บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชีววิทยาปลากะพงขาว

1. ลักษณะโดยทั่วไป

มีลักษณะลำตัวค่อนข้างยาวและหนาแบนข้างเล็กน้อย บริเวณไหล่จะโค้งมน ส่วนลำตัวจะลาดชันและเว้า ส่วนของขากรรไกรล่างยื่นยาวกว่าขากรรไกรบนเล็กน้อย ปากกว้าง ขอบปากบนเป็นแผ่นใหญ่ แยกเป็นแนวตอนต้นและตอนท้ายอย่างชัดเจน บริเวณส่วนปากจะยืดหดได้บ้าง ช่องปากเฉียงลงด้านล่างเล็กน้อย มีฟันเล็กละเอียดบนขากรรไกรบนและล่างและที่เพดานปาก ตาของปลาชนิดนี้มีขนาดกลางไม่มีเยื่อที่เป็นไขมันหุ้ม แผนแก้มมีขนาดใหญ่ มีขอบหลังเป็นหนามแหลม 4 ซี่ และเรียงต่อด้วยซี่เล็ก ๆ จัดตามแนวหลังด้านบนส่วนหัว และบนแผ่นเหงือกมีเกล็ดขนาดต่าง ๆ กัน เกล็ดบริเวณลำตัวค่อนข้างใหญ่ ด้านหลังมีสีเทาเงินหรือเขียวปนเทา ส่วนท้องจะมีสีเงินแกมเหลือง บริเวณด้านข้างของลำตัวมีสีเงิน ครีบหลัง ครีบก้น ครีบหางจะมีสีเทาปนดำบาง ๆ มีครีบหลังสองตอน ตอนแรกอยู่ตรงตำแหน่งของครีบท้อง มีก้านครีบแข็งที่แหลมคมขนาดใหญ่ 7 ถึง 8 ก้าน เชื่อมต่อกันด้วยเยื่อบาง ๆ ครีบหลังตอนที่สองแยกจากตอนแรกอย่างเห็นได้ชัด มีก้านครีบแข็ง 1 ก้าน ก้านครีบอ่อนมีปลายแตกแขนง มี 10 ถึง 11 ก้าน ครีบหูและครีบอกยาวไม่ถึงรูก้น ครีบก้นมีตำแหน่งใกล้เคียงกับครีบหลังตอนที่สอง ซึ่งประกอบด้วยก้านครีบแข็ง 3 ก้าน ก้านครีบอ่อน 7 ถึง 8 ก้าน ข้อหางสั้น ครีบหางค่อนข้างกลม เส้นข้างตัวโค้งไปตามแนวสันหลัง มีเกล็ดบนเส้นข้างตัว 52 ถึง 61 เกล็ด

2. การแพร่กระจาย

เป็นปลาน้ำกร่อยขนาดใหญ่ที่สุด เจริญเติบโตได้ดีในน้ำกร่อยและน้ำจืด จัดได้ว่าเป็นปลาประเภทสองน้ำ คือในช่วงชีวิตของปลากะพงขาวจะมีการเคลื่อนย้ายไปมาระหว่างแหล่งน้ำจืดและน้ำเค็ม ปลากะพงขาวขนาดใหญ่จะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่ไม่ห่างไกลออกไปจากฝั่งมากนัก พบมากตามบริเวณปากแม่น้ำลำคลอง ปากทะเลสาบและปากอ่าวบริเวณที่เป็นป่าไม้ชายเลนที่มีน้ำเค็มท่วมถึง โดยจะพบอยู่ทั่วไปในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นับตั้งแต่พม่า ไทย มาเลเซีย เวียดนามและแถบชายฝั่งทะเลของจีน ก็พบปลาชนิดนี้เช่นเดียวกัน สำหรับประเทศไทยสามารถพบปลากะพงขาวตามชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำใหญ่ ๆ ที่มีทางออกติดต่อกับทะเลที่มีป่าไม้ชายเลนขึ้นปกคลุม ทางจังหวัดตราด จันทบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสงคราม เป็นต้น

ปลากะพงขาวจะผสมพันธุ์และวางไข่ในน้ำทะเลที่มีความเค็มประมาณ 28 ถึง 32 ส่วนในพันส่วน ในทะเลที่มีความลึก หลังจากนั้นไข่จะถูกน้ำพัดพาเข้าสู่บริเวณชายฝั่งและฟักออกเป็นตัว ลูกปลากะพงขาวที่ฟักออกเป็นตัวจะดำรงชีวิตอยู่ในน้ำกร่อยและน้ำจืด จนมีอายุได้ 2 ถึง 3 ปี มีขนาด 3 ถึง 5 กิโลกรัม จะเคลื่อนตัวออกสู่ทะเล เพื่อทำการผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป

3. การแยกเพศ

ปลากะพงขาวเป็นปลาที่สังเกตเพศได้ยาก แต่ก็สามารถจะสังเกตได้จากลักษณะภายนอกของตัวปลา โดยปลาเพศผู้จะมีลำตัวยาวเรียวกว่าปลาเพศเมีย ลำตัวมีส่วนลึกที่น้อยกว่าปลาเพศเมีย และจะมีน้ำหนักน้อยกว่าปลาเพศเมียที่มีขนาดลำตัวยาวเท่ากัน ในปลาเพศเมียนั้น เมื่อถึงฤดูวางไข่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ส่วนท้องจะอวบเป่ง สังเกตได้ชัดเจนเมื่อเวลาเอามือคลำที่ท้องจะมีไข่ไหลออกมา

4. การจัดลำดับทางอนุกรมวิธาน

ปลากะพงขาวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Name) ว่า *Lates calcarifer* (Bloch) นักวิทยาศาสตร์ได้จัดจำแนกปลากะพงขาว ตามหลักอนุกรมวิธาน ดังนี้

Phylum Chordata
Subphylum Vertebrata
Subclass Teleostomi
Order Percomorphi
Family Centropomidae
Genus Lates
Species Calcarifer

5. ชื่อของปลากะพงขาว

ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ	Giant Perch; White Seabass, Silver Seaperch Giant Perch, Palmer, Cock-up Seabass
ไทย	Pla Kapongkao, Pla Kapong
อินเดีย	Begti, Bekti, Dangara, Woliji, Gitador, Todah Kora, Boor
ศรีลังกา	Modha Koliya, Keduwa
มาเลเซีย	Saikap, Kakap
บอร์เนียวเหนือ	Ikan, Salung-Sung
เวียดนาม	Ca-Chem, Carvot
กัมพูชา	Tvey Spong

ฟิลิปปินส์	Kakap, Apahap, Bulgan, Salong-Song, Katuyot, Matang pusa
อินโดนีเซีย	Kakap, Pelak, Petcham, Telap

หลักในการทดสอบความเป็นพิษ

สารพิษแต่ละชนิดมีความเป็นพิษแตกต่างกันออกไป เมื่อนำไปทดสอบกับสัตว์ทดลอง สารพิษบางชนิดจะแสดงผลออกมาให้เห็นได้อย่างชัดเจน แต่สารบางชนิดก็ต้องอาศัยเทคนิคหรือความรู้ทางการแพทย์เข้ามาช่วยจึงจะสามารถตรวจผลกระทบที่เกิดขึ้นได้
(วรวิทย์ ชีวาพร, 2527)

หลักเกณฑ์สำหรับใช้พิจารณาเกี่ยวกับความเป็นพิษของสารพิษที่มีต่อสัตว์ทดลอง

1. ระยะเวลาที่สัตว์ทดลองสามารถมีชีวิตอยู่ได้ (Survival Time) หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนกระทั่งสัตว์ทดลองตาย ซึ่ง Jones (1969) ได้แบ่งระยะเวลาการทดสอบความเป็นพิษในขั้นทำลายชีวิตออกเป็นช่วงต่าง ๆ ดังนี้

1.1 ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้สัตว์ทดลองเข้าไปอยู่ในที่มีสารพิษ จนกระทั่งสัตว์ทดลองมีพฤติกรรมผิดปกติไปโดยสามารถสังเกตเห็นได้ ช่วงเวลานี้ขึ้นกับอิทธิพลของสารพิษว่าจะแสดงความเป็นพิษได้เร็วหรือช้า

1.2 ระยะเวลาที่สารพิษทำให้สัตว์ทดลองเสียการทรงตัว (Manifestation or Overturning Time) การเสียการทรงตัวถ้าเป็นปลาจะสังเกตได้จากลักษณะการว่ายน้ำ โดยมันจะว่ายน้ำในลักษณะตะแคงตัว ส่วนหัวลงต่ำกว่าส่วนหางและไม่สามารถว่ายทวนน้ำได้ เมื่อสัตว์ทดลองเริ่มแสดงอาการเช่นนี้ ถ้านำไปไว้ในน้ำสะอาดมันจะสามารถฟื้นตัวได้

1.3 ระยะเวลาที่สัตว์ทดลองไม่สามารถฟื้นตัวได้แม้จะนำไปไว้ในน้ำสะอาดแล้ว การที่สัตว์ฟื้นตัวไม่ได้เนื่องจากได้รับอิทธิพลของสารพิษจนถึงขั้นสูงสุดแล้ว

