

บทที่ 2

ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลของสารหนูและปรอทที่มีต่อรึ้นน้ำจืด (*Chironomus* sp.) และปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) ซึ่งมีการตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 โลหะหนักที่ทำการศึกษา
- 2.2 การแพร่กระจายและการสะสมของสารหนูและปรอทที่มีต่อสิ่งแวดล้อม
- 2.3 สิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการศึกษา
- 2.4 ความเป็นพิษของสารหนูและปรอทที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
- 2.5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะจุลพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อเหงือกและตับปลานิล

2.1 โลหะหนักที่ทำการศึกษา

โลหะหนัก หมายถึง แร่ธาตุชนิดที่มีประจุไฟฟ้าบวก มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป โดยไม่รวมโลหะที่เป็นอัลคาไล (alkali) และโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (alkaline earth) มีคุณสมบัติเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ นำไฟฟ้าได้ทั้งในสถานะของแข็งหรือเมื่อหลอมเหลว มีลักษณะเป็นเงาและมันวาว เป็นตัวนำความร้อนที่ดี เหนียว และสามารถดัดงอโดยไม่แตกหัก มีจุดแข็งตัวและจุดหลอมเหลวแน่นอน สามารถรวมตัวกับสารประกอบอื่นๆ กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายสภาพที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งสามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539)

โลหะหนักสามารถก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ โลหะหนักและสารประกอบของโลหะหนัก สามารถสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารได้ (Hammond & Belies, 1980) โลหะหนักเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตแตกต่างกันออกไป เช่น พิษต่อเนื้อเยื่อ อวัยวะต่างๆ ทำให้เกิดมะเร็งชนิดต่างๆ ความเป็นพิษของโลหะหนักจะมากน้อยเพียงใด ขึ้นกับขนาดหรือปริมาณที่ได้รับ อายุ ความแตกต่างของความต้านทานในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด

2.1.1 สารหนู (Arsenic)

2.1.1.1 แหล่งกำเนิด

สารหนูถูกพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1793 โดยอัลเบิร์ตัส แมกนัส (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2532) ในสมัยโบราณสารหนูเป็นที่รู้จักกันในชื่อ Orpiment โดยชาวกรีกและ

โรมันเป็นผู้เริ่มเรียกว่าสารหนู (arsenic) สารหนูเป็นธาตุกึ่งโลหะพบได้ทั่วไปในส่วนประกอบของหิน ถ่านหินและดิน คนจีนใช้สารหนูเป็นส่วนประกอบของยาสมุนไพรหลายชนิดเมื่อประมาณสองถึงสามพันปีมาแล้ว และบางครั้งสารหนูก็ถูกใช้เป็นสารพิษในการฆาตกรรมและการฆ่าตัวตายด้วย (กลุ่มงานพิษวิทยาและสิ่งแวดล้อม, 2547)

2.1.1.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สารหนู (arsenic) เป็นสารกึ่งโลหะ มีลักษณะเป็นของแข็งของโลหะสีขาวหรือสีเทาเงิน จัดเป็นสารก่อกัมเริง สารหนูที่มีน้ำหนักอะตอม 74.92 มีวาเลนซ์ 5, 3, 0 และ -3 เป็นธาตุหมู่เดียวกับธาตุไนโตรเจนมีสัญลักษณ์ As (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2532) สารนี้มีความสามารถในการนำความร้อนและไฟฟ้าต่ำ ไม่ลุกไหม้ แต่หากอยู่ในรูปของละอองฝุ่นของสารเคมีนี้จะติดไฟเมื่อเข้าใกล้เปลวไฟหรือแหล่งความร้อน หากอยู่ในรูปผลึกเมื่อได้รับความร้อนที่ความดันปกติจะระเหิดแทนการหลอมเหลว สารนี้ทำปฏิกิริยากับกรดและโลหะที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น เหล็ก อลูมิเนียม และสังกะสี เป็นต้น และทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนให้ก๊าซอาร์ซีน (arsine) ซึ่งเป็นก๊าซพิษร้ายแรง (นลินี ศรีพวง, 2547) สารหนูในรูปอิสระเป็นสารที่พบได้ยากในธรรมชาติ ส่วนใหญ่พบเห็นส่วนประกอบของแร่ต่างๆ ในรูป arsenide ของโลหะ เช่น ทองแดง นิเกิล เหล็ก และโคบอลต์ เป็นต้น และพบในรูป arsenic sulfide ได้แก่ realger (tetraarsenic tetrasulfide, As_4S_4) และ orpiment (arsenic sulfide, As_2S_3) หรืออาจพบในรูปออกไซด์ สำหรับในน้ำมักพบในรูป arsenate หรือ arsenite ส่วนสารประกอบ methylated arsenic ที่พบได้ทั่วไปตามธรรมชาตินั้นเกิดจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ และสารประกอบของสารหนูที่สำคัญทางด้านอุตสาหกรรม คือ arsenic trioxide ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by-product) จากการถลุงแร่ทองแดง (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

2.1.2.3 การนำไปใช้ประโยชน์

สารประกอบสารหนูส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ทางด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม แก้ว เซรามิค ยารักษาโรค และเติมในอาหารสัตว์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2532) และกองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2541) ได้กล่าวถึงการนำสารหนูไปใช้ประโยชน์ ดังต่อไปนี้

1. ด้านเกษตรกรรม

1.1 สารเคมีป้องกันและกำจัดแมลง (insecticides) สารประกอบที่ใช้ได้แก่ ตะกั่วอาร์เซเนท ทองแดง อะเซโตอาร์เซไนท์ โซเดียมอาร์เซไนท์ แคลเซียมอาร์เซเนท และสารประกอบหนูอินทรีย์

1.2 สารกำจัดวัชพืช (herbicides) สารประกอบอินทรีย์สารหนูที่ใช้เป็นสารกำจัดวัชพืช ในระยะเริ่มแรกคือ sodium arsenite ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อกำจัดหญ้าตีนนก (crabgrass) ปัจจุบันใช้ MSMA (monosodium methanearsonate), DSMA (disodium methanearsonate) และ cacodylic acid

1.3 น้ำยารักษาสภาพเนื้อไม้ (wood preservatives) ใช้ป้องกันเชื้อราและแมลงที่มาทำลายเนื้อไม้ สารที่นำมาใช้ได้แก่ chromate copper arsenate pentavalent arsenic compounds เมื่อใช้สารประกอบเหล่านี้ภายใต้ความดันสูงมันจะทำปฏิกิริยากับเนื้อไม้ได้เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ไม้ที่ได้จะทนต่อเชื้อราและแมลง

1.4 ผสมในอาหารสัตว์ (feed additives) สารประกอบฟีนิล อาร์เซนิกบางอย่าง เช่น กรดอาร์เซนิกนั้นจะใช้ผสมอาหารสัตว์ปีก และสุกรเพื่อเร่งการเจริญเติบโต และป้องกันโรคบางอย่าง

2. ด้านอุตสาหกรรม

2.1 ใช้ผสมกับโลหะอื่น เช่น ตะกั่ว ทองแดง เป็นโลหะอัลลอยด์หรือผสมโลหะผสมเพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อน สารหนูที่ใช้คือ metallic arsenic

