ยงของโลหะหนักในแหล่งน้ำ

ในแหล่งน้ำที่มีการสะสมและการปนเปื้อนของโลหะหนักจะก่อให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำ และเกิดการสะสมในสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้นด้วย ซึ่งคุณภาพน้ำนั้นมีอิทธิพล ต่อการสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตนั้น ทั้งโลหะหนักที่อยู่ในรูปแตกตัวเป็นประจุหรือจับกับสารอื่นเป็นสารประกอบอนินทรีย์เชิงซ้อน และโลหะที่อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำหรือเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ จะทำให้ปริมาณ โลหะจากน้ำที่สิ่งมีชีวิตรับได้ (Bioavailability) ลดลง ตัวอย่างเช่น ความกระด้างของน้ำทำให้สิ่งมีชีวิตรับโลหะ เช่น สังกะสีได้น้อยลง ส่วนแมกนีเซียมในน้ำกระด้างจะยับยั้งการดูดซึมโลหะของสัตว์น้ำ เป็นต้น และการสะสมโลหะจากน้ำในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน เช่น แพลงก์ตอนสัตว์สามารถสะสมพวกโลหะได้ดี ในขณะที่สัตว์ชนิดอื่น เช่น ปลามีการควบคุมปริมาณโลหะที่รับได้โดยอาศัยโปรตีนในเซลล์คอยจับโลหะ ทำให้ปริมาณการรับโลหะในปลาหรือสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิดเกือบเป็นศูนย์ นอกจากนั้นขนาดของสิ่งมีชีวิตก็มีผลต่อการสะสมโลหะโดยพบว่าถ้าขนาดของสิ่งมีชีวิตใหญ่ขึ้นการสะสมโลหะจะลดลงด้วย

เมื่อมีการปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำ โลหะหนักที่ไม่ละลายน้ำก็จะตกตะกอนลงสู่ตะกอนดินใต้น้ำ ซึ่งตะกอนดินใต้น้ำเป็นที่สะสมอนุภาคต่าง ๆ รวมทั้งสารพิษที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ และทำหน้าที่เป็นที่เก็บและปล่อยสารพิษในน้ำ การสะสม สารพิษในตะกอนดินใต้น้ำจะมีความเข้มข้นสูงและสูงกว่าความเข้มข้นในน้ำหลายเท่าเนื่องจากสารนั้นเกาะกับตะกอนดินใต้น้ำได้ดี และ

การสะสมสารพิษใน สัตว์หน้าดิน ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ หน้าดิน เนื่องจากสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีความเป็นอยู่และการกินอาหารที่ต่างกัน ดังนี้

1) สิ่งมีชีวิตที่เกาะกับตะกอนดินใต้น้ำอาจรับสารพิษจากน้ำที่แทรกอยู่ในตะกอนดินใต้น้ำที่มีสารสะสมอยู่ เช่น พวกสัตว์ไม่มีกระดูสันหลังต่าง ๆ

2) สิ่งมีชีวิตกินอนุภาคของดินหรืออินทรียวัตถุที่ละลายน้ำที่มีสารปนเปื้อนเป็นอาหาร เช่น หอย กุ้ง กั้ง และสัตว์หน้าดินต่าง ๆ เป็นต้น

3) สารพิษสามารถซึมเข้าทางผิวหนังเนื่องจากสัตว์เกาะอยู่กับตะกอนดินใต้น้ำที่มีสารปนเปื้อน เช่น ออปลิโกขีด เป็นต้น

4) สิ่งมีชีวิตรับสารพิษจากน้ำที่อยู่เหนือชั้นตะกอนดินใต้น้ำนั้น (มลิวรรณ, 2552)