1.4 ระยะเวลาทั้งหมดของการมีชีวิต โดยถือว่าสัตว์ทดลองตาย เมื่อมันหยุดหายใจหรือไม่มีการเคลื่อนไหวแต่อย่างไร ไม่ว่าจะกระตุ้นด้วยวิธีใด ๆ ก็ตาม

2. เปอร์เซ็นต์การตาย การพิจารณาความเป็นพิษของสารพิษในขั้นทำลายชีวิต โดยทั่วไปจะบันทึกผลการตายใน 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ถ้ามีการตายเกิดขึ้นในพวกที่เป็นกลุ่มควบคุม (Control) ต้องคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การตายที่ถูกต้องในกลุ่มสัตว์ทดลองที่ทดสอบกับสารพิษด้วย

$$\text{เปอร์เซ็นต์การตายที่ถูกต้อง} = \frac{(A - C) \times 100}{100 - C}$$

A = เปอร์เซ็นต์การตายของกลุ่มสัตว์ทดลองที่ใช้ทดสอบสารพิษของแต่ละความเข้มข้น

C = เปอร์เซ็นต์การตายของกลุ่มควบคุม

นอกจากนี้ยังสามารถใช้ความผิดปกติทางพฤติกรรม ทางสรีระ ทางพยาธิสภาพ การเจริญเติบโต การหายใจ การแพร่พันธุ์ เป็นต้น เป็นข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นพิษของสารพิษได้

3. การเปรียบเทียบความเป็นพิษ

วิธีการเปรียบเทียบที่ยึดถือกันเป็นมาตรฐานก็คือ การใช้ค่า LC_{50} (Median Lethal Concentration) หรือ TLm (Median Tolerance Limit) หรือ EC_{50} (Median Effective Concentration) เป็นดัชนีในการเปรียบเทียบ โดยค่า LC_{50} หรือ TLm ก็คือความเข้มข้นของสารที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50 เปอร์เซ็นต์ และ EC_{50} ก็คือความเข้มข้นของสารในขั้นไม่ทำลายชีวิต แต่มีผลกระทบต่อสัตว์ทดลอง 50 เปอร์เซ็นต์ ค่า LC_{50} หรือ TLm โดยมากจะประเมินจากกราฟ (Toxicity Curve) ที่มีระยะเวลาทดลองในช่วง 96 ชั่วโมง

4. ระบบการทดลอง

การที่จะทราบว่าเกิดสภาวะน้ำเสียขึ้นในแหล่งน้ำต่าง ๆ เนื่องจากการปนเปื้อนของสิ่งปฏิกูลหรือกากเหลือใช้ของสารหรือวัสดุประกอบการผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปนออกมากับสิ่งปฏิกูลอื่น ๆ จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตมนุษย์และสัตว์หรือไม่นั้น นอกจากการออกไปสำรวจหาข้อเท็จจริงในธรรมชาติแล้ว การทดลองกับสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการทางชีววิเคราะห์ (Bioassay Methods) ก็นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้นเกี่ยวกับอันตรายหรือความเป็นพิษของสารแต่ละชนิด

4.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

ในการศึกษาทดสอบกับสัตว์ทดลอง อุปกรณ์หรือภาชนะสำหรับการทดลองต้องพยายามเลือกให้มีความเหมาะสมกับขนาดและจำนวนของสัตว์ที่จะทดลองเพื่อสัตว์จะได้สามารถมีการเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระและในการทดลองที่ทำเป็นชุดอุปกรณ์ทุกอย่างควรอยู่ในมาตรฐานเดียวกัน เช่น ชนิดและขนาดของตู้เลี้ยงปลา รูปทรงของภาชนะ การเลือกอุปกรณ์ควรเป็นชนิดที่มีความคงทน ไม่เสื่อมทำลายได้ง่าย สำหรับอุปกรณ์ที่เคยใช้ในการทดลองกับสารชนิดอื่นมาแล้วต้องล้างให้สะอาดจริง ๆ ก่อนทำการทดลองกับสารชนิดใหม่เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารอื่น (ภาคผนวก ข) น้ำที่ใช้ในการทดลองต้องเป็นน้ำที่สะอาดและควรมีการเพิ่มออกซิเจนในน้ำก่อนที่จะนำเข้าสู่ระบบการทดลอง การจัดตั้งอุปกรณ์การทดลอง มี 2 ระบบ คือ

4.1.1 ระบบน้ำไหล (Continuous Flow System)

4.1.2 ระบบน้ำนิ่ง (Static Bioassay)

4.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารที่จัดว่าเป็นสารพิษหรือเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสัตว์ โดยมากแล้วจะเป็นสารที่ผลิตขึ้นด้วยกรรมวิธีทางเคมี ดังนั้นในการทดลองด้วยสารเหล่านี้ ผู้ทำการทดลองจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้น ๆ ดีพอควร เพื่อจะได้สามารถเตรียมอุปกรณ์การใช้สารได้อย่างถูกต้อง และในการทดลองเกี่ยงกับการใช้สาร อาจทำได้ 3 แบบ โดยการฉีดเข้าไปในตัวสัตว์ทดลอง ผสมในอาหารให้กินและทำเป็นสารละลายให้สัตว์รับสัมผัสภายนอก แต่โดยมากแล้วนิยมทำแบบรับสัมผัสภายนอก ซึ่งการทดลองแบบนี้จะต้องมีการเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับนำไปผสมในน้ำที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทดลอง

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน โดยทั่วไปแล้วจะใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย แต่ถ้าสารนั้นไม่ละลายน้ำก็ต้องเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมซึ่งควรเป็นสารที่ไม่เพิ่มความเป็นพิษ ความเข้มข้นของสารละลายต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของปริมาณเนื้อสารกับตัวทำละลาย ปริมาณเนื้อสารที่ใช้ไม่ควรน้อยเกินไป เพราะอาจเกิดสูญหายได้ง่ายขณะการเตรียมหรือไม่ควรเตรียมให้มีความเข้มข้นสูงเกินความจำเป็น ควรคำนึงถึงความเข้มข้นจริง ๆ ที่ต้องการใช้ในการทดลองด้วย

ภาชนะที่ใช้เก็บสารละลายมาตรฐานควรสะอาดและปิดไว้มิดชิด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารอื่นจากภายนอกและควรเป็นภาชนะที่ไม่ทำให้เกิดการสลายตัวได้เร็วกว่าปกติ อุปกรณ์ที่ใช้ดูดสารละลายมาตรฐานออกจากภาชนะที่เก็บ ควรเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมความเข้มข้นและอัตราการไหล

4.3 การเลือกสัตว์ทดลอง (Sprague, 1969) การเลือกสัตว์ทดลองควรพิจารณาถึง

4.3.1 ชนิดของสัตว์ทดลองที่จะแสดงอาการได้อย่างรวดเร็ว (Sensitive Species) หลังจากการรับสัมผัสกับสารนั้น ๆ

4.3.2 ชนิดของสัตว์ทดลองที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

4.3.3 ชนิดของสัตว์ทดลองที่ถือเป็นชนิดมาตรฐาน (Standard Species) คือเป็นชนิดที่นิยมใช้ในการทดลองทั่วไป เพราะเป็นพวกที่เลี้ยงได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ

นอกจากนี้สัตว์ทดลองควรเป็นชนิดที่สังเกตพฤติกรรมต่าง ๆ ได้โดยง่าย ขนาดหรืออายุของสัตว์ทดลองก็ควรให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อจะได้มีการตอบสนอง (Physiological Stress) เหมือน ๆ กัน

4.4 การทดลอง การวัดความรุนแรงของสารพิษ (Toxicants)

โดยวิธีการทางชีววิเคราะห์ โดยทั่วไปแล้ว มีการทดลองได้เป็น 2 แบบ คือ

4.4.1 การทดลองความร้ายแรงในขั้นทำลายชีวิต (Acute or Lethal Toxicity) การทดลองแบบนี้จะทำในระยะสั้น ๆ เช่น 2 วัน 4 วัน หรืออย่างมากไม่เกิน 1 อาทิตย์ สารที่ใช้มีความเข้มข้นสูงจนถึงขั้นทำลายชีวิตได้

4.4.2 การทดลองความรุนแรงในขั้นไม่ทำลายชีวิต (Chronic or Sublethal Toxicity) การทดลองแบบนี้ใช้ระยะเวลานานเป็นเดือน ๆ หรืออาจมากกว่า 1 ปี โดยใช้สารที่มีความเข้มข้นต่ำ แม้จะไม่ถึงขั้นทำลายชีวิตแต่ก็อาจมีผลกระทบที่สามารถสังเกตผลได้