2.2 ใช้เป็นวัสดุกึ่งตัวนำ (semi-conductor) ในเครื่องมือด้านอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์ (transistor) ดีเทคเตอร์ (detectors) โซลาร์แบตเตอรี่ (solar batteries) และ diodes เป็นต้น สารหนูที่ใช้คือ gallium และ indium arsenides

2.3 ใช้เป็นสารให้สีแดงหรือไม่มีสีในผลิตภัณฑ์แก้ว และทำให้แก้วหลอมละลาย

2.4 ใช้เป็น silver reducer ในอุตสาหกรรมกระจกเงาได้แก่ potassiumarsenite

2.5 ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง สำหรับรักษาสภาพหนัง

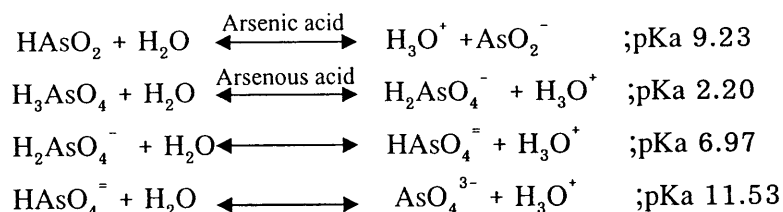
3. ทางการแพทย์ ใช้เป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคทั้งในคนและสัตว์ สำหรับใช้รักษาโรคที่เกิดจากโปรโตซัว (protozoal diseases) โรคที่เกิดจากพยาธิบางชนิด (helminthiasis) รวมทั้งโรคที่เกิดจากพลาสโมดิซึม (spirochete)

4. ทางด้านทหาร ใช้สารประกอบสารหนูเป็นสารพิษในการทำสงคราม หรือยับยั้งการก่อจลาจลสารพิษพวกนี้จะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อเมือก

5. ใช้ในกิจการอื่นๆ เช่น ใช้ในการหาแหล่งแร่ต่างๆ, ใช้เป็นยาบำรุงกำลัง เป็นต้น

2.1.2.4 สารหนูในน้ำ

สารหนูที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม จะมีอยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ส่วนใหญ่จะปะปนอยู่ในแร่ต่างๆในหิน ในวัตถุต้นกำเนิดดินและตะกอนในน้ำ สารหนูอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ ได้แก่ อาร์ซีนัสและอาร์ซีนิก ส่วนสารประกอบอินทรีย์จะอยู่ในรูป methylate forms Braman (1983) กล่าวว่า สารหนูอนินทรีย์ในน้ำ จะอยู่ในรูป Arsenous acid และ Arsenic acid ซึ่งละลายน้ำได้และความสามารถในการละลายน้ำขึ้นอยู่กับพีเอช และบางส่วนอาจจะอยู่ในรูปออร์แกนิก ดังสมการ



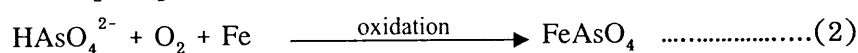
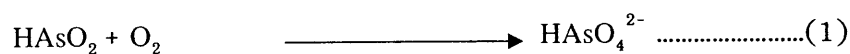
จากสมดุลแสดงให้เห็นว่าสารหนูที่มีได้อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน ที่พีเอช 4 ถึง 8 Arsenous acid จะไม่แตกตัว แต่ arsenic acid เกิดการแตกตัวเป็นหลายรูป ส่วนสารหนูอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมนั้น Braman (1983) ก็ได้รายงานด้วยว่า ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบ methylarsenic ที่ตรวจพบแล้วในธรรมชาติ มีอยู่ 6 ชนิด สรุปไว้ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สารประกอบ Methylarsenic ในสิ่งแวดล้อม

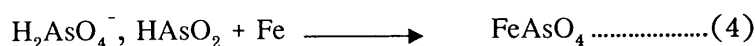
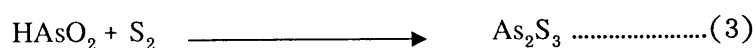
ชื่อ (name)	สูตรเคมี (formula)	อ้างอิง
Dimethylarsenic acid	$(\text{CH}_3)_2\text{As}(\text{O})\text{OH}_2$	Braman & Foreback (1973) Braman et al. (1977) Andreae (1977)
Trimethylarsine	$(\text{CH}_3)_3\text{As}$	Challenger (1945) Braman (1975) Johnson & Braman (1977)
Dimethylarsine	$(\text{CH}_3)_2\text{AsH}$	Challenger (1945) Braman (1975)
Arsenobetaine	$[(\text{CH}_3)_3\text{As}^+\text{CH}_2\text{COO}]$	Johnson & Braman (1977)
Arsenocholine	$[(\text{CH}_3)_3\text{As}^+\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}]$	Edmonds et al. (1977)

ที่มา: Braman (1983)

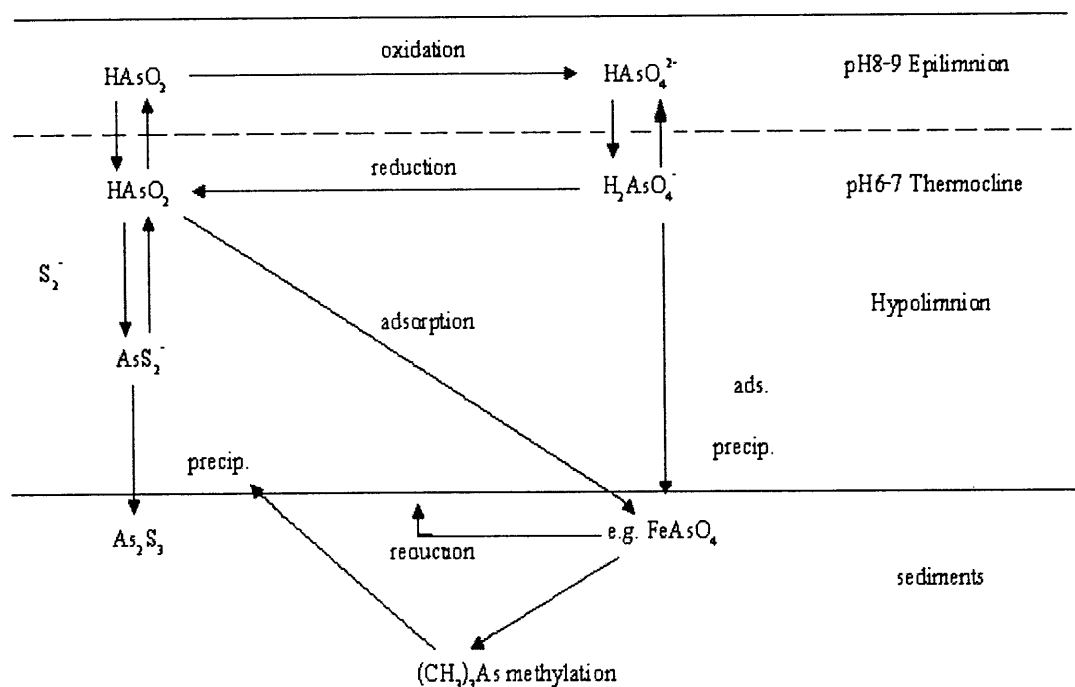
วัฏจักรของสารหนูรูปต่างๆในน้ำยังมีการศึกษากันไม่มากนัก ปฏิกริยาทางเคมีต่างๆ ที่คาดว่าจะพบสารหนูในสิ่งแวดล้อมนั้น ส่วนใหญ่ได้จากการตั้งสมมติฐานขึ้น Ferguson & Gavis (1972) ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่าในชั้นน้ำที่มีออกซิเจนละลายน้ำอยู่มาก (Epilimnion) สารหนูในรูปกรด arsenous acid ก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เป็น arsenate ion แต่ถ้าในแหล่งน้ำมีโลหะพวกเหล็กหรืออลูมิเนียมอยู่ด้วย ก็สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะเหล่านี้ เป็นสารประกอบเกลืออาซีนตตกตะกอนจมสู่ชั้นดินใต้น้ำที่ไม่มีออกซิเจน (hypolimnion) ดังสมการ