การสะสมโลหะหนักในตะกอนดินใต้น้ำจะ สูงกว่าในน้ำถึง 100,000 เท่า โดยขึ้นกับจุดที่สารสามารถเกาะบนตะกอนดินใต้น้ำ การเพิ่มความเข้มข้นของเหล็ กออกไซด์ (FeO) ซัลเฟอร์ (S) หรือปริมาณอินทรียวัตถุ ในตะกอนดินใต้น้ำจะทำให้ปริมาณโลหะที่สัตว์น้ำรับได้ลดลง เนื่องจากสารเหล่านี้ไปเพิ่มจุดที่โลหะเกาะได้บนอนุ ภาคดินทำให้โลหะยังอยู่ในตะกอนดินใต้น้ำมากกว่าในน้ำ และบางครั้งการดูดซับโลหะบนตะกอนดินใต้น้ำจะขึ้นกับรูปของโลหะด้วย เช่น โลหะที่เปลี่ยนรูปเป็นซัลไฟด์ที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้โลหะตกตะกอนมา กกว่าละลายน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้การดูดซับโลหะในดินยังขึ้นกับองค์ประกอบของอนุ ภาคตะกอนดิน เช่น กรดฮิวมิค (Humic Acid) ที่เป็นส่วนหนึ่งของอินทรียวัตถุเป็นตัวดูดซับแคดเมียมรวมทั้งโลหะหนักอื่น ๆ เอาไว้ทำให้ปริมาณโลหะที่สัตว์น้ำได้รับลดลง ส่วนสัตว์หน้าดินที่กินตะกอนดินเข้าไปก็จะขับสารออกมาด้วยทำให้การสะสมโลหะในตะกอนดินเปลี่ยนแปลงได้ตลอด เวลา (มลิวรรณ, 2552) และจากการรายงานของ Environmental Protection Agency (EPA) พบว่าปริมาณแคดเมียมในตะกอนดินใต้น้ำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนดินใต้น้ำซึ่งการดูดซับแคดเมียมของตะกอนดินใต้น้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในตะกอนดินใ ต้น้ำ ตะกอนดินใต้น้ำสามารถดูดซับแคดเมียมในแหล่งน้ำจืดได้ดี ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนดิน ปริมาณแคดเมียม ชนิดของแคดเมียม อุณหภูมิ pH และความกระด้างของน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าในตะกอนดินนั้นมี กรดฮิวมิคประกอบอยู่ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการดูดซับแคดเมียมด้วย (Rocha et al., 2007) และแคดเมียมที่สะสมในตะกอนดินสามารถกระจายออกมาในชั้นน้ำได้เมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น

อุไรวรรณ และคณะ (2542) ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักตกค้างในตะกอน ใต้น้ำของลำน้ำพอง โดยการศึกษาโลหะหนักในตะกอนดินใต้น้ำ 5 ชนิด คือ ตะกั่ว โครเมียม ทองแดง แคดเมียม และสังกะสี พบว่าสังกะสีมีปริมาณสูงสุด คือ 17.31-235 mg/kg แคดเมียมมีปริมาณต่ำสุด คือ มีค่า

0.38-3.35 mg/kg ตะกั่วมีค่า 8.75-58.75 mg/kg โครเมียมมีค่า 1.31-91 mg/kg และทองแดงมีค่า 4.44-32.06 mg/kg ปริมาณโลหะหนักโดยรวมมีปริมาณสูงสุดในเดือนมกราคมซึ่งเป็นช่วงฤ ดูหนาว และมีการชะล้างของตะกอน ดินใต้น้ำน้อย จึงทำให้มีการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดินใต้น้ำสูงกว่าในช่วงเดือนอื่น ๆ และปริมาณโลหะหนักในตะกอน ดินใต้น้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ พบว่าบริเวณบ้านพระคือ มีโลหะหนัก ทั้ง 5 ชนิด สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น ๆ เ นื่องจากลำน้ำพองช่วงที่ไหล ผ่านบ้านพระคือ ได้รับน้ำทิ้งจากเทศบาลนครขอนแก่น ที่น้ำทิ้งบางส่วนไม่ได้ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเทศบาล

ปิยมาภรณ์ (2545) ศึกษาเกี่ยวกับการสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตผ่านลำดับขั้นการบริโภคในแหล่งน้ำ โดยเก็บตัวอย่างจากหนอง เลิงเปือย ต .พระลับ อ .เมือง จ .ขอนแก่น ในเดือนมกราคม-มีนาคม พบว่า ปริมาณตะกั่วในแพลงก์ตอน ปลานิล และปลาช่อนมีค่าเฉลี่ย 21.65, 1.91 และ 0.47 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าปริมาณการสะสมตะกั่วในแพลงก์ตอน (ผู้บริโภคลำดับที่ 1) มีค่ามากกว่าปลานิลและปลาช่อน และพบว่าปริ มาณการสะสมตะกั่วในแพลงก์ตอน ปลานิล และปลาช่อนมากกว่าในน้ำถึง 721, 63 และ 15 เท่า ตามลำดับ จากข้อมูลจะพบว่าตะกั่วจะมีปริมาณการสะสมเพิ่มขึ้นตามห่วงโซ่อาหารซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนถึงเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้