เกี่ยวกับสัตว์ที่นำมาทดลอง โดยปกติแล้วถ้าไม่ได้เลี้ยงในห้องปฏิบัติการมาก่อน หลังจากจับมาจากธรรมชาติ ควรเลี้ยงไว้ระยะหนึ่ง ประมาณ 1 อาทิตย์ ก่อนเริ่มการทดลอง เพื่อให้สัตว์ทดลองได้ปรับตัวให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมใหม่ (Acclimatization) ในการทดลองสิ่งที่จะขาดไม่ได้ก็คือการมีกลุ่มควบคุม คือการทดลองกับสัตว์ทดลองโดยที่ไม่มีสารพิษผสมอยู่ โดยใช้ภาชนะหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในมาตรฐานเดียวกับกลุ่มที่ใช้ทดลองกับสารพิษและหลังจากเริ่มการทดลองแล้ว ปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจจะเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของสารพิษควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส ปริมาณออกซิเจนในน้ำและความเข้มข้นของสารก็ต้องตรวจสอบด้วย เพราะสารบางอย่างที่ละลายในน้ำอาจมีการจับตัวกับสิ่งแขวนลอยในน้ำและตกตะกอน ซึ่งจะทำให้ความเป็นพิษของสารในน้ำลดลงปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะใช้เป็นข้อมูลประกอบการอธิบายการทดลอง

5. ประโยชน์จากการศึกษา

การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสารพิษ ทั้งโดยการทดลองในห้องปฏิบัติการและการสำรวจข้อมูลในธรรมชาติ ทำให้สามารถที่จะทำนายได้ถึงความระดับความเป็นพิษหรือผลกระทบอันเกิดจากการมีสารพิษลงไปสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ Brown (1968) ได้อธิบายระดับความเป็นพิษของสารพิษ โดยคำนวณเป็นหน่วยความเป็นพิษ (Toxic Unit) ดังนี้

$$\text{Toxic Unit} = \frac{\text{Actual Concentration in Solution}}{\text{Lethal Threshold Concentration}}$$

Lethal Threshold Concentration คือ ปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ถ้าได้ค่าหน่วยความเป็นพิษ มากกว่า 1.0 อธิบายได้ว่าสารพิษนั้น ๆ มีผลทำให้เกิดการตายในธรรมชาติได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และถ้าหน่วยความเป็นพิษ มีค่าน้อยกว่า 1.0 ความรุนแรงของสารพิษนั้นก็จะลดลงเป็นลำดับ จากการคำนวณยังทำให้สามารถอธิบายได้ว่าในแหล่งน้ำที่เกิดสภาวะน้ำเสียเนื่องจากสารพิษนั้นจะมีความเป็นพิษทั้งหมด (Total Toxicity) มากน้อยเท่าใด โดยการหาผลรวมของค่าหน่วยความเป็นพิษ แต่ความเป็นพิษหรือผลกระทบที่เกิดจริงในแหล่งน้ำ อาจจะมีความคลาดเคลื่อนไปบ้างจากความเป็นพิษทั้งหมดที่คำนวณได้ เนื่องจาก

ปฏิกิริยาทางเคมีของสารพิษนั้น ๆ ที่อาจจะเป็นไปในแบบเสริมพิษหรือหักล้างพิษกันก็ได้ อย่างไรก็ตาม ประโยชน์ที่นับว่าสำคัญมากที่ได้จากการทดลองเกี่ยวกับความเป็นพิษของสารพิษคือ ทำให้ได้ข้อมูลสำหรับเป็นหลักเกณฑ์ในการวางมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาสภาวะน้ำเสีย โดยการกำหนดระดับความเข้มข้นของสารพิษที่ยอมให้มีการระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเรียกว่าระดับปลอดภัย (Safe Level Concentration)

หลักเกณฑ์ในการกำหนดระดับปลอดภัยของสาร

5.1 ไม่ทำให้เกิดการตาย แม้จะได้รับการสัมผัสกับสารเป็นระยะเวลานาน

5.2 ไม่ทำให้เกิดอันตรายในแบบเรื้อรังหรือเป็นพิษสะสม

5.3 เมื่อสารนั้น ๆ ไปรวมกับสารอื่น ๆ แล้ว ไม่ทำให้เกิดการเสริมพิษกัน (Synergism)

หลักการของเทคนิคการเตรียมเนื้อเยื่อเพื่อใช้ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์

กนกธร ปิยธำรงรัตน์ (2546) ได้อธิบายหลักการการเตรียมเนื้อเยื่อเพื่อใช้ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ดังนี้

1. การรักษาสภาพ (Fixation) คือ การใช้น้ำยาเคมีมาดองชิ้นเนื้อเยื่อ เพื่อรักษาสภาพของโครงสร้างเนื้อเยื่อให้เหมือนขณะมีชีวิตให้มากที่สุด ตัวอย่างเช่น สารละลายบูแอง (Bouin's Fluid) กรณีที่ใช้ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Light Microscope, LM)

2. การดึงน้ำออก (Dehydration) คือ การทำให้ชิ้นเนื้อเยื่อแห้งน้ำ โดยใช้ เอททิล แอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) หรือ อะซีโตน (Acetone) โดยเพิ่มความเข้มข้นขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อเข้าไปแทนที่น้ำในเซลล์

3. การทำให้ใส (Clearing) คือ การแทนที่ เอททิล แอลกอฮอล์หรืออะซีโตน ด้วยสารละลายอินทรีย์ เช่น ไซลีน (Xylene) ซึ่งนอกจากจะทำให้ชิ้นเนื้อเยื่อใสขึ้นยังเป็นตัวทำละลายสารที่จะนำชิ้นเนื้อเยื่อไปฝัง

4. การฝัง (Embedding) คือ การฝังชิ้นเนื้อเยื่อในสารที่สามารถแข็งตัวได้ เช่น พาราฟิน (Paraffin) กรณีที่ใช้ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์

5. การตัด (Sectioning) คือ การตัดแท่งของชิ้นเนื้อเยื่อให้ได้ชิ้นที่บางพอสำหรับใช้ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศ์

6. การย้อม (Staining) คือ การย้อมสีเพื่อเพิ่มความแตกต่างของโครงสร้างเนื้อเยื่อให้เห็นชัดเจนขึ้น โดยทั่วไปสีที่ใช้ย้อมเนื้อเยื่อเป็นสีที่มีองค์ประกอบที่เป็นเบส (Basic Dye) หรือมีไอออนบวก (Cation) อยู่ในโมเลกุลของสี ตัวอย่างเช่น ฮีมาทอกไซลีน (Hematoxylin, H) เมทิลลีน บลู

(Methylene Blue) และ โทลูอีน บลู (Toluidine Blue) เป็นต้น และสีที่มีองค์ประกอบที่เป็นกรด (Acidic Dye) หรือมีไอออนลบ (Anion) อยู่ในโมเลกุลของสี ตัวอย่างเช่น อีโอซิน (Eosin, E) และ ออเรนก์ จี (Orange G) เป็นต้น

ดังนั้นโครงสร้างเนื้อเยื่อที่มีอนุมูลเป็นกรดอยู่ในส่วนประกอบ เช่น นิวเคลียสจะย้อมติดสีที่มีองค์ประกอบที่เป็นเบส เรียกโครงสร้างเนื้อเยื่อเหล่านี้ว่า เบสโสฟิลิก สตรัคเจอร์ (Basophilic Structure) คือ มีสมบัติชอบติดสีเบส (Basophillia) ส่วนโครงสร้างเนื้อเยื่อที่มีอนุมูลเป็นเบสอยู่ในส่วนประกอบ เช่น โปรตีน และไซโตพลาซึม (Cytoplasm) เป็นต้น จะย้อมติดสีที่มีองค์ประกอบที่เป็นกรด เรียกโครงสร้างเนื้อเยื่อเหล่านี้ว่า แอซิดโดฟิลิก สตรัคเจอร์ (Acidophilic Structure) คือ มีสมบัติชอบติดสีกรด (Acidophilia or Eosinophilia)

โลหะหนัก (Heavy Metals)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะสูงตั้งแต่ 5 ขึ้นไป หรือมีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 92 ในจำนวนธาตุทั้งหมด 105 ธาตุ ในตารางธาตุ จัดเป็นโลหะทั้งหมด 83 ธาตุ โดยเป็นโลหะหนักเสีย 68 ธาตุ ตัวอย่างเช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง นิกเกิล โครเมียม เหล็ก แมงกานีส เป็นต้น โลหะหนักที่มีบทบาทต่อมลภาวะในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด มีด้วยกัน 3 ธาตุ คือ ปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม ซึ่งถ้ามีมากเกินขีดจำกัดแล้วจะทำให้มีพิษต่อร่างกายได้

ลักษณะการเป็นพิษนั้น โลหะหนักมักสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหารและในขบวนการทางชีวภาพ กล่าวคือ ถ้าน้ำมีโลหะหนักเข้าสู่ดิน สู่พืช สู่สัตว์และคนที่รับบริโภคเป็นคนสุดท้ายก็จะได้รับมากขึ้นกว่าพืชหรือสัตว์เพราะมีการสะสมเพิ่มขึ้นๆ นั่นเอง โลหะหนักจะเป็นสารพิษก็ต่อเมื่อมีระดับความเข้มข้นสูงเกินกว่าที่กำหนด (ตารางที่ 1 และ 2)

สิ่งมีชีวิตตอบสนองต่อพิษของโลหะหนักได้หลายแบบ โดยเฉพาะมีผลที่สำคัญต่อพฤติกรรมในระดับเซลล์ โดยแบ่งออกเป็นแบบต่าง ๆ ได้ 5 แบบ คือ