นอกจากนี้ Ferguson & Gavis (1972) ยังสมมติฐานต่อไปว่า ถ้าในชั้นที่มีออกซิเจนละลายอยู่มากนี้มีตะกอนและความชุ่มมาก อนุภาคดินเหนียวที่แขวนลอยก็จะสามารถตรึงอนุภาคมูลอาร์ซีนีบางส่วนที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยากับเหล็กได้ด้วยแล้ว จมลงสู่ชั้นดินตะกอนใต้น้ำที่ไม่มีออกซิเจน แต่เนื่องจากชั้นน้ำที่ไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำนี้มีจุลินทรีย์พวก anaerobes อยู่และสามารถนำเอาทั้ง Fe (III) และ As (V) มาใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้เกิด anaerobic respiration ได้สารประกอบอาร์ซีนีเนต จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันกลายเป็นกรด HAsO_2 และเกลืออาร์ซีนีไนต์ได้ และถ้าหากในดินใต้น้ำนั้นมีปริมาณกำมะถันเพียงพอ และมีค่า Eh กับค่า pH ที่เหมาะสมก็สามารถตกตะกอนในท้องถิ่นรูปของ As_2S_3 ได้ ส่วน H_2AsO_4^- และ HAsO_2 ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับกำมะถันก็จะตกตะกอนท้องถิ่นน้ำ โดยการดูดซับจากไฮดรอกไซด์ไอออนของเหล็ก (Fe III) เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเฟอร์สอาร์ซีนีเนต ดังสมการการเกิดปฏิกิริยา คือ



Ferguson & Gavis (1972) คาดว่าจะมีปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีต่างๆที่ควบคุมเคลื่อนย้ายรูปต่างๆของสารหนูในรูปของสารละลายและในรูปของแข็งมีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะออกซิเดชันนัมเบอร์หนึ่งไปยังออกซิเดชันหนึ่งนั้นเป็นไปได้หลายกรณีดังวัฏจักรของสารหนูในแหล่งน้ำในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วัฏจักรของสารหนูในแหล่งน้ำธรรมชาติ (Ferguson & Gavis, 1972)

สารหนูที่แพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำนั้น มีสาเหตุมาจากการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น จากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับฟอกหนัง ย้อมสี ผลิตภัณฑ์เคมีต่างๆ ซึ่งใช้สารหนูในกระบวนการผลิต จากโรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรมการผลิตยาฆ่าแมลง และอุตสาหกรรมเหมืองแร่บางแห่งที่มีสารหนูปะปนอยู่ในแหล่งแร่เหล่านั้น นอกจากนั้นสาเหตุของการแพร่กระจายของสารหนูมายังแหล่งน้ำต่างๆ นั้น ยังเกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น เกิดจากลาวาภูเขาไฟ และบ่อน้ำพุร้อน เช่น จากบ่อน้ำพุร้อนที่สำคัญของอเมริกา ทั้ง 6 บ่อนั้นมีปริมาณสารหนูปนอยู่ด้วย 0.30 ถึง 2,086 มิลลิกรัมต่อลิตร (Fishbein, 1981) และการแพร่กระจายของสารหนู ยังเกิดจากขบวนการชะล้างพังทลายตามธรรมชาติหรือโดยมนุษย์เป็นตัวเร่งของดินที่มาสารหนูปะปนอยู่อีกด้วย (Ashton & Reise, 1989)

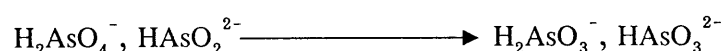
Braman (1983) รายงานว่าสารหนูในน้ำจืดมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงโดย biomethylation ส่วนสารหนูในทะเลจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสารหนูอนินทรีย์กลายเป็นสารหนูอินทรีย์ โดยที่สารหนูเข้าแทนที่ไฮโดรเจน (arsenic containing biochemicals) จะพบสารหนูในรูป methylate ในน้ำบริเวณที่แสงแดดส่องถึง เกิดเนื่องจากแพลงตอนเปลี่ยนสารหนูไปเป็นสารประกอบ methylarsenic (ตารางที่ 1) แต่กลไกของการเปลี่ยนแปลงยังไม่ชัดเจน

มีผู้ศึกษาอัตราการเกิด methylation และ dimethylation ในน้ำพบว่าเมื่อใส่ As (III) ในทะเลสาบ สารหนูบางส่วนจะเปลี่ยนแปลงไปเป็น mono- and dimethylarsenic acid

ภายใน 3-7 วัน การเปลี่ยนแปลงนี้ เกิดเนื่องจากแบคทีเรียและฟังไจบางชนิด Challenger (1945) อ้างโดย Braman (1983)

จากการสำรวจของ Andreae (1980) อ้างโดย Braman (1983) พบสารหนูอนินทรีย์ในน้ำฝน ที่เก็บตัวอย่าง ที่เก็บตัวอย่างจากแคลิฟอร์เนีย วอชิงตัน และฮาวาย แต่ยังไม่พบสาเหตุของการปนเปื้อน ยกเว้นตัวอย่างจากวอชิงตัน ซึ่งคาดว่าอาจมาจากโรงงานถลุงทองแดง

Braman (1983) ยังได้รายงานไว้ด้วยว่า ในน้ำผิวดินจะพบได้ทั้งสารหนูในรูป As (III) และ As (V) เนื่องจากในสภาพแวดล้อมที่สภาวะรีดิวซ์ และพีเอชเป็นกลางอาจเกิดปฏิกิริยา oxygenation ของอาร์ซีนิต (Arsenite) เป็นอาร์ซีนเต (Arsenate) อย่างช้าๆหรืออาจเกิดจากการรีดักชันของแบคทีเรียเพื่อเปลี่ยนอาร์ซีนเตเป็นอาร์ซีนิต ดังสมการ



ในน้ำทะเลจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงประมาณ 8.6×10^{-5} ไมโครโมลของ As (III) ออกซิไดซ์ต่อลูกบาศก์เดซิเมตรต่อวัน แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงจะลดลงเมื่อความเค็ม (salinity) ลดลง (Johnson, 1972 อ้างโดย Gupta & Chen, 1979)

2.1.2 พรอท (Mercury)