2.4.2 การศึกษาผลกระทบสิ่ งแวดล้อมในระบบนิเวศทางน้ำโดยใช้ตัวชี้วัดทางชีวภาพ (Bioindicator)

การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ (Biological Monitoring) เป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำโดยการใช้การตอบสนองทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตเพื่อที่จะประเมินการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม (Matthews et al., 1982) นอกเหนือจากวิธีทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งมีการศึกษาครั้งแรกในทวีปยุโรปในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 (David and Vincent, 1992) การปรากฏตัวของสิ่งมีชีวิต สภาพของสิ่งมีชีวิต และจำนวนของสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชน้ำชนิดต่าง ๆ หรือสัตว์น้ำ เช่น ปลา แมลงสัตว์หน้าดิน หรือไบรโ อซัว สามารถที่จะบอกถึงความสัมพันธ์และเป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำและสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ได้ (Abel, 1989) จึงเรียกสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ว่าตัวชี้วัดทางชีวภาพ (Bioindicator) ดังนั้นหากมีการเก็บตัวอย่างทางชีวภาพและมีการวิเคราะ ห์ข้อมูลด้วยวิธีการที่เหมาะสม การเฝ้าระวังคุณภาพด้านชีวภาพของแหล่งน้ำสามารถที่จะบ่งชี้ปัญหาหรือการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำรวมถึงปัญหาการปนเปื้อนสารพิษในแหล่งน้ำได้ การวิเคราะห์ข้อมูลจากการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำด้านชีวภาพร่วมกับด้านกายภาพและเคมี จะสามารถบ่งชี้ถึ ง ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของน้ำด้านชีวภาพกับสภาวะการปนเปื้อนของสารเคมีที่ระดับความ

เข้มข้นต่าง ๆ ได้ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการหาระดับความเข้มข้นของสารเคมีที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ เพื่อกำหนดเป็นเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำต่อไป (ชุลีมาศ, 2551)

การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศทางน้ำโดยใช้ตัวชี้วัดทางชีวภาพ (Bioindicators) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองต่อสารพิษของสิ่งมีชีวิตเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการติดตามมลพิษที่จะเกิดขึ้นในระบบนิเวศทุก ๆ ระดับ คือตัวบ่งชี้ทางนิเวศพิษวิทยา (Toxicological Indicators) ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารพิษกับปฏิกิริยาที่สิ่งมีชีวิตแสดงออกมาโดยศึกษาในระดับโมเลกุล เซลล์ สิ่งมีชีวิต และกลุ่มสิ่งมีชีวิต ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการเตือนภัยล่วงหน้าว่าระบบนิเวศมีการปนเปื้อนสารพิษ (ชุลีมาศ, 2551) ซึ่งมีการศึกษาตัวชี้วัดทางชีวภาพ มีดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบพิษเฉียบพลันและพิษรองเฉียบพลัน (Testing Lethal and Sublethal Effects) ซึ่งการทดสอบพิษเฉียบพลันเป็นการศึกษาปริมาณของสารพิษที่สามารถทำให้ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตตาย 50 % เป็นต้น ส่วนการทดสอบพิษรองเฉียบพลันเป็นการศึกษาผลกระทบของสารพิษในปริมาณที่ไม่ทำให้สิ่งมีชีวิตตาย แต่ในการศึกษาในระยะยาวจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านพฤติกรรม สัณฐานวิทยา สรีรวิทยาและกระบวนการทางชีวเคมีของสิ่งมีชีวิต (Cortet et al., 1999 อ้างในชุลีมาศ, 2551)

โลหะหนักและสารประกอบของโลหะหนักก่อเกิดให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำสามารถสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารได้ (Hammond and Belies, 1980) โลหะหนักเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งในด้านพิษเฉียบพลัน และพิษรองเฉียบพลัน (พัชรา, 2531) ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตแตกต่างกันออกไป เช่น พิษต่อเนื้อเยื่ออวัยวะต่าง ๆ ทำให้เกิดมะเร็งได้ ความเป็นพิษของโลหะหนักจะมากน้อยเพียงใด ขึ้นกับขนาดหรือปริมาณที่ได้รับ อายุ ความแตกต่างของความต้านทานในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด (เบญจวรรณ, 2549)