ก. ทำให้เซลล์ตาย

ข. เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์

ค. เป็นตัวการชักนำให้เกิดมะเร็ง

ง. เป็นตัวทำให้เกิดความผิดปกติแต่กำเนิด

จ. ทำความเสียหายต่อโครโมโซม (Chromosome)

ตารางที่ 1 ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายทนได้โดยไม่เกิดอันตราย ปริมาณที่ได้รับต่อวัน และปริมาณที่มีบนผิวโลก (จันทร์ศรี ดนูนาถ, 2539)

ธาตุ	ปริมาณที่ร่างกายทนได้โดยไม่เกิดอันตราย (มิลลิกรัมต่อ 70 กิโลกรัม)	ปริมาณที่ได้รับ (มิลลิกรัมต่อวัน)	ปริมาณที่มีบนโลก (ส่วนในล้านส่วน)
อลูมิเนียม (Al)	100	36.4	81,300
พลวง (Sb)	<90		0.2
สารหนู (As)	<100	0.7	2
แบเรียม (Ba)	16	16	400
โบรอน (B)	<10	0.01-0.02	16
แคดเมียม (Cd)	30	0.018-0.20	0.2
แคลเซียม (Ca)	1,050,000		36,300
ซีเซียม (Cs)	<0.01		1
โครเมียม (Cr)	<6	0.06	200
โคบอลต์ (Co)	1	0.3	23
ทองแดง (Cu)	100	3.2	45
เจอร์เมเนียม (Ge)	Trace	1.5	1
ทองคำ (Au)	<1		0.005
เหล็ก (Fe)	4,100	15	50,000
ตะกั่ว (Pb)	120	0.3	15
ลิเทียม (Li)	Trace	2	30
แมกนีเซียม (Mg)	20,000	500	20,900
แมงกานีส (Mn)	20	5	1,000
ปรอท (Hg)	Trace	0.02	0.5
โมลิบดีนัม (Mo)	9	0.35	1
นิกเกิล (Ni)	<10	0.45	80
ไนโอเบียม (Nb)	100	0.60	24
โปรแทสเซียม (K)	140,000		25,900
รูบิเดียม (Rb)	1,200	10	120

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ธาตุ	ปริมาณที่ร่างกายทนได้โดยไม่เกิดอันตราย (มิลลิกรัมต่อ70 กิโลกรัม)	ปริมาณที่ได้รับ (มิลลิกรัมต่อวัน)	ปริมาณที่มีบนโลก (ส่วนในล้านส่วน)
ซีลีเนียม (Se)	15	0.06-0.15	0.09
เงิน (Ag)	<1		0.1
โซเดียม (Na)	105,000		28,300
สทรอนเชียม (Sr)	140	2	450
เทลลูเรียม (Te)	600	0.6	0.002
ดีบุก (Sn)	30	17	3
ไทเทเนียม (Ti)	<15	0.3	4,400
ยูเรเนียม (U)	0.02		2
วาเนเดียม (V)	30	2.5	110
สังกะสี (Zn)	2,300	12	65
เซอร์โคเนียม (Zr)	250	3.5	70

ตารางที่ 2 เกณฑ์คุณภาพของโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยินยอมให้มีอยู่ในน้ำได้
โลหะหนัก		
-แคดเมียม (Cd)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.001
-ทองแดง (Cu)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.02
-ตะกั่ว (Pb)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.05
-ปรอท (Hg)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.0005
-เหล็ก (Fe)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.3
-สังกะสี (Zn)	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.1

ในธรรมชาติโลหะหนักมีปะปนอยู่ในน้ำเสมอ เพราะเกิดจากการสลายตัวของหิน ซึ่งมีโลหะหนักเหล่านี้ แต่มีปริมาณที่น้อยมากไม่มีอันตรายต่อร่างกายมนุษย์และสัตว์ แต่ถ้ามีการรบกวนหรือการกระทำของมนุษย์ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำสูงขึ้น ซึ่งในธรรมชาติแล้วที่ห่างไกลชุมชนจะมีปริมาณโลหะหนักในน้ำน้อยกว่าในที่ชุมชน และปริมาณโลหะหนักที่แปดเปื้อนในตะกอนนั้นจะมากกว่าในน้ำเสมอเพราะตะกอนมีประจุเป็นลบเป็นส่วนใหญ่ ส่วนโลหะซึ่งมีประจุเป็นบวกและมีความสามารถในการแทนที่สูงจึงถูกเกาะยึดไว้ได้ดีกว่า

1. แหล่งที่มาของโลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติ

โลหะหนักที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาตินั้นมาจากหลาย ๆ แหล่งด้วยกัน หินและดินตะกอนเป็นแหล่งที่ปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติมากที่สุดทางหนึ่ง เศษพืชผักและสัตว์ที่ตายเน่าเปื่อยแล้ว ก็เป็นแหล่งที่ช่วยให้โลหะหนักเหล่านี้เจือปนอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติได้ ฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ การขุดถนน เป็นต้น รวมทั้งการเผาไหม้เชื้อเพลิงพวกฟอสซิล (Fossil) และขบวนการผลิตโลหะก็เป็นสาเหตุที่นำไปสู่การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำธรรมชาติด้วย กิจกรรมอื่น ๆ ของมนุษย์ที่มีการปล่อยน้ำเสีย ทั้งที่มีการบำบัดแล้วและปราศจากการบำบัดลงสู่แม่น้ำ สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น

1.1 หินและดิน

หินและดินที่มีการระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาตินั้นเป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักจากธรรมชาติที่สำคัญมาก ปริมาณของโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับชนิดของหินหรือดินและแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ปริมาณของโลหะหนักยังขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของแมกมาว่ามีความเข้มข้นแค่ไหนและยังขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโครงสร้างของโครงผลึกของมันอีกด้วย

หินตะกอนใต้ท้องน้ำ มีขบวนการเกิดที่แตกต่างจากการเกิดด้วยกระบวนการตกผลึก ดังนั้นจึงทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักแตกต่างออกไปจากการเกิดด้วยกระบวนการแรก หินตะกอนใต้ท้องน้ำเกิดจากการขนส่งและการทับถมกันของอนุภาคหินที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีในลักษณะต่าง ๆ ของเปลือกโลก โดยทั่วไปหินพวกนี้มักจะมี ไทเทเนียม (Ti) วาเนเดียม (V) โครเมียม (Cr) เหล็ก (Fe) โคบอลต์ (Co) และนิกเกิล (Ni) อยู่มาก ดินและโคลนจะมีเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ประมาณ 2.82 ถึง 4.12 เปอร์เซ็นต์ของแร่ฮีมาไทท์ (Hematite, Fe_2O_3) นอกจากนี้ก็ยังมีไทเทเนียม (Ti) อยู่ประมาณ 0.08 ถึง 0.76 เปอร์เซ็นต์ของแร่ TiO_2

ดินที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่มากจะจับกับโลหะหนักเกิดเป็นสารประกอบ พวกสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะกับสารอินทรีย์ (Organic-Metal Complexing) สำหรับความแข็งแรงของ

พันธะที่จับนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-เบส

1.2 การตกตะกอนและการตกมาจากบรรยากาศ

แหล่งที่มาของโลหะหนักที่สำคัญอีกแหล่งคือการตกตะกอนหรือการตกลงมาจากบรรยากาศ อากาศที่เคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ ผิวโลกนี้ได้นำพาหรือประกอบด้วยอนุภาคต่าง ๆ ที่ลอยอยู่ในอากาศประมาณ 10 ล้านตัน อนุภาคต่าง ๆ เหล่านี้จะเคลื่อนที่รอบ ๆ ผิวโลกอย่างคงที่ โดยอาศัยแรงดึงดูดจากโลกและจะมีการตกลงมาเมื่อมีฝนตก หิมะตก โดยการชะล้างลงมาพร้อมกับฝนและหิมะเหล่านี้ โลหะหนักที่อยู่ในบรรยากาศนั้น เช่น ฝุ่นที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ ฝุ่นที่เกิดจากการกัดกร่อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีของหินและดิน

สำหรับกิจกรรมมนุษย์นั้น พบว่า 1 ใน 5 อนุภาค หรือ 1 ใน 5 ตันของสารที่ลอยอยู่ในอากาศเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และส่วนมากแล้วจะมีโลหะหนักรวมอยู่ด้วยเพราะโลหะหนักเหล่านี้เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีการเติมโลหะหนักลงไปด้วยและโรงงานที่เกี่ยวข้องกับเหล็กหรือโลหะอย่างอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีแมงกานีสออกไซด์ซึ่งเป็นผลพ่วงที่เกิดจากโรงงานผลิตเหล็กนั้นเองอีกด้วย

อนุภาคต่าง ๆ ที่มีโลหะหนักรวมอยู่ด้วยนั้นจะย้อนกลับลงมาสู่โลกหลายทางด้วยกัน เช่น

- โดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก จะขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ตกลงสู่โลกได้ทั้งหมด
- เกิดจากการสัมผัสกับวัตถุสิ่งของที่อยู่บนโลก
- เกิดจากการชะล้างของฝนหรือหิมะ
- มลภาวะและการปนเปื้อน