2.1.2.1 แหล่งกำเนิด

พรอทเป็นธาตุลำดับที่ 80 สัญลักษณ์ Hg ซึ่งเป็นอักษรย่อจากชื่อในภาษาละตินของธาตุนี้ คือ Hydragrym มีความหมายว่า Liquid Silver หรือ Quick Silver ไม่ปรากฏหลักฐานว่าผู้ใดเป็นผู้ค้นพบธาตุนี้ มีแต่หลักฐานทางประวัติศาสตร์และโบราณคดีชี้ชัดแจ้งว่าชาวจีนและชาวฮินดูในสมัยโบราณได้รู้จักพรอทมาแล้ว ทั้งยังพบธาตุนี้ในที่ฝังศพโบราณในประเทศอียิปต์ ซึ่งมีอายุเก่าแก่ประมาณ 950 ปีก่อนสมันพุทธกาลด้วย (บุญพฤกษ์ จาญามระ, 2543)

2.1.2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมี

พรอท (mercury) เป็นสารโลหะหนัก ในสภาวะอุณหภูมิปกติที่มีความบริสุทธิ์จะมีสถานะเป็นของเหลว มีสีขาวคล้ายเงิน นับเป็นโลหะชนิดเดียวที่มีสภาพเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิปกติ แต่ก็สามารถแปรสภาพเป็นของแข็งได้แต่จะมีความเปราะและจะระเหยเป็นไอได้โดยที่มือน้ำหนักโมเลกุล 200.59 จุดเดือด 356.9 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็ง -38.87 องศาเซลเซียส มีค่าความถ่วงจำเพาะ 13.6 พรอทมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้และเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี

2.1.2.3 การนำปรอทมาใช้ประโยชน์

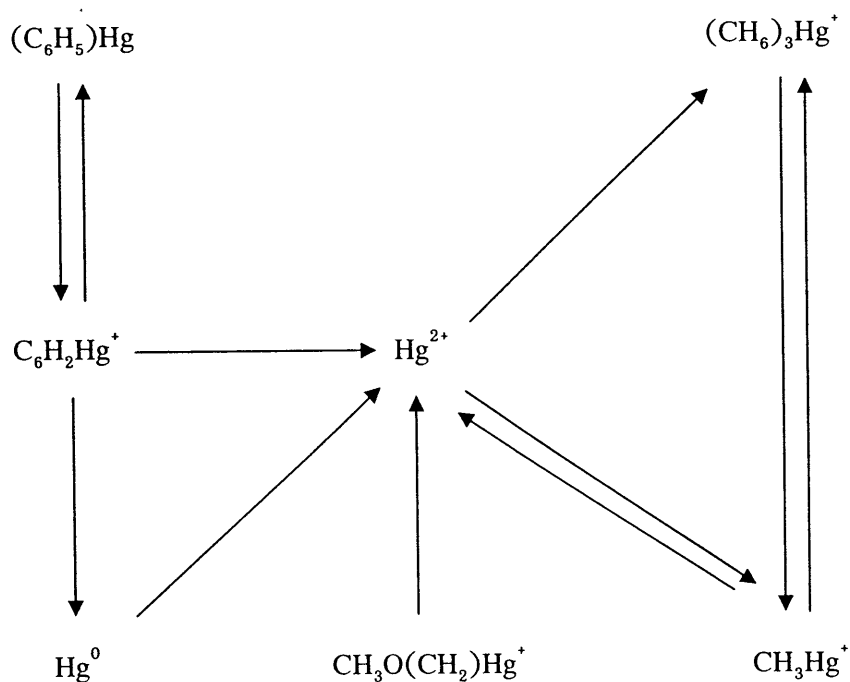
ปรอทสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างกว้างขวางทั้งด้านการแพทย์ วิทยาศาสตร์ การเกษตร การทหาร และอุตสาหกรรมสาขาต่างๆ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2541) ได้สรุปไว้ดังต่อไปนี้

1. ใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่ง (catalyst) ในกระบวนการทางเคมีต่างๆอีกด้วย
2. ใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ คือ เป็นส่วนผสมของยารักษาโรคหลายชนิดในการอุดฟัน และเป็นองค์ประกอบในเครื่องมือแพทย์ เช่น เครื่องมือที่ใช้วัดความดันโลหิต เป็นต้น
3. ใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร คือ เป็นองค์ประกอบของสารเคมีกำจัดเชื้อราในพืชทำให้สามารถป้องกันกำจัดแมลงและเชื้อราที่เป็นศัตรูพืชได้
4. ใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้า อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้าน อุตสาหกรรมผลิตน้ำยาซักแห้ง อุตสาหกรรมผลิตคลอรีนและโซดาไฟ และอุตสาหกรรมทำขนเฟอร์ เป็นต้น
5. ใช้ประโยชน์ทางด้านการทหาร คือ เป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งในการทำระเบิด

2.1.2.4 สารปรอทในน้ำ

สารปรอทสามารถปะปนอยู่ในน้ำได้หลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่แล้วสารปรอทที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำจะมีอยู่ 5 รูป ดังนี้คือ Inorganic divalent mercury (Hg^{2+}), Metallic mercury (Hg^0), Phenyl mercury ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}^+$), Methyl mercury (CH_3Hg^+) และ Alkoxy - alkyl mercury ($\text{CH}_3\text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{Hg}^+$)

เมื่อสารปรอทถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำแล้วบางส่วนจะเข้าไปจับกับอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งสารแขวนลอยเหล่านี้จะทำหน้าที่คล้ายกับตัวกำจัดปรอท โดยการเหนี่ยวนำให้ปรอทไอออนมาเกาะติดกับสารแขวนลอยในน้ำแล้วเกิดการตกตะกอนลงสู่แหล่งน้ำในเวลาต่อมา ซึ่งสารปรอทอินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ในแหล่งน้ำนั้น จะสามารถเปลี่ยนเป็นสารปรอทอินทรีย์ในรูปของ Methyl mercury (CH_3Hg^+) ได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ การเปลี่ยนรูปของสารปรอทในช่วงนี้จะทำให้เกิดสารปรอทอินทรีย์ทั้งสองรูปแบบคือ CH_3Hg^+ ซึ่งเป็นรูปของสารปรอทที่สามารถคงสภาพอยู่ในน้ำได้และ $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ซึ่งเป็นรูปของปรอทที่มีความสามารถในการระเหยสูง โดยปรอทที่อยู่ในน้ำอาจถูกขจัดออกจากน้ำได้โดยการระเหยเป็นไอในรูปของ $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ซึ่งจะเกิดการสลายตัวเมื่อถูกแสงอัลตราไวโอเลตจึงไม่ค่อยพบในอากาศมากนัก โดยการเปลี่ยนรูปของสารปรอทแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนรูปของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม (Jernelov, 1969)