(2) การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีระวิทยา (Exposure Biomarkers and Physiological Changes) เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลและชีวเคมีที่เกิดขึ้นหลังจากได้รับสารพิษเข้าไป ซึ่งสามารถวัดได้จากปริมาณโปรตีนที่ใช้ในการย่อยสลายสารพิษที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น Cytochrome P450 เป็นต้น และเอนไซม์ที่มีความเฉพาะเจาะจง เช่น Metallothionein เป็นต้น โดย Berger et al. (1995) ได้ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Metallothionein ในหอยหลังจากได้ให้อาหารที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม (ชุลีมาศ, 2551)

การศึกษาผลกระทบของโลหะหนักที่มีต่อสิ่งมีชีวิตทางน้ำส่วนใหญ่จะนิยมศึกษาทางด้านกายภาพและเคมี เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก ให้ค่าเป็นตัวเลข แต่วิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดคือไม่สามารถบอกผลกระทบที่เกิดจากการตกค้างของสารพิษต่อระบบนิเวศทางน้ำได้ชัดเจน จึงมีการพัฒนาใช้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำมาร่วมในการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งทางกายภาพและเคมีด้วย (Depledge and Fossi, 1994 อ้างในนฤมล, 2542; ชุลีมาศ, 2548) คือการศึกษาการทดสอบพิษเฉียบพลันและพิษรองเฉียบพลัน เช่น การศึกษาสรีรวิทยาและกระบวนการทางชีวเคมีของสิ่งมีชีวิตตระกูลหอย (Gastropods) ส่วนใหญ่มีการทำการทดลองในหอยและหอยทาก ซึ่งสามารถดำรงชีวิตจาก การกิ นอาหารที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักในปริมาณสูงได้ แต่อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการสืบพันธุ์ จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนักและสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ (Cortet et al., 1999 อ้างในชุลีมาศ และคณะ , 2550) และศึกษาโดยใช้สิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ เช่น พืชน้ำ สาหร่าย สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน และปลา เพื่อใช้เป็นตัวบ่งบอกคุณภาพน้ำและเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง โดยที่การศึกษาในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในแหล่งน้ำจืดส่วนมากกว่าร้อยละ 90 เป็นตัวอ่อนของแมลงน้ำเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ได้รับความนิยมในกา รใช้ประเมินผลกระทบ ติดตามคุณภาพน้ำ และการตรวจวัดมลพิษทางน้ำในหลายประเทศทั่วโลก (Rosenberg and Resh, 1993) ซึ่งแมลงน้ำในกลุ่มริ้นน้ำจืด (Chironomids) เป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญ และสามารถที่จะใช้เป็นเครื่องมือสำหรับในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแว ดล้อมได้ โดยสามารถที่จะใช้เป็น Biological Indicator ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำได้ โดยอาศัยหลักการตรวจวินิจฉัยลงไปถึงระดับ Genus และ Species ที่สัมพันธ์กับคุณภาพน้ำในแต่ละแหล่งที่สิ่งมีชีวิตชนิดนี้อยู่อาศัย ก็จะสามารถบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ (Roongruangwongse and Supasi, 1999)

จากการวิจัยทางพิษวิทยาของ Zhou et al. (2008) กล่าวว่าการติดตามทางชีวภาพ (Biomonitoring) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินมลพิษทางโลหะหนักในระบบนิเวศสิ่งมีชีวิตในน้ำ ซึ่งตัวชี้วัดทางชีวภาพ (Bioindicators) ที่ใช้ประกอบด้วย สาหร่าย Macrophyte แพลงก์ตอนสัตว์ แมลง หอยสองฝา หอยทาก ปลา สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ และอื่น ๆ การติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพมีประโยชน์ในการติดตามผลกระทบของการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ และมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้สิ่งมีชีวิตในน้ำเพื่อใ ช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ โดยทำการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันดังนี้