1.3 การกระทำของมนุษย์

การปนเปื้อนด้วยวิธีนี้จะเกิดขึ้นโดยการปล่อยสิ่งต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำ เช่น ผลผลิตทางการเกษตร ของเสียที่เกิดจากกระบวนการของโรงงานอุตสาหกรรมของเสียจากการระบายของระบบเทศบาล ของเสียจากครัวเรือน เป็นต้น ซึ่งการกำจัดของเสียเหล่านี้ ปัจจุบันยังไม่มีการบำบัดเสียก่อน ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนั้น บางทีอาจไม่ได้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง คืออาจอยู่ในลักษณะของกองขยะ ซึ่งหากฝนตกลงมาก็จะชะล้างลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

1.3.1 ผลผลิตทางการเกษตร

ในขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชต้องการโลหะหนักบางตัว เช่น แมงกานีส เหล็ก สังกะสีและวาเนเดียม เข้าร่วมในขบวนการดังกล่าวด้วยหรือในกระบวนการตรึงไนโตรเจนในรากพืชบางชนิดต้องการเหล็ก โบรอน โมลิบดีนัมและโคบอลต์ในกระบวนการอื่น ๆ ก็มีความต้องการโลหะหนักเช่นกัน สำหรับปริมาณของโลหะหนักแต่ละชนิดจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่

กับชนิดของพืช อย่างไรก็ตามแม้พืชจะต้องการโลหะหนักในกระบวนการต่าง ๆ แต่ถ้าหากมีความเข้มข้นมากเกินไปก็จะเป็นพิษแก่พืชได้

ปุ๋ยวิทยาศาสตร์มีส่วนผสมของโลหะหนักบางตัว เช่น โครเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส นิกเกิล สังกะสี เป็นต้น ซึ่งโลหะหนักพวกนี้จัดเป็นธาตุอาหารของพืชที่มีอยู่ในปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ดังนั้นหากเกษตรกรหรือผู้ที่เกี่ยวข้องไม่ใส่ใจเกี่ยวกับวัตถุที่เหลือจากการเกษตรแล้วและทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลองก็จะทำให้เป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักได้เช่นกัน

1.3.2 สิ่งโสโครกจากครัวเรือน

อาหารนอกจากจะอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารแล้วยังมีโลหะหนักที่พืชดูดขึ้นมาจากดินอีกด้วย ดังนั้นเมื่อคนและสัตว์กินเข้าไปโลหะหนักเหล่านี้ก็จะเข้าไปอยู่ในเนื้อเยื่อในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายหรือทางลมหายใจ ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ก็สามารถที่จะถูกปล่อยลงสู่ระบบน้ำธรรมชาติได้เช่นกัน ซึ่งปริมาณของโลหะหนักจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้น้ำ ปริมาณอาหารที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่ สภาพเศรษฐกิจของบริเวณนั้น เป็นต้น

1.3.3 การทำเหมืองแร่

หินที่ได้จากการขุดเจาะเหมืองแร่นั้นจะมีความเข้มข้นของโลหะหนักค่อนข้างสูงมากเมื่อเทียบกับระดับพื้นฐานที่ไม่มีการทำเหมืองแร่ หินเหล่านี้ถือว่าไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ จึงทำให้เจ้าของกิจการเหมืองแร่ไม่สนใจที่จะจัดการกับหินเหล่านี้อย่างถูกวิธี เมื่อมีการชะล้างของน้ำฝนหรือน้ำในกิจกรรมการทำเหมืองแร่ ก็จะทำให้โลหะหนักเหล่านี้กระจายลงสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้

นอกจากนี้ของเหลวที่ไหลออกมาจากถนนและทางด่วนก็สามารถพาเอาโลหะหนักลงมาสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้เช่นกัน โดยปริมาณของโลหะหนักที่มาจากถนนนี้มากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความสะอาดของถนนและกิจกรรมบนถนนหรือบริเวณข้าง ๆ ถนน

1.3.4 ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะเปลี่ยนไปตามประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ๆ ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติต่าง ๆ แตกต่างกันออกไปด้วย (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งปล่อยโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (จันทร์ศรี ดนูนาถ, 2539)

ประเภท	แคดเมียม	โครเมียม	ทองแดง	เหล็ก	ปรอท	แมงกานีส	ตะกั่ว	นิกเกิล	เซลเนียม	สังกะสี
-เยื่อกระดาษ กระดาษ กระดาษไฟเบอร์		x	x		x		x	x		x
-สารเคมีอินทรีย์ ปิโตรเคมี	x	x		x	x		x		x	x
-คลอรีน สารเคมีอนินทรีย์										
-ปุ๋ย	x	x		x	x		x		x	x
-กลั่นน้ำมันปิโตรเลียม	x	x	x	x	x	x	x	x		x
-อุตสาหกรรมเหล็กกล้า	x	x	x	x			x	x		x
-อุตสาหกรรมโลหะอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เหล็ก	x	x	x	x	x		x	x	x	x
-ยานยนต์ ชิ้นส่วน	x	x	x		x		x			x
-แก้ว ซีเมนต์ ใยแก้ว	x	x	x		x			x		
-เส้นใย		x								
-ฟอกหนัง		x								
-กำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานไอน้ำ		x								x

2. สมบัติทั่วไปและพิษของทองแดง (Copper, Cu)

2.1 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะสีแดงส้ม อยู่ในหมู่ IB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 มวลอะตอม 63.54 ความหนาแน่น 8.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว 1,083 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,595 องศาเซลเซียส มีความแวววาว มีความแข็งและเหนียว สามารถดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดีมาก มีเลขออกซิเดชัน 2 ค่า คือ +1 และ +2

2.2 ทองแดงในธรรมชาติ

ทองแดงเป็นสินแร่ที่มีมากในธรรมชาติเช่นเดียวกับสังกะสี และจะพบในรูปของแร่ชาลโคไพไรท์ (Chalcopyrite, $CuFeS_2$), แร่ชาลโคไซท์ (Chalcocite, Cu_2S) แร่มาลาไซท์ (Malachite, $Cu_2(CO_3)(OH)_2$) และแร่อะซูไรท์ (Azurite, $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$) ในดินทั่วไปตรวจสอบพบทองแดงอยู่ระหว่าง 2 ถึง 100 ส่วนในล้านส่วน

2.3 การนำทองแดงไปใช้ประโยชน์

ทองแดงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก เช่น ทำลวดตัวนำไฟฟ้า ทำโลหะผสมหรือในรูปของสารประกอบ ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อรา ยาฆ่าแมลง ยาสมานแผล ยาทำให้อาเจียน ใช้ในอุตสาหกรรมทอผ้า ผลิตภัณฑ์เซรามิค เป็นต้น

2.4 การแพร่กระจายของทองแดงในสิ่งแวดล้อม

การแพร่กระจายของทองแดงลงสู่แหล่งน้ำ เกิดจากการละลายของสารประกอบทองแดงจากแหล่งในธรรมชาติ โดยการละลายน้ำแต่ก็เป็นเพียงส่วนน้อย โดยส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำโลหะผสมโดยเฉพาะทองเหลือง อุตสาหกรรมเครื่องมือที่ใช้สายไฟ ผลิตภัณฑ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า การถลุงแร่ก็ทำให้ทองแดงฟุ้งกระจายขึ้นไปในอากาศ แล้วถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ยากำจัดเชื้อราในดิน การเติมเกลือของทองแดงลงไปในแหล่งน้ำเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอ่างเก็บน้ำจะทำให้การสะสมทองแดงในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น

2.5 ความเป็นพิษของทองแดง

ทองแดงสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยการปนเปื้อนกับอาหารและการหายใจ ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต จำเป็นต่อการสร้างฮีโมโกลบิน ทองแดงเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิไดซ์ธาตุเหล็กในรูปของ Fe^{2+} เป็น Fe^{3+} เพื่อใช้ในการสร้างฮีโมโกลบิน ทองแดงยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด เช่น ไทโรซีเนส (Tyrocinase) แอสโครบิก แอซิด ออกซิเดส (Ascorbic Acid Oxidase) ไซโทโครม ออกซิเดส (Cytochrome Oxidase) และ ยูรีเดส (Uricase) การดูดซึมทองแดงส่วนใหญ่เกิดที่กระเพาะอาหารแล้วเก็บสะสมไว้ที่ตับ ไต สมอง หัวใจ และผม ร่างกายได้รับทองแดงจากอาหารประมาณ 3.2 มิลลิกรัมต่อวัน กำจัดออกทางปัสสาวะ 0.06 มิลลิกรัมต่อวัน ทางเหงื่อ 1.59 มิลลิกรัมต่อวัน คนปกติจะมีทองแดงในเลือด1 มิลลิกรัมต่อวัน เด็กที่ขาดทองแดงจะมีลักษณะอาเจียน ท้องร่วง โรคโลหิตจาง แต่ผู้ใหญ่แสดงอาการผิดปกติจากการขาดทองแดงน้อยมาก