ในสภาวะที่มีการลด (Reducing condition) ปรอทในน้ำจะถูกเปลี่ยนให้เป็น HgS แล้วเกิดการตกตะกอน โดยปรอทในรูปนี้จะละลายน้ำได้น้อยมากหรือไม่ละลายเลย แต่ HgS อาจถูกออกซิไดซ์ได้โดยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) และสามารถละลายน้ำออกมาได้อีก ซึ่งแม่น้ำที่มีการขาดออกซิเจนนั้นที่บริเวณพื้นก้นแม่น้ำจะมี HgS อยู่มาก ซึ่ง HgS สามารถทำปฏิกิริยากับ CH_3Hg^+ ให้เกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ในรูปของไดเมทิลเมอร์คิวรีซัลไฟด์ ($CH_3S-HgCH_3$) ได้ โดยสารปรอทอินทรีย์เหล่านี้จะเข้าไปสะสมในระบบห่วงโซ่อาหาร (Food chain) และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ในที่สุด การเปลี่ยนรูปของสารปรอทอินทรีย์เป็นสารปรอทอินทรีย์นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมหลายประการ เช่น ความเป็นกรดและด่างของน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์ ชนิดและปริมาณของแบคทีเรียในดินตะกอน เป็นต้น ซึ่งค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำนั้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปของปรอทคือในสภาวะที่เป็นด่างจะทำให้เกิด $(CH_3)_2Hg$ แต่ถ้าอยู่ในสภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อยจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปเป็น CH_3Hg^+ มากขึ้น นอกจากนี้สภาวะที่เป็นกรดจะมีผลทำให้ $(CH_3)_2Hg$ เปลี่ยนรูปเป็น CH_3Hg^+ ได้โดยง่าย (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2543)

2.2 การแพร่กระจายและการสะสมของสารหนูและปรอทที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.1 การแพร่กระจายและการสะสมของสารหนูในสิ่งแวดล้อม

ประดิษฐ์ มีสุข และ สัชญา เบญจกุล (2541) ได้ศึกษาการหาปริมาณสารหนูและโลหะหนักในสัตว์น้ำและสาหร่ายทะเลสาบสงขลา ในเดือนธันวาคม 2538 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูและโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และแคดเมียม ในปลา กุ้ง หอย ปู และสาหร่ายจากทะเลสาบสงขลาจำนวน 24 ตัวอย่าง พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งมีชีวิตในทะเลสาบสงขลา มีค่อนข้างสูงในปูทะเลเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ และ ณรงค์ ณ เชียงใหม่ (2532) ได้ทำการศึกษากำหนดปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำ พืช ผัก ผลไม้ และเส้นผมของชาวบ้าน ต.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2533 ถึงเดือนมีนาคม 2534 วิเคราะห์ปริมาณสารหนูโดยใช้อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยวิธีไฮโดรเจนของเนอเรน ได้เก็บตัวอย่างน้ำ 400 ตัวอย่าง ตัวอย่างพืช ผัก ผลไม้ 40 ตัวอย่าง และผมชาวบ้าน 44 ราย ผลการศึกษาพบว่า การปนเปื้อนสารหนูในแหล่งน้ำในพื้นที่มีค่าเท่ากับ 0.055-5.560 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเส้นผมมีค่าเท่ากับ 3.14-7.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ในพืช ผัก ผลไม้ พบว่าปริมาณสารหนูยังไม่เกินมาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ส่วนการศึกษาในต่างประเทศนั้น Neff (1997) ได้ทำการศึกษาถึงการตกค้างของสารหนูในสิ่งมีชีวิตในทะเล โดยคิดเป็นค่าความเข้มข้นรวมทั้งหมดของอาร์ซีนิกในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตในทะเล ซึ่งพบว่าการตกค้างของสารหนูในสิ่งมีชีวิตในน้ำทะเลมีค่าแตกต่างกันออกไปพบมากสุดในหอยทะเลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.97 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งจนถึงการตกค้างน้อยที่สุดในปลาวาฬมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ Cooper & Gillespie (1999) ได้ทำการศึกษากำหนดปริมาณของสารหนูและสารปรอทในดิน ตะกอนดิน น้ำ และในเนื้อเยื่อปลา บริเวณแม่น้ำ Mississippi พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารหนูมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามลำดับการบริโภคจากในน้ำซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ 5.12 ไมโครกรัมต่อลิตร และในเนื้อเยื่อปลาเท่ากับ 36.99 ไมโครกรัมต่อลิตร นอกจากนั้น Kubota et al. (2001). ยังได้ทำการศึกษากำหนดปริมาณการสะสมของสารหนูในเนื้อเยื่อตับของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งพบว่าการสะสมในเนื้อเยื่อตับมีค่าความแปรปรวนแตกต่างกันออกไปในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมแต่ละชนิด ซึ่งอยู่ในช่วง < 0.10-7.68 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

2.2.2 การแพร่กระจายและการสะสมของปรอทในสิ่งแวดล้อม

สารปรอทที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเกิดจากการสลายตัวของสินแร่ที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ ซึ่งปะปนมากับก๊าซจากการระเบิดของภูเขาไฟและการระเหยจากมหาสมุทร รวมทั้งการที่มนุษย์นำปรอทมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อาจทำให้มีการปนเปื้อนของสารปรอท และถูกปล่อยทิ้งออกสู่ธรรมชาติทำให้เกิดการสะสมและการตกค้างของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม จะเห็นได้จากการศึกษาของ ปิยมาภรณ์ ดวงมนตรี (2545) ซึ่งได้ศึกษาการสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต

ผ่านลำดับขั้นตอนการบรีโอดในแหล่งน้ำ โดยมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีและวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำ ดินตะกอนแพลงค์ตอนและปลาช่อนในหนองเล็งเปื้อน ซึ่งรับน้ำทั้งมาจากบึงทุ่งสร้าง โดยนำตัวอย่างน้ำมาย่อยสลายด้วยวิธี Nitric Acid Digestion ตัวอย่างดินตะกอนย่อยสลายด้วยวิธี Nitric-Perchloric Hydrofluoric Acid Digestion ตัวอย่างแพลงค์ตอนย่อยสลายด้วยวิธี Nitric-Perchloric Acid Digestion แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดไปวัดความเข้มข้นของตะกั่วด้วยเครื่อง AAS ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการสะสมตะกั่วในสิ่งมีชีวิต เช่น แพลงค์ตอน ปลาช่อนและปลาช่อน มีค่าเฉลี่ย 21.65, 1.91 และ 0.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้นตะกั่วน่าจะมีการสะสมและการเพิ่มขยายได้ในสิ่งมีชีวิตผ่านลำดับขั้นตอนการบรีโอด และวรวิทย์ ชีวพร (2542) ได้ศึกษาการแพร่กระจายและสะสมของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมทางทะเลบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก โดยทำการเก็บตัวอย่างแท่งดินตะกอน (Sediment core) จำนวน 30 แท่ง และตัวอย่างสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ได้แก่ บริเวณอ่างศิลา ศรีราชา แหลมฉบัง พัทยา และมาบตาพุด ทำการวิเคราะห์หาสารปรอทโดยการย่อยด้วยกรดไนตริกและวัดด้วยเครื่อง AAS ระบบไฮโดรด์ ผลการศึกษาพบว่า โดยทั่วไปปริมาณสารปรอทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความลึกเปลี่ยนไป และพบว่าปริมาณสารปรอทในดินตะกอนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณอนุภาค Silt & Clay และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนอย่างชัดเจนปริมาณสารปรอทที่พบในแท่งตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 4.80 – 37.49 นาโนกรัมต่อกกรัม ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานดินที่ไม่มีการปนเปื้อน (50 นาโนกรัมต่อกกรัม) และค่าเฉลี่ยในดินตะกอนโลก (300 นาโนกรัมต่อกกรัม) ในส่วนของการศึกษาด้านการสะสมตัวและการขยายตัวทางชีวภาพ พบว่าการขยายตัวทางชีวภาพของสารปรอทในห่วงโซ่อาหาร มีการสะสมของสารปรอทเพิ่มขึ้นเมื่อสิ่งมีชีวิตมีขนาดเพิ่มขึ้น และ ปิยนารถ ตุ่มวอน (2539) ได้ศึกษาการสะสมของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตและการแปรผันในระยะยาวของคุณภาพน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนใน ผลการศึกษาการสะสมปรอท แคดเมียมและตะกั่วในสิ่งมีชีวิตจากจำนวนตัวอย่าง 273 ตัวอย่าง 13 ชนิด โดยแบ่งกลุ่มสิ่งมีชีวิตตามลำดับขั้นตอนการบรีโอด ทำการวิเคราะห์ปรอทด้วยวิธี Cold vapor atomic absorption และวิเคราะห์แคดเมียมและตะกั่วด้วยวิธี Flameless atomic absorption พบว่าการสะสมปรอท แคดเมียมและตะกั่วในลำดับขั้นตอนการบรีโอด เมื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีตพบว่าปริมาณปรอทในปลาทะเลมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนปริมาณแคดเมียมและตะกั่ว ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้โดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ส่วน อุไรวรรณ อินทร์ม่วง และคณะ (2541) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักตกค้างในตะกอนท้องน้ำของลำน้ำพองช่วงท้ายเขื่อนอุบลรัตน์ถึงฝายมหาสารคาม โดยเก็บตัวอย่างทุก 2 เดือน ระหว่างมกราคม ถึงพฤศจิกายน 2542 รวม 6 ครั้ง กำหนดจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 10 จุด วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในตะกอน 5 ชนิด คือ ตะกั่ว โครเมียม ทองแดงและสังกะสี การวิเคราะห์ใช้เทคนิค Flame Atomic Absorption Spectrophotometry พบว่าสังกะสีมีปริมาณสูงสุด คือ มีค่า 17.31–23.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียมมีปริมาณต่ำสุด คือ 0.38–3.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่วมีค่า