Watts and Pascoe (2000) ได้ศึกษาถึงความเป็นพิษเฉียบพลันของแคดเมียมต่อตัวอ่อนริ้นน้ำจืด ชนิด *Chironomus riparius* และ *Chironomus tentans* พบว่า พิษของแคดเมียมต่อตัวอ่อนริ้นน้ำจืดทั้ง 2 ชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่ง Fargasova (2001) ได้ศึกษาถึงความเป็นพิษเฉียบพลันที่ LC_{50} และ LC_{95} ของแคดเมียม ทองแดง สังกะสี และอลูมิเนียมต่อตัวอ่อนริ้นน้ำจืด ชนิด *Chironomus*

plumosus พบว่า แคดเมียมมีค่าความเป็นพิษน้อยกว่าทองแดง ส่วน Vermeulen et al. (2000) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของตะกั่วต่อตัวหนอนริ้นน้ำจืด *Chironomus riparius* พบว่า ตะกั่วมีผลทำให้ Pectins ในตัวอ่อนริ้นน้ำจืดผิดปกติส่งผลกระทบต่อความผิดปกติของส่วนปากและการลอกคราบ และ Meregalli et al. (2000) ได้ศึกษาถึงความผิดปกติของส่วนปากของตัวหนอนริ้นน้ำจืดชนิด *Chironomus riparius* ที่ได้รับแคดเมียมและตะกั่วในตะกอนดิน ใต้น้ำจากแม่น้ำ Demer ใน Flanders ประเทศเบลเยี่ยม พบความผิดปกติที่ฐานริมฝีปากล่าง (Mentum) และฟัน (Mandible) และ Pectins นอกจากนี้ Martinez et al. (2001) ได้ศึกษาความผิดปกติทางด้านสัณฐานวิทยาของตัวอ่อนริ้นน้ำจืดชนิด *Chironomus tentans* ที่ได้รับตะกั่ว และ สังกะสี พบความผิดปกติของส่วนปากเพิ่มขึ้น 12 % และ 9 % จากการได้รับตะกั่วและสังกะสี ตามลำดับ และ Martinez et al. (2002) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความผิดปกติของฐานริมฝีปากล่างในตัวหนอนริ้นน้ำจืดที่ได้รับแคดเมียม ทองแดง นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี พบว่าโลหะหนักทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของส่วนปากตัวหนอนริ้นน้ำจืด ยกเว้นนิเกิล และมีการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสารพิษต่อหอยน้ำจืดและหนอนริ้นน้ำจืด (ตารางที่ 2.6) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการศึกษาโดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาของต่างประเทศในการศึกษาผลกระทบของโลหะหนักที่มีต่อหนอนริ้นน้ำจืดในประเทศไทยยังมีน้อย ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นประโยชน์และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาและวิจัยความเสี่ยงของโลหะหนักต่อระบบนิเวศทางน้ำต่อไปในอนาคต

ตารางที่ 2.6 ค่า LC_{50} ของโลหะหนักต่อหอยน้ำจืดและหนอนริ้นน้ำจืด

โลหะหนัก	สัตว์หน้าดิน	ตัวอ่อน	ค่า LC_{50} (mg/l)	ระยะเวลา (hr)	อ้างอิง
$CdCl_2$	C.*xanthus*	วัย 4	0.52 (0.42-0.64)	96	Printes et al. (2007)
$K_2Cr_2O_7$	*Chironomus*	larvae	35 (survival)	96	Water research centre (WRc). (1994, 1997)
$K_2Cr_2O_7$	C.*riparius*	วัย 4	528 (403-748)	24	Choi et al. (2001)
Cd	C. *tentans*	larvae	29.56	48	Suedel et al. (1997)
			8	96	
Pb	*Filopaludina*	-	319.47	24	Jantataeme et al. (1996)
	(Siamopaludina) martensi		271.03	48	
	martensi (Frauenfeldt)		235.35	72	
			191.69	96	
Cr (VI)	Spire snail (*Amnicola sp.*)	-	0.806	24	Rehwoldt et al. (1973)

2.4.3 การติดตามมลพิษสิ่งแวดล้อมโดยใช้ตัวชี้วัดมลพิษสิ่งแวดล้อม (Biomarker)