ถ้าร่างกายได้รับทองแดงเกินความต้องการของร่างกาย จะมีอาการอ่อนเพลีย เวียนศีรษะ ท้องร่วง น้ำหนักลด เบื่ออาหาร เกิดความผิดปกติที่ไต ม้าม กระดูก ระบบน้ำเหลือง ระบบสืบพันธุ์ เมื่อทองแดงมากผิดปกติในตับ จะทำให้เกิดโรควิลสัน (Wilson's Desease) คือ มีอาการสั่นและเกร็ง คลุ้มคลั่ง อาจเป็นโรคตับแข็งกะทันหัน หากร่างกายได้รับคอบเปอร์ (II) ซัลเฟต ในปริมาณมาก จะทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน อาเจียน บางครั้งจะมีสีเขียวปนออกมากับอาเจียน ความดันโลหิตต่ำ ดีซ่าน หมดสติ เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สวัสดิ์ วงศ์สมนึก (2515) รายงานว่าลูกปลาจะเคลื่อนที่เข้าหาแสงแต่แสงสว่างที่จ้าเกินไปมีผลกระทบต่อการมองเห็น โดยจะทำให้เกิดภาพพร่ามัวได้ โดยเฉพาะลูกปลาอายุ 1 ถึง 5 วัน ทำให้ลูกปลากินอาหารได้น้อย ซึ่งเป็นผลให้ลูกปลาตายอย่างรวดเร็ว และแสงไฟขนาด 200 แรงเทียน เมื่อส่องใกล้ ๆ ลูกปลาทำให้ลูกปลาเสียการทรงตัวในการว่ายน้ำ

ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์ (2522) ศึกษาความเป็นพิษของทองแดงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ที่มีต่อปลาตะเพียนขาว ขนาดความยาว 5.5 ถึง 9.5 เซนติเมตร เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการศึกษาเหงือกของปลาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าบริเวณผิวภายนอกและภายในของเซลล์อีพิเทเลียม มีอนุภาคของทองแดงเกาะติดอยู่มากมาย ปลาที่ทดลองเลี้ยงในความเข้มข้นของทองแดงที่สูงขึ้น จะพบทองแดงในเนื้อเยื่อเหงือกอัดตัวกันแน่นขึ้น แสดงว่าการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเลือดและน้ำเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้นและพบว่าการตายของปลาตะเพียนขาวที่ได้รับผลกระทบจากทองแดงในระยะเฉียบพลันมีสาเหตุมาจากการขาดออกซิเจน

สุจินต์ มณีวงศ์ (2524) รายงานว่าอุณหภูมิปกติในบ่ออนุบาลลูกปลาวัยอ่อนเฉลี่ยประมาณ 27 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 30 หรือ 31 องศาเซลเซียส ลูกปลาจะกินอาหารมากว่ายน้ำกระวนกระวาย ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 24 องศาเซลเซียส ลูกปลาจะไม่ค่อยกินอาหารและเป็นเหตุให้อ่อนแอเกิดโรคแทรกได้ง่าย

บุญส่ง สิริกุล (2525) ทดลองเลี้ยงลูกปลากะพงขาวขนาดความยาวเฉลี่ย 2 เซนติเมตร ในน้ำที่มีระดับความเค็มต่างกัน คือ 32 20 และ 10 ส่วนในพันส่วน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดคือ ที่ระดับความเค็ม 20 รองลงมาคือ 32 และ 10 ส่วนในพันส่วน ตามลำดับ

วรวิทย์ ชีวาพร (2527) ศึกษาความรุนแรงของสารอันตรายโดยใช้ปลาและแพลงก์ตอนพืชเป็นตัวประเมินผลทางชีววิทยา ใช้ระบบการทดลองแบบน้ำนิ่ง โดยใช้สัตว์ทดลอง 5 ชนิด คือ ปลาหางนกยูง ปลาไน ปลานิล ปลาตะเพียนขาวและปลายี่สกเทศ แพลงก์ตอนพืช 3 ชนิด ทดลองกับสารอันตราย คือ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท สารที่มีความเป็นพิษมาก คือ ปรอทและทองแดง และที่มีความเป็นพิษน้อยคือ สังกะสี

แววตา ทองระอา (2528) ศึกษาพิษเฉียบพลันของตะกั่วและแคดเมียมที่มีต่อปลากะพงขาว ได้ทำการทดลองโดยใช้วิธีชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่งภายใน 96 ชั่วโมง ในน้ำทะเลที่มีระดับความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ความเป็นพิษแสดงโดยค่าของระดับความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 96 ชั่งโมง พบว่าตะกั่วมีพิษต่อปลากะพงขาวน้อยกว่าแคดเมียม ค่า 96 h-LC_{50} ของตะกั่วเท่ากับ 138.0 ส่วนในล้านส่วน โดยไม่คำนึงถึงความเข้มข้นที่แท้จริงของตะกั่วที่มีอยู่ในน้ำ เนื่องจากการตกตะกอน และค่า 96 h-LC_{50} ของแคดเมียมเท่ากับ 3.7 ส่วนในล้าน

ส่วน ระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยของตะกั่วและแคดเมียมต่อปลากะพงขาวควรมีค่าอยู่ในช่วง 2.760 ถึง 6.900 และ 0.074 ถึง 0.185 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

ประกอบ สรีจันทร์ (2529) ศึกษาพิษเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อปลากะพงขาว ขนาดความยาว 2.7 ถึง 3.2 เซนติเมตร ที่ทดลองเลี้ยงในน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็ม ความเข้มข้น 0, 15 และ 30 ส่วนในพันส่วน ตามลำดับ มีค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมง เท่ากับ 1.46 4.20 และ 11.80 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ความเป็นพิษของแคดเมียมที่มีต่อปลาที่เลี้ยงในน้ำจืดมีความรุนแรงเป็น 3 เท่าที่เลี้ยงในน้ำกร่อย และ 8 เท่า ที่เลี้ยงในน้ำเค็ม ส่วนพิษของแคดเมียมที่มีต่อปลาที่ทดลองเลี้ยงในน้ำกร่อยจะมีความรุนแรงเป็น 3 เท่า ที่เลี้ยงในน้ำเค็ม

สมพงษ์ บุญกล่อมจิตร (2539) พบว่า ความเป็นกรด-เบส ต่ำกว่า 5 ความเป็นพิษของสังกะสีจะเพิ่มขึ้น และความเป็นกรด-เบส สูงกว่า 8 ความเป็นพิษของสังกะสีจะลดลง

อุรศา ศรีบุญลือ (2539) ศึกษาความเป็นพิษของแคดเมียมและโครเมียมทั้งที่เป็นสารเดี่ยวและสารผสม ที่ทำให้ลูกปลาตะเพียนขาววัยอ่อน (*Puntius gonionotus*, Bleeker) ตาย50 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 96 ชั่วโมง ใช้ระบบการทดลองแบบน้ำนิ่ง (Static Bioassay) พบว่าค่าความเข้มข้นของแคดเมียมและโครเมียมเท่ากับ 2.77 และ 69.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าความเข้มข้นของสารผสมที่อัตราส่วนความเป็นพิษของแคดเมียมต่อโครเมียม 1:1, 1:2 และ 2:1 เท่ากับ 0.14, 0.16 และ 0.13 T.U. ตามลำดับ และพบว่าปริมาณสารชนิดหนึ่งมีอิทธิพลต่อการสะสมของสารอีกชนิดในตัวปลา สารผสมมีปฏิกิริยาต่อกันแบบเสริมพิษกันในทุกอัตราส่วนการสะสมของแคดเมียม โครเมียมและสารผสม (อัตราส่วน 1:1) ปลาได้รับสารพิษที่มีความเข้มข้นขนาด 5 เปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการตาย 50 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 96 ชั่วโมง แต่ในแคดเมียมปลาจะได้รับความเข้มข้นขนาด 1 เปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการตาย 50 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 96 ชั่วโมง

ชุติมา วงศ์สุขสิน (2540) พบว่าปริมาณทองแดงและแคดเมียมในปลาจากสะพานปลาเขาสามมุขและสะพานปลาอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี มีค่าอยู่ในช่วง 0.076 ถึง 2.943 และ 0.003 ถึง 0.451 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบว่ามีปริมาณไม่เกินมาตรฐานของโลหะที่กำหนดไว้

สุดชาย กำเนิดมณี (2540) ศึกษาปริมาณโลหะหนักในดิน น้ำ ดินตะกอนและหญ้าขนบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ปริมาณโลหะหนักในน้ำ เรียงลำดับได้ดังนี้ แมงกานีส > สังกะสี > ตะกั่ว > ทองแดง > แคดเมียม > นิเกิล > โครเมียม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.00, 15.40, 6.77, 3.81, 1.19 0.49 และ 0.11 ส่วนในพันล้านส่วน ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักในดิน เรียงลำดับได้ดังนี้ แมงกานีส > สังกะสี > ตะกั่ว > โครเมียม > ทองแดง > นิเกิล > แคดเมียม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 481.83, 73.58, 23.89, 20.17, 18.69, 18.43 และ 0.81 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักในดิน

ตะกอน ลำดับได้ดังนี้ แมงกานีส > ตะกั่ว > สังกะสี > นิกเกิล > แคดเมียม > โครเมียม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 127.20, 74.98, 44.07, 25.72, 12.20, 5.71 และ0.64 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของหญ้าขนเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในดิน หญ้าขนสามารถดูดซับ สังกะสี แมงกานีส ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล แคดเมียม เท่ากับ 59.89, 26.4 30.55, 313.86, 139.56, 1506.17 และ 3.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีค่าเฉลี่ยไม่เกินมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งไม่ใช่น้ำทะเล ปริมาณโลหะหนักในดิน ดินตะกอนและหญ้าขนมีค่าเฉลี่ยในระดับที่ไม่เกินค่าวิกฤต

รัตนาวรรณ มั่งคั่ง (2541) ศึกษาผลของกรดฮิวมิกและความกระด้างของน้ำต่อค่าความเป็นพิษของแคดเมียมในปลาตะเพียนขาววัยอ่อน คำนวณจากค่าความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการตาย ร้อยละ 50 ในระยะเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าค่าความเป็นพิษของแคดเมียมลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฮิวมิก จาก 0.5 เป็น 5.0 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า LC_{50} เป็น 3.04, 4.17 และ 4.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และค่าความกระด้างของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 55 เป็น 113 และ 225 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ค่า LC_{50} เป็น 1.17, 4.35 และ 5.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ผลร่วมของกรดฮิวมิกและความกระด้างของน้ำทำให้ค่าความเป็นพิษของแคดเมียมลดลงเช่นกัน ค่า LC_{50} ในน้ำกระด้างอย่างอ่อน เป็น 2.43, 2.84 และ 2.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำกระด้างปานกลางเป็น 2.71 2.92 และ 3.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำกระด้างรุนแรงเป็น 3.05, 3.32 และ 3.49 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฮิวมิก จาก 0.5 เป็น 5.0 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สราวุธ รัตนจงเกียรติ (2541) ศึกษาปริมาณของทองแดงและแคดเมียมในอ่าวไทยและฝั่งตะวันออกของคาบสมุทรมาเลเซีย พบว่า ความเข้มข้นของของทองแดงและแคดเมียมที่ละลายน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 1.03 ถึง 8.87 และ 0.025 ถึง 0.134 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของทองแดงและแคดเมียมในสถานะสารแขวนลอย มีค่าอยู่ในช่วง 0.27 ถึง 5.65 และ 0.001 ถึง 0.090 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และความเข้มข้นของทองแดงและแคดเมียมในตะกอน มีค่าอยู่ในช่วง 10.30 ถึง 61.00 และ 0.01 ถึง 0.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร (2543) ศึกษาอัตราการรอดตายและพิษเฉียบพลันของแคดเมียมและปรอทที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในลูกกุ้งกุลาดำ พบว่าเปอร์เซ็นต์ของอัตราการรอดของลูกกุ้งที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 และ 4.0 ส่วนในล้านส่วน ในระยะเวลา 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 100, 90, 67, 17 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีค่า 96 h-LC_{50} เท่ากับ 2.42 ส่วนในล้านส่วน ส่วนเปอร์เซ็นต์ของอัตราการรอดตายของลูกกุ้งกุลาดำที่ระดับความเข้มข้นของปรอท 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ส่วนในล้านส่วน ในระยะเวลา 96 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 100, 80,

40, 17 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีค่า 96 h-LC_{50} เท่ากับ 0.25 ส่วนในล้านส่วน

วีระวงค์ ตางาม (2543) ศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในน้ำ ดินตะกอน และเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของปลาบางชนิด ในแม่น้ำและคลองรอบเกาะเมืองพระนครศรีอยุธยา พบว่าในน้ำและดินตะกอนมีปริมาณสังกะสีสูงสุดและมีปริมาณแคดเมียมต่ำสุด ปริมาณโลหะหนัก ในอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของปลาแขยง พบว่าในตับมีปริมาณทองแดงสูงสุด ลำไส้มีปริมาณสังกะสีและแคดเมียมสูงสุด เหงือกมีปริมาณตะกั่วสูงสุด ในเนื้อปลาพบปริมาณโลหะทั้ง 4 ชนิดต่ำสุด ปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่พบในปลาตะเพียนขาว มีค่าสูงสุดในตับ และในเนื้อปลาจะมีปริมาณต่ำสุด ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่พบในเนื้อปลา ตับ ลำไส้และเหงือกของปลาแขยง พบว่า สังกะสีมีค่าสูงสุดและแคดเมียมมีค่าต่ำสุด ในปลาตะเพียนขาวปริมาณสังกะสีมีค่าสูงสุดในเนื้อปลา ลำไส้และเหงือก ส่วนตับมีทองแดงสูงสุด และอวัยวะทุกส่วนจะมีปริมาณแคดเมียมต่ำสุด

สุนิตย์ โรจนพิทยากุล (2543) ศึกษาการลดต้นทุนการอนุบาลลูกปลากะพงขาว อายุ 15 ถึง 28 วัน ด้วยอาร์ทีเมียที่เลี้ยงให้โตขึ้นตั้งแต่ 1 ถึง 13 วัน เปรียบเทียบกับการอนุบาลด้วยอาร์ทีเมียเพิ่งฟัก โดยทดลองอนุบาลลูกปลา 2 ช่วง คือช่วงอายุ 15 ถึง 22 วัน และ ช่วงอายุ 22 ถึง 28 วัน พบว่าลูกปลาที่อนุบาลด้วยอาร์ทีเมียที่โตขึ้นทั้งสองช่วงอายุมีอัตรารอดเฉลี่ย 91.06 และ 96.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าลูกปลาที่อนุบาลด้วยอาร์ทีเมียเพิ่งฟัก ที่มีอัตรารอดเฉลี่ย 83.85 และ 72.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางด้านการเจริญเติบโตเมื่อศึกษาปริมาณไข่อาร์ทีเมีย พบว่าการอนุบาลลูกปลาด้วยอาร์ทีเมียที่เลี้ยงให้โตขึ้นนั้น สามารถลดปริมาณการใช้ไข่อาร์ทีเมียลงถึง 14.21 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการอนุบาลด้วยอาร์ทีเมียเพิ่งฟัก ซึ่งทำให้ต้นทุนค่าอาหารที่ใช้ในการอนุบาลลูกปลาตั้งแต่อายุ 15 ถึง 28 วัน ลดลงมาก

สายพิณ เกิดประทุม (2544) ศึกษาวิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียมในตัวอย่างน้ำจากลำคลองในทุกตำบลในเขตอำเภอบางพลี พบว่าตะกั่วในน้ำตัวอย่างมีความเข้มข้น 0.0000 ถึง 0.0330 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0030 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคดเมียมในน้ำตัวอย่างมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 0.0000 ถึง 0.0426 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0033 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าระดับความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในน้ำตัวอย่าง ยังคงอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แต่ในบางคลองมีความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมสูง คือ มีค่ามากกว่า 0.0100 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับตะกั่ว และมากกว่า 0.0050 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับแคดเมียม

นันทิยา แป้นถึง (2545) ศึกษาผลการปรับตัวกับสารแคดเมียมในระดับต่ำต่อความเป็นพิษของแคดเมียมในปลาตะเพียนขาว พบว่า เมื่อให้ปลาปรับตัวด้วยแคดเมียมต่ำ ๆ แล้วนำไปทดลองด้วย Lethal Dose (4.5 ppm.) ลูกปลาจะมีการปรับตัวโดยมีอัตราการตายน้อยลงกว่า

ลูกปลาที่ไม่ได้ทำการปรับตัวให้คุ้นเคยกับระดับแคดเมียมในปริมาณต่ำ ๆ แล้วนำไปทดลองด้วย Lethal Dose แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของแคดเมียม

Jaritkhuan and Sawangwong (1996) ทดสอบพิษเฉียบพลันของแคดเมียม ทองแดงและสังกะสีที่มีต่อลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) อายุ 20 ถึง 26 วัน และลูกปลากะพงขาว อายุ 15 ถึง 20 วัน เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ใช้วิธีทดสอบตามแบบของเอเซียน-แคนนาดา (ASEAN-Canada Cooperative Programmme on Marine Science-Phase II) ทำการทดลองสามซ้ำ พบว่า ค่า 96-h-LC_{50} ของแคดเมียม ทองแดงและสังกะสี คือ 1.05 ±0.11, 0.58±0.05 และ 0.91±0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบว่าทองแดงมีความเป็นพิษมากกว่าสังกะสีและแคดเมียม สำหรับลูกปลากะพงขาว ให้ค่า 96-h-LC_{50} คือ 18.82±0.32, >1.46 ถึง >1.82 และ >7.55 ถึง >7.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นที่สูงของทองแดงและสังกะสีไม่สามารถทดสอบได้ เพราะตกตะกอน และผลจากการทดลองแสดงว่าลูกกุ้งกุลาดำมีความไวต่อการตอบสนองต่อโลหะหนักทั้งสามชนิดมากกว่าลูกปลากะพงขาว