8.75-58.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โครเมียมมีค่า 1.31-91.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทองแดงมีค่า 4.44-32.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบว่าบริเวณบ้านพระคือ มีโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดสูงสุดเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ ปริมาณโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด โดยรวมมีปริมาณสูงสุดในเดือนมกราคม 2542 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว มีการชะล้างของตะกอนท้องน้ำน้อย จึงทำให้มีการสะสมของโลหะหนักในตะกอนสูงกว่าช่วงเดือนอื่นๆ ซึ่งเช่นเดียวกันกับ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2538) ได้ทำการศึกษการปนเปื้อนของโลหะหนักในลำน้ำพองตอนล่าง จังหวัดขอนแก่น โดยทำการวิเคราะห์โลหะหนักในดินตะกอนและในปลา คือ Pb, Cd, Cu, Cr และ Hg ซึ่งพบว่าปริมาณของโลหะหนักที่สะสมในดินตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง <1-21, <2-8, <5-62, <3-13, <4 และ <0.1-4.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และปริมาณของโลหะหนักที่สะสมในปลามีค่าอยู่ในช่วง 0.258- 0.595, 0.020-0.050, 0.105-0.458, nd-0.308 และ 0.020-0.110 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยจะพบการสะสมของ Pb, Cd, Cu, Cr และ Hg ในปลาสูงสุดที่บริเวณบึงโจด นอกจากนี้ วนิดตา อธิไกร (2537) ยังได้ศึกษาการปนเปื้อนของสารปรอท ตะกั่ว และแคดเมียมในน้ำ และดินตะกอนคลองอุตะเถา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา โดยการเก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอนการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Emission Spectrophotometer ส่วนการวิเคราะห์โลหะหนักในดินตะกอนใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer นอกจากสารปรอทที่ใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer แบบ Cold Vapor Generation Technique ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทตะกั่ว และแคดเมียม ในน้ำมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ส่วนในตะกอนดินความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมและตะกั่วในดินปกติทั่วไป นอกจากปรอทที่มีค่าไม่เกินความเข้มข้นของปรอทในดินปกติทั่วไป การเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วและแคดเมียมในน้ำและตะกอนดินระหว่างฤดูฝนกับฤดูแล้ง พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (= 0.005) ความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในน้ำและตะกอนดินในฤดูฝน (ตุลาคมกับธันวาคม) สูงกว่าในฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์กับเมษายน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมในน้ำในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากในตะกอนดินความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างฤดูฝนกับฤดูแล้ง

2.3 สิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการศึกษา

2.3.1 รันน้ำจืด

รันน้ำจืด (midge) มีการจำแนกทางอนุกรมวิธานได้ดังต่อไปนี้ (Sasa & Kikuchi, 1995)

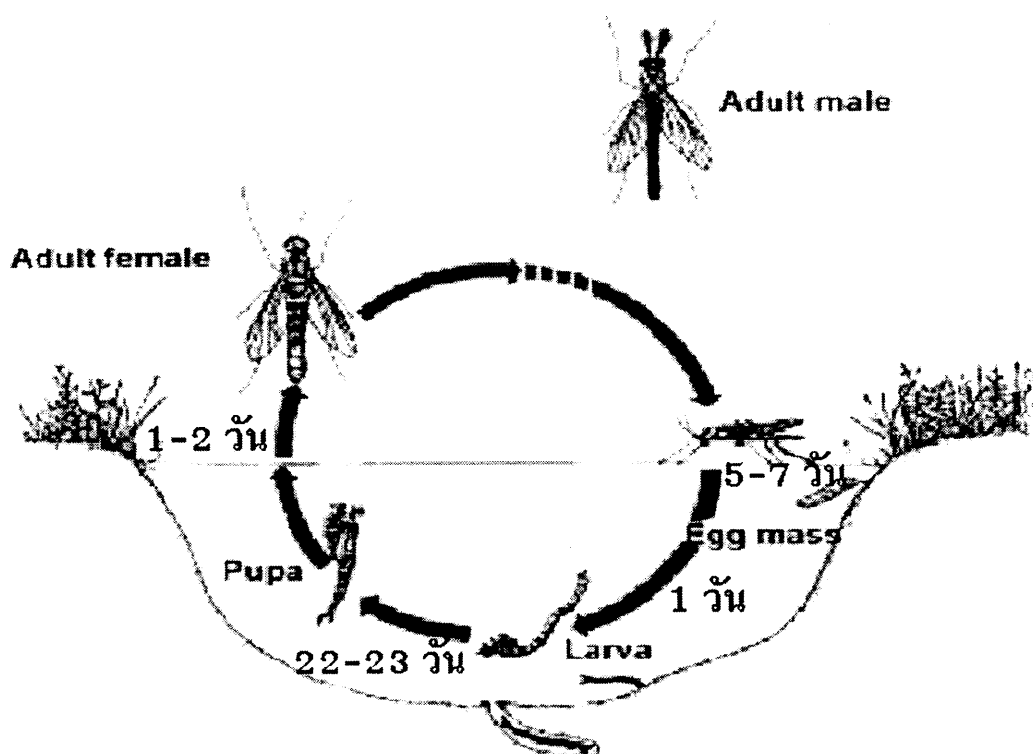
ชื่อภาษาไทย: รันน้ำจืด

ชื่อสามัญ: Midge

ชื่ออันดับ: Diptera

ชื่อวงศ์: Chironomidae

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Chironomus* sp.