การติดตามประเมินสภาวะแวดล้อมโดยวิธีการใช้สิ่งมีชีวิต (Biomonitoring) เริ่มมีบทบาทสำคัญในการจัดการสิ่งแวดล้ อม เนื่องจากการตรวจสอบทางกายภาพหรือเคมีอาจไม่แสดงผลกระทบที่มีต่อระบบนิเวศนั้นได้ ซึ่งการใช้วิธีทางชีวภาพโดยใช้สิ่งมีชีวิตสามารถทำได้หลายทาง โดยการใช้ความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) หรือการใช้การตอบสนองทางสภาพชีววิทยาจากภายในสิ่งมีชีวิตนั้นต่อสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น เรียกว่า ตัวชี้วัดมลพิษสิ่งแวดล้อม (Biomarker) ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมและมลภาวะที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำมีผลกระทบโดยตรงต่อจำนวนชนิด (Species) ปริมาณ (Abundance) และรูปแบบการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ นั้น (Abel, 1989) ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้านชีวภาพจึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญและมีผู้นิยมใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำร่วมกับการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้านกายภาพและเคมี เพื่อให้ผลที่ได้ออกมามีความน่าเชื่อถือ ถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น (ชุลีมาศ, 2545)

ตัวชี้วัด มลพิษ สิ่งแวดล้อมจากการตอบสนองทางชีวภาพ (Biomarker) คือการวัดการตอบสนองทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตต่อการได้รับสารเคมี โดยศึกษาผลกระทบของสารเคมีต่อระดับของการตอบสนองทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตเริ่มจากการศึกษาระดับโครงสร้างและ หน้าที่ต่าง ๆ ของโมเลกุลสิ่งมีชีวิตจนสามารถทำนายถึงโครงสร้างของระบบนิเวศได้ (David, 1994) และเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของสารเคมีต่อพฤติกรรมต่าง ๆ ทั้งทางโครงสร้างและสรีรวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปของ สิ่งมีชีวิต เช่น ลักษณะการกินอาหาร การตาย การเปลี่ยนแปลงอัตราการสืบพันธุ์ในรุ่นลูก การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อและระดับเอนไซม์ในร่างกาย เป็นต้น ส่วนจุดเด่นและจุดด้อยของสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่าง ๆ ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดมลพิษสิ่งแวดล้อม (Biomarker) ในแหล่งน้ำแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 จุดเด่นและจุดด้อยของสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่าง ๆที่ใช้เป็นตัวชี้วัดมลพิษสิ่งแวดล้อม (Biomarker) ในแหล่งน้ำ

กลุ่มของสิ่งมีชีวิต	จุดเด่น	จุดด้อย
ปลา	1) สามารถสังเกตเห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อตัวปลาได้ 2) ไวต่อการเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ 3) การระบุชื่อชนิด/การจะแนกชนิดทำได้ง่าย	1) สามารถเคลื่อนที่ได้ดี จึงสามารถหลบหนีภาวะมลพิษในแหล่งน้ำได้ 2) การเก็บตัวอย่างค่อนข้างยากโดยเฉพาะในแม่น้ำที่ลึกและน้ำไหลเชี่ยว

ตารางที่ 2.7 จุดเด่นและจุดด้อยของสิ่งมีชีวิตกลุ่มต่าง ๆที่ใช้เป็นตัวชี้วัดมลพิษสิ่งแวดล้อม (Biomarker) ในแหล่งน้ำ (ต่อ)