Karan, Vitorovic, Tutundzic and Poleksic (1996) ศึกษาพิษของทองแดงต่อปลาคาร์ป (*Cyprinus carpio* L.) อายุ 30 วัน ได้ค่า 96-h-LC_{50} ของทองแดง เท่ากับ 0.64 มิลลิกรัมต่อลิตร และศึกษาพิษเฉียบพลันของทองแดงต่อปลาคาร์ป อายุ 6 เดือน ได้ค่า 96-h-LC_{50} ของทองแดง เท่ากับ 5.45 มิลลิกรัมต่อลิตร และศึกษาพิษเรื้อรังของทองแดงต่อปลาคาร์ป อายุ 6 เดือน ภายใน 14 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของทองแดง 0.25 0.50 1.00 2.00 และ 4.00มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าตั้งแต่ความเข้มข้นของทองแดง 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เซลล์อีพีเทอร์เลียลเพิ่มจำนวนขึ้นที่ความเข้มข้น 4.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเกิดการเชื่อมกันของเซกัลคารี ลามีลา และพบว่าที่ความเข้มข้น 2.00 และ 4.00 ทำให้เซลล์คลอไรด์และเซลล์เมือกถูกทำลาย นอกจากนี้ยังพบว่าภายใน 14 วัน เหงือกของปลามีการสร้างและซ่อมแซมเซลล์ต่าง ๆ (Recovery) ได้

Sulaiman (1996) ศึกษาพิษเฉียบพลันของทองแดงและแคดเมียมที่มีต่อลูกปลากะพงขาว อายุ 8 สัปดาห์ น้ำหนัก 0.27 กรัม ยาว 2.8 เซนติเมตร ได้ค่า 96-h LC_{50} เท่ากับ 3.2 และ 24.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และศึกษาพิษเฉียบพลันของทองแดงและแคดเมียมที่มีต่อลูกกุ้งกุลาดำ (PL 25) น้ำหนัก 6 มิลลิกรัม ยาว 1.3 เซนติเมตร ได้ค่า 96-h LC_{50} เท่ากับ 0.5 และ 1.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยใช้น้ำทะเลความเค็ม 30-32 ส่วนในพันส่วนในการทดลอง

Thongra and Musika (1996) ศึกษาพิษเฉียบพลันของแคดเมียมและทองแดงต่อลูกปลากะพงขาว อายุ12 วัน ภายใน 7 วัน ได้ค่า 7-d LC_{50} เท่ากับ 6.36±0.38 และ >1.40 ถึง >1.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบว่า ทองแดงตกตะกอนที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้น้ำ

ทะเลความเค็ม 23-29 ส่วนในพันส่วนในการทดลอง

Berntssen et al. (1999) ศึกษาปลาแอตแลนติกแซลมอน ที่ให้อาหารผสมทองแดงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่ ความเข้มข้น 35 และ 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปลาน้ำหนักประมาณ 72.2 กรัม พบว่ามีผลทำให้เซลล์บริเวณลำไส้แบ่งตัวเพิ่มมากขึ้น และพบว่าอาหารที่ผสมด้วยทองแดงที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ปลาตาย จากการสังเกตเป็นประจำปลาไม่แสดงให้เห็นว่ามีความต้องการอาหารลดลงและไม่มีการว่ายน้ำที่ผิดปกติในทุก ๆ กลุ่ม

Campbell, Handy and Nimmo (1999) ศึกษาพิษของทองแดงที่มีต่อเหงือกของปลาเรนโบว์เทร้าต์ (*Oncorhyncus mykiss*) น้ำหนักประมาณ 250 กรัม ที่ความเข้มข้นของทองแดง 2, 5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลต่อลิตร เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง พบว่าที่ความเข้มข้น 50ไมโครโมลต่อลิตร ทำให้เซลล์บริเวณปลายเซกันดารี ลาเมลลาร์และเซลล์อีพิเทเลียมบวมน้ำ

Handy et al. (1999) ศึกษาพิษเรื้อรังของทองแดงที่ได้รับในอาหารที่มีต่อปลาเรนโบว์เทร้าต์ (*Oncorhynchus mykiss*) น้ำหนักประมาณ 46.5 กรัม พบว่ามีผลทำให้ระดับเมทัลโลไธโอนีน (Metallothionien) เพิ่มขึ้น 8 และ 1.5 เท่า ในตับและลำไส้ ตามลำดับ และจากการศึกษาเนื้อเยื่อที่เหงือกพบว่าความยาวของเซกันดารี ลาเมลลาร์ เพิ่มขึ้น 9 เปอร์เซ็นต์

Beaumont, Butler and Taylor (2000) ทำการศึกษากับปลาบราวเทร้าต์ (Brow Trout, *S.trutta* (L)) น้ำหนัก 300 ถึง 600 กรัม ที่ปรับสภาพด้วยน้ำกระด้างอ่อนที่สัมผัสกับทองแดงที่ความเข้มข้น 0.08 ไมโครโมลต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรด-เบสต่ำ (pH 5) เป็นเวลา 96 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่ามีอัตราการว่ายน้ำต่ำกว่าปลาที่เลี้ยงในน้ำที่มีความเป็นกรด-เบสปกติ เนื่องจากการขนส่งออกซิเจนที่แตกต่างกันเพราะเหงือกถูกทำลาย

McGeer, Szebedinszky, McDonald and Wood (2000) ศึกษาพิษเรื้อรัง มากกว่า 100 วัน ของแคดเมียม (3 ไมโครกรัมต่อลิตร) ทองแดง (75 ไมโครกรัมต่อลิตร) และ ตะกั่ว (250ไมโครกรัมต่อลิตร) ในปลาเรนโบว์เทร้าต์ที่เลี้ยงในน้ำกระด้างมาก ค่าความเป็นกรด-เบส 8.0 โลหะทั้งสามชนิด ในเนื้อเยื่อเหงือก ตับ ไต และทั้งตัว มีการสะสมเพิ่มขึ้นและคงที่อย่างชัดเจน ยกเว้นตะกั่วขาดการสะสมในตับและไต และมีการสะสมน้อยในเหงือกและทั้งตัวปลามีการสะสมทองแดงในตับ ขณะที่แคดเมียมสะสมในไตซึ่งเป็นอวัยวะหลักในการสะสมผลที่ได้สะสมต่อเนื่องมากขึ้นตามเวลา

Romio et al. (2000) ศึกษาพิษของทองแดงและแคดเมียมโดยการฉีดเข้าไปในตัวปลาซีแบส (Seabass, *Dicentrarchus labrax*) ระยะโพส-จูเวนไนล์ หลังจาก 48 ชั่วโมง ได้ค่า EC_{50} ที่ 127 และ 735 นาโนกรัม ตามลำดับ พบว่าพิษของทองแดงและแคดเมียมมีผลทำลายเยื่อหุ้มไลโซโซม โดยทองแดงมีผลทำลายมากกว่าแคดเมียม

Chen and Lin (2001) ศึกษาพิษเฉียบพลันของทองแดงที่มีต่อลูกกุ้งกุลาดำ น้ำหนัก 0.63 กรัม โดยใช้น้ำทะเลความเค็ม 15 และ 25 ส่วนในพันส่วน ได้ค่า 96-h LC_{50} เท่ากับ 3.13 7.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Hansen et al. (2002) ศึกษาพิษเรื้อรังของทองแดงเป็นเวลา 56 วัน ที่มีต่อปลาเรนโบว์เทร้าต์ โดยศึกษาอัตราการเจริญเติบโต ความเข้มข้นของทองแดงทั้งตัวของปลา และอัตราการตาย อัตราการตายมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ที่ปลาสัมผัสกับทองแดงที่ 54 ไมโครกรัมต่อลิตร (47.8 เปอร์เซ็นต์) และ 35.7 ไมโครกรัมต่อลิตร (11.7 เปอร์เซ็นต์) การยับยั้งอัตราการเจริญเติบโตขึ้นกับช่วงความเข้มข้นของทองแดง (0 ถึง 54 ไมโครกรัมต่อลิตร) ค่า IC_{50} เท่ากับ 54.0ไมโครกรัมต่อลิตร ค่า IC_{20} เท่ากับ 21.6ไมโครกรัมต่อลิตร และ ค่า IC_{01} เท่ากับ 1.1 ไมโครกรัมต่อลิตร

Thophon et al. (2003) ทดสอบพิษเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อปลากะพงขาว อายุ 3 เดือน ด้วยกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ค่า 96 h-LC_{50} ของแคดเมียม คือ 20.12 ±0.61 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า MATC คือ 7.79 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ากิลล์ลาเมลลา และท่อหน่วยไต ซึ่งเป็นอวัยวะเป้าหมายเบื้องต้นที่แสดงพิษเฉียบพลันของแคดเมียม และพบว่าแคดเมียมเป็นพิษต่อเหงือกน้อยกว่าในไตและในตับ โดยเหงือกมีการเปลี่ยนแปลงของเซลล์อีพีทีเลียมและการสลายตัวของระบบเซลล์พิลลาร์ เส้นเลือดบางเส้นโป่งและบางเส้นแตกออก เซลล์ตับบางเซลล์จะบวม บางเซลล์มีการสะสมแวคิวโอและแกรนูล