ภาพที่ 3 วงจรชีวิตของรันน้ำจืด *Chironomus* sp. (Apperson & Waldvogel, 2003)

2.3.1.1 ลักษณะที่สำคัญ

รึ้นน้ำจืดเป็นแมลงขนาดเล็ก พบได้โดยทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น คู คลอง หนอง บึง หรือทะเลสาบ ทั้งในเขตหนาวอบอุ่น และร้อน (Williams & Feltmate, 1992) การเจริญเติบโตของรึ้นน้ำจืดเป็นแบบสมบูรณ์ (complete metamorphosis) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ตามลำดับ

2.3.1.2 แหล่งที่อยู่อาศัย

การเจริญเติบโตของรึ้นน้ำจืดโดยส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ตั้งแต่ระยะ ไข่จนถึงดักแด้ ส่วนระยะตัวเต็มวัยอาศัยอยู่บนบก โดยตัวหนอนรึ้นน้ำจืดหรือที่เรียกว่า หนอนแดง (bloodworm) อาศัยอยู่ในชั้นตะกอนดินพื้นท้องน้ำ สร้างปลอกหุ้มลำตัวจากเศษซากพืชใบไม้และ กิ่งไม้ที่ทับถมในตะกอนดิน กินเศษซากอินทรีย์วัตถุเป็นอาหาร ตัวเต็มวัยอาศัยอยู่บนบกบริเวณ ใกล้ๆ แหล่งน้ำ คูดกินน้ำหวานเป็นอาหาร (สำรวย เสรีกิจ, 2532)

2.3.1.3 ประโยชน์และความสำคัญ

ตัวหนอนรึ้นน้ำจืดเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำ เช่น ปลา เพราะมี คุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 5.29 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.22 ไขมันร้อยละ 1.21 และมีพลังงานที่สูงถึง 495.51 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม จึงทำให้อัตราการรอดชีวิตและอัตราการ เจริญเติบโตของสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อระบบห่วงโซ่อาหาร และช่วยฟื้นฟู ระบบนิเวศแหล่งน้ำ โดยย่อยสลายเศษซากอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในตะกอนดินใต้ท้องน้ำอีกด้วย (สำรวย เสรีกิจ, 2532)

2.3.1.4 คุณสมบัติการเป็นสัตว์ทดลอง

ตัวหนอนรึ้นน้ำจืดเป็นสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการที่ดี (Taylor et al., 1993) เพราะมีขนาดเล็ก วงจรชีวิตสั้น เพิ่มปริมาณได้รวดเร็วและจำนวนมาก เลี้ยงง่ายใน ห้องปฏิบัติการ (McCahon & Pascoe, 1988) ไวต่อการตอบสนองของสารพิษ และมีความสำคัญต่อระบบห่วงโซ่อาหารและระบบนิเวศทางน้ำอีกด้วย

2.3.2 ปลานิล

2.3.2.1 ประวัติปลานิล

ปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) เป็นปลาที่อยู่ในวงศ์ ซิคลิดี (Family Cichidae) ปลาในวงศ์นี้มีมากกว่า 600 ชนิด ส่วนใหญ่แพร่กระจายอยู่ในแอฟริกา อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ ปลานิลมีถิ่นกำเนิดในกาฬิส จอร์แดน และทะเลสาบทานกันยิกาใน ประเทศอิสราเอลและแอฟริกา นิยมใช้เป็นอาหารอย่างแพร่หลาย (วิทย์ ธารชลาณุกิจ และ ประวิทย์ สุรนิรรต, 2515)

ปลานิลได้เริ่มเข้ามาในประเทศไทยเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2508 โดย เจ้าฟ้าอาภรณ์ มงกุฎราชกุมารแห่งประเทศญี่ปุ่น ได้จัดส่งปลานิลจำนวน 50 ตัว ความยาวเฉลี่ย ตัวละประมาณ 9 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 14 กรัม มาทูลเกล้าถวายแด่พระบาทสมเด็จพระ

พระเจ้าอยู่หัว เมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2508 ในระยะแรกได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าให้เลี้ยงปลานิลในบ่อดินเนื้อที่ประมาณ 10 ตารางเมตร ในบริเวณสวนจิตรลดา พระราชวังดุสิต และเมื่อเลี้ยงได้ 5 เดือนเศษ ปรากฏว่ามีลูกปลานิลเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เจ้าหน้าที่สวนหลวงชุดบ่อขึ้นใหม่อีก 6 บ่อ มีเนื้อที่ประมาณ 70 ตารางเมตร ซึ่งในโอกาสนี้ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ได้ทรงย้ายลูกปลาด้วยพระองค์เองจากบ่อเดิมไปปล่อยในบ่อใหม่ ทั้ง 6 บ่อ เมื่อวันที่ 1 กันยายน 2508 ต่อจากนั้นทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ มอบให้กรมประมง จัดส่งนักวิชาการมาตรวจสอบการเจริญเติบโตของลูกปลานิลเป็นประจำทุกเดือน

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว พระราชทานชื่อปลาชนิดนี้ว่า “ปลานิล” และได้พระราชทาน ปลานิลขนาดความยาว 3-5 เซนติเมตร จำนวน 10,000 ตัว ให้แก่กรมประมง เมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2509 เพื่อนำไปเพาะเลี้ยงและขยายพันธุ์ที่แผนกทดลองและเพาะเลี้ยงในบริเวณเกษตรกลางบางเขน และสถานีประมงต่างๆ อีกจำนวน 14 แห่งทั่วราชอาณาจักร (กรมประมง, 2532)

2.3.2.2 รูปร่างลักษณะ

รูปร่างลักษณะของปลานิลคล้ายปลาหมอเทศ ริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาลและมีลายพาดขวาง 9-10 แถบ ตรงกลางเกล็ดมีสีเข้ม ที่กระดุกแก้มมีจุดสีเข้มอยู่ 1 จุด บริเวณปลายอ่อนของครีบหลัง ครีบกันและครีบทหางมีจุดสีขาว และเส้นสีดำตัดขวางอยู่ทั่วไป (ทัศนีย์ ภูมิพัฒน์, 2524)

2.3.2.3 ลักษณะเพศ

ปกติรูปร่างลักษณะภายนอกของปลานิลตัวผู้และตัวเมีย จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก แต่อวัยวะที่ใช้จำแนกความแตกต่างของปลานิลตัวผู้และปลานิลตัวเมีย คือ อวัยวะเพศ ปลานิลตัวผู้จะมีอวัยวะเพศยื่นยาว มีช่องเปิดเพียงช่องเดียวอยู่ตรงปลาย ทำหน้าที่ขับถ่ายปัสสาวะและน้ำเชื้อ ส่วนปลานิลเพศเมียจะมีอวัยวะยื่นยาวออกมา สั้นและใหญ่กว่าปลาตัวผู้ จะเห็นได้ชัดในปลาที่มีความยาวตั้งแต่ 10 เซนติเมตร ขึ้นไป บนอวัยวะจะมีช่องเปิด 2 ช่อง ช่องแรกจะอยู่ตรงส่วนปลาย ทำหน้าที่เป็นช่องขับถ่ายปัสสาวะ อีกช่องอยู่ถัดไป ทางส่วนหน้าตรงบริเวณกลาง ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีสีชมพูเรื่อๆ หรือสีเนื้อ ทำหน้าที่เป็นช่องปล่อยไข่ นอกจากนี้ยังสังเกตข้อแตกต่างระหว่างตัวผู้กับตัวเมีย ได้อีกทางหนึ่ง คือ สืบบนลำตัว และใต้คางของปลาตัวผู้ จะเข้มกว่าปลาตัวเมียโดยเฉพาะในฤดูผสมพันธุ์ (กรมประมง, 2532)