กลุ่มของสิ่งมีชีวิต	จุดเด่น	จุดด้อย
	4) มีขนาดใหญ่ สังเกตด้วยตาเปล่าได้	
สาหร่าย, แพลงก์ตอนพืช	1) มีประโยชน์มากในการประเมินการปนเปื้อนธาตุอาหารพืช (Eutrophication) และการเพิ่มขึ้นของความขุ่นในแหล่งน้ำ 2) สามารมองเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเนื่องจากบางชนิดมีสี	1) ต้องมีความเชี่ยวชาญในการจำแนกชนิดของแพลงก์ตอนพืชตามหลักอนุกรมวิธาน 2) ชี้วัดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และสิ่งปฏิกูลได้ 3) มีการเคลื่อนที่ลอยตัวตามกระแสน้ำและลม 4) ยากในการตรวจนับเมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์ 5) ยากในการแยกเซลล์ที่มีชีวิตและที่ตายแล้ว
พืชน้ำ	1) มีขนาดใหญ่ สามารถมองเห็นได้ชัดเจนจึงทำให้ง่ายต่อการจำแนกชนิด 2) เป็นตัวชี้วัดที่ดีสำหรับแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนด้วยของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ รวมทั้งความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารพืช	1) มีปฏิกิริยาตอบสนองต่อมลภาวะของแหล่งน้ำไม่ดีเท่าที่ควร 2) มีความทน ทานต่อภาวะมลพิษได้เพียงบางช่วง 3) ส่วนใหญ่จะพบเห็นพืชน้ำแต่ละชนิดตามฤดูกาล
สัตว์หน้าดิน	1) มีการเคลื่อนที่ได้น้อย ทำให้ตรวจสอบผลกระทบจากการปนเปื้อนของแต่ละพื้นที่ได้ดี 2) ส่วนใหญ่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้ดี 3) มีช่วงชีวิตที่ยาวนาน จึงสามารถเก็บตัว อย่างเป็นช่วง ๆ ได้ 4) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ยุ่งยาก 5) การดำรงชีวิตมีหลายรูปแบบและมีถิ่นที่อยู่หลายลักษณะ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดของแต่ละพื้นที่จึงใช้เป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำได้ดี และให้ผลออกมาเป็นตัวเลขที่เข้าใจง่าย เช่น ดัชนีความหล ากหลาย (Species Diversity Indices) เป็นต้น	1) การจำแนกชนิดในบางกลุ่มค่อนข้างยาก เช่น ในกลุ่ม Annelid หรือไส้เดือน 2) การวิเคราะห์ผลต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง เพราะว่าการไม่พบบางชนิดอาจเนื่องจากปรากฏการณ์ปกติของวงจรชีวิต 3) เก็บตัวอย่างในเชิงปริมาณค่อนข้ างยาก เพราะชนิดและปริมาณสัตว์ที่เก็บอาจไม่สอดคล้องกัน ถึงแม้จะเก็บในจุดเดียวกัน ต้องใช้ตัวอย่างจำนวนมาก ถึงจะให้ผลที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ

ที่มา: Hellawell (1978) อ้างโดยรัฐชา (2546) อ้างในชุลีมาศ (2551)

เอนไซม์เมทัลโลไธโอนนีน (Metallothionein; MT) เป็นสาร Biomarker ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้เป็นตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยที่ MT เป็นกลุ่มของ Intracellular ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เป็นกรดอะมิโนอิสระ และอุดมไปด้วยโปรตีน Cysteins ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 6-10 กิโลดาลตัน ซึ่งโปรตีนชนิดนี้จะพบมากในสัตว์และพบน้อยในพืชชั้นสูง เนื้ อเยื่อยูคาริโอต (Eukaryotic) และโปรคาริโอต (Prokaryotes) บางชนิด ซึ่ง MT พบมากในตับ ไต ตับอ่อน และลำไส้ในสัตว์บางชนิดและยังสะสมใน Lysosomes และพบใน Nuclei ด้วย (Tsujikawa et al., 1991) และเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่จับกับโลหะหนัก ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดมลพิษสิ่งแวดล้อมในสิ่งมีชีวิตในน้ำที่รับการปนเปื้อนโลหะหนัก ซึ่งพบว่า MT หรือ MTLPs (MT-like Protein) นี้จะพบในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำถึง 50 ชนิด (Langston et al., 1998) และจะควบคุมความสมดุลของ Zn และ Cu ในร่างกายของสิ่งมีชีวิต แต่จะขับสารพิษ เก็บ และควบคุมโลหะหนักที่ไม่จำเป็นไม่ให้เข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิต เช่น Hg และ Cd เป็นต้น (Bebianno et al., 1993 และ Amiard et al., 2006) โดยที่ระดับของ MT จะเพิ่มขึ้นเมื่ออวัยวะในร่างกายได้รับ ปริมาณ อิออนของโลหะหนัก เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ปริมาณ MT ยังขึ้นกับชนิดของ สิ่งมีชีวิตเนื้อเยื่อ อายุของสัตว์ นิสัยการกินอาหาร และปัจจัยอื่น ๆ ด้วย ซึ่งสาเหตุดังกล่าวนี้การศึกษาปริมาณเอนไซม์ MT ในสัตว์จึงสามารถนำมาใช้สำหรับติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมได้ (Prusa et al., 2006; Strouhal et al., 2003; Fabrik et al., 2008) และมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาปริมาณเอนไซม์ MT ต่อสัตว์หน้าดิน (ตารางที่ 2.8) และจากการศึกษาของ Fabrik et al. (2008) ที่ทำการศึกษาปริมาณเอนไซม์ MT ในตัวหนอนริ้นน้ำจืด (*Chironomus riparus*) วัยสาม หลังจากได้รับ Cd^{2+} พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของ Cd^{2+} ที่ระดับ 0, 50 ng Cd/g และ 50 µg Cd/g มีปริมาณเอนไซม์ MT เท่ากับ 134.892, 224.82 และ 325.989 µg/g ตามลำดับ ซึ่งปริมาณเอนไซม์ MT จะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของ Cd^{2+} ที่เพิ่มขึ้น ส่วน Ureña et al. (2010) ได้ทำการศึกษาปริมาณ MT ในหอยน้ำจืด (*Melanopsis dufouri*) ที่ได้รับ Cd พบว่าที่ความเข้มข้นของปริมาณ Cd ดังนี้ 0, 6 และ 100 µg/l ทำให้ปริมาณเอนไซม์ MT มีค่าเท่ากับ 1084.3, 1089.5 และ 1474.4 µg/g ตามลำดับและพบว่าปริมาณเอนไซม์ MT จะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มขึ้น

ซึ่งโลหะหนักเป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษเมื่อปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมแม้ในปริมาณที่ต่ำก็สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้ ดังนั้นเอนไซม์ MT จึงนำมาใช้เป็น Biomarker ที่วัดปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักที่มีปริมาณต่ำ ๆ ได้ เนื่องจากเอนไซม์ MT เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำพบมากในเซลล์สัตว์ และสามารถจับกับโล หะหนักได้หลายชนิด และในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาปริมาณเอนไซม์ MT ในการติดตามผลกระทบของตะกอนดินใต้น้ำที่ปนเปื้อน Cr และ Cd ที่มีต่อหอยน้ำจืดและหนอนริ้นน้ำจืด

ตารางที่ 2.8 ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เมทัลโลไธโอนีน (Metallothionein: MT) ในสิ่งมีชีวิตชนิดที่แตกต่างกัน

ชนิดสัตว์ทดลอง	เนื้อเยื่อ	วิธีการ	ความเข้มข้น	ปริมาณ MT (µg/g)	อ้างอิง
M. *dufouri*	Visceral complex	DPP	0 µg/l	1084.3	Ureña et al. (2010)
			6 µg/l	1089.5	
			100 µg/l	1474.4	
M. *tuberculata*	Whole animal	spectrophotometric	Natural	0.02-0.04	Wepener et al. (2005)
P. *vulgata*	Whole animal	spectrophotometric	0 g/L Cu	30	Brown et al. (2004)
			6.1 g/L Cu	20	
H. *pomatia*	Digestive gland	Cd-chelex	0 µg/g	294	Berger et al. (1995)
			36 µg/g	756	
C. *hortensis*	Digestive gland	Cd-chelex	0 µg/g	325	Dallinger et al. (2004a)
			9.2 µg/g	2925	
			64 µg/g	4550	
			Natural	130-1300	
H. *pomatia*	Digestive gland	Cd-chelex	1.2 µg/g	285	Chabicovsky et al. (2004)
			933 µg/g	2380	
H. *pomatia*	Digestive gland	Cd-chelex	0 µg/g	325	Dallinger et al. (2004b)
			933 µg/g	2112	
	Mantle	TTM	0 µg/g Cu	552.5	
			1216 µg/g Cu	732	
	Digestive gland	Cd-chelex	Natural	325-1218	
	Mantle	TTM	Natural	550-570	
H. *pomatia*	Digestive gland	TTM	0 µg/g Cu	373.8	Dallinger et al. (2005)
			115 µg/g Cu	406.3	
	Mantle	TTM	0 µg/g Cu	503.8	
			115 µg/g Cu	552.5	
	Foot	TTM	0 µg/g Cu	455	
			115 µg/g Cu	406.3	

DPP คือ Differential Pulse Polarography และ TTM คือ The Tetrathiomolybdate Method

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ureña et al. (2010)