2.3.2.4 อุปนิสัยและคุณสมบัติบางประการ

ปลานิลมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกว้างมาก คือตั้งแต่ 11-42 องศาเซลเซียส เกี่ยวกับความทนทานของปลานิลต่อความเป็นกรดในน้ำ ปลานิลจะเริ่มตายในน้ำที่มี pH ต่ำกว่า 5.5 ส่วนความเค็มของน้ำนั้น ปลานิลสามารถจะอยู่ได้อย่างปลอดภัยในน้ำที่มีความเค็มสูงถึง 20 ppt (ทัศนีย์ ภูมิพัฒน์, 2524 ; Balarin & Haller, 1982)

Blakely & Hrusa (1982) กล่าวว่าปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมสำหรับปลานิลไม่ควรต่ำกว่า 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูป unionized ammonia ปริมาณ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นพิษต่อปลานิลขนาด 2.13 ± 0.35 เซนติเมตร และทำให้ปลานิลตาย

ปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารได้ทั้งพืชและเนื้อสัตว์ ลูกปลานิลขนาดเล็กจะกินอาหารพวก แพลงก์ตอน ตัวอ่อนแมลงและอินทรีย์วัตถุที่สลายตัวอยู่บริเวณก้นบ่อ ปลานิลขนาดใหญ่จะกินพืชชั้นสูง จำพวกสาหร่ายได้นับว่าเป็นการควบคุมการเจริญเติบโตของวัชพืชได้อีกทางหนึ่ง

มนู โปธารส (2509) กล่าวว่า ปลานิลเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ ซึ่งส่วนใหญ่กินแพลงก์ตอนจำพวกสัตว์ ปลานิลขนาดเล็กจะกินพวกไรน้ำและตัวอ่อนของรึ้นน้ำจืด (chironomus) เป็นอาหาร

Kirk (1972) กล่าวว่า ปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารทั้งพืชและสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากพบอาหารดังกล่าวในระบบย่อยอาหารอันได้แก่ แพลงก์ตอนพวกพืช แมลงในน้ำ กากแมลงฝ้ายรวมถึงสัตว์ที่หากินตามผิวน้ำดิน

2.4 ความเป็นพิษของสารหนูและปรอทที่มีต่อสิ่งมีชีวิต

2.4.1 ความเป็นพิษของสารหนูที่มีต่อสิ่งมีชีวิต

2.4.1.1 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity)

สารหนูเป็นสารที่มีพิษต่อcytoplasm ซึ่งจะสะสมทำให้เกิดโทษต่อร่างกายทุกระบบลักษณะการเกิดพิษ เนื่องจากสารหนูส่วนใหญ่เป็นการเกิดพิษแบบเรื้อรังจากการสัมผัสสารหนูเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกัน ปกติคนเราในแต่ละวันได้รับสารหนู ปริมาณ 0.04-1.4 มิลลิกรัม ปริมาณสารหนูที่คนกินแล้วเป็นพิษ ถึงขั้นเสียชีวิตอยู่ในช่วง 1.5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (arsenic trioxide) ถึง 500 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (diethyl arsenic acid) ซึ่งอาการที่แสดงออกทางระบบต่างๆ (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) ดังต่อไปนี้

1. ระบบหายใจ สารหนูจะไปสะสมที่ปอด ทำให้หลอดลมเกิดการอักเสบ ผื่นคันช่องจมูกทะลุ อาจจะมีผลทำให้เกิดมะเร็งที่ปอด

2. ผิวหนัง ผิวหนังส่วนที่สัมผัสกับสารหนูจะเกิดการระคายเคือง เกิดเป็นโรคผิวหนัง โดยเฉพาะผิวหนังที่อยู่ตามซอกมุมต่างๆ เช่น รักแร้ ซอกคอ หู หนีงตา มุมปาก ซึ่งบางทีจะเป็นตุ่มแข็งใสพอง หรือผิวหนังแข็งด้าน โดยเฉพาะที่ฝ่าเท้า ฝ่ามือ ผิวหนัง อาจจะหลุดออกมาคล้ายกับใบไม้สลัดใบ หรือบริเวณที่สัมผัสจะเป็นจุดสีๆ คล้ายกับเม็ดฝนเกิดเป็นหูด และต่อไปอาจจะเป็นสาเหตุของมะเร็งที่ผิวหนัง

3. ตับ สารหนูจะไปรบกวนการทำงานของตับ ความดันโลหิตที่จะเพิ่มขึ้นมี
การทำลายตับ ทำให้เป็นโรคตับแข็ง

4. ระบบประสาท สารหนูเมื่อเข้าไปสู่ระบบการไหลเวียนของโลหิตจะไม่มี
ผลต่อน้ำย่อย (cellular enzyme) ที่ช่วยในการเมตาบอลิซึม ทำให้หน้าที่ในการทำงานเสียไป เกิด
การเบื่ออาหาร ปลายประสาทอักเสบ แขนขาชา อาจจะเป็นอัมพาต

5. สมอ ไปทำให้เกิดการระคายเคืองต่อสมอ กระสับกระส่าย ความจำ
เสื่อม

6. ตา จะเกิดอาการตาแดง ตาอักเสบ เพราะถูกรบกวนจนกระทั่ง
เส้นโลหิตฝอยแตก อาการทางระบบประสาท เนื่องจากสารหนูเข้าไปสู่ระบบการไหลเวียนของ
โลหิต ซึ่งจะมีผลต่อน้ำย่อยที่ช่วยในระบบเผาผลาญของร่างกาย ทำให้การทำงานเสียไปปลาย
ประสาทอักเสบแขนขาชาและเป็นอัมพาตในที่สุด

7. อื่น ๆ เช่น เกิดโลหิตจาง การรบกวนการไหลเวียนของเลือด การ
เปลี่ยนแปลงกลไกการซ่อมสร้าง ดี เอ็น เอ เป็นต้น

2.4.1.2 ความเป็นพิษต่อสัตว์ (Animal Toxicity)

ปฏิกิริยาการเกิดพิษเกิดขึ้นเนื่องจากสารหนูไปยับยั้งการทำงานของ SH-
group ในเอนไซม์ เช่น pyruvate dehydrogenase

ปริมาณต่ำสุดของสารหนูที่ทำให้หนู (rat) ตาย เมื่อฉีดเข้ากล้ามเนื้อ คือ 25
มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณต่ำสุดของสารหนูที่ทำให้กระต่ายตายเมื่อฉีดเข้าผิวหนัง คือ 300
มิลลิกรัมต่อลิตร (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

2.1.4.3 ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Aquatic organisms toxicity)

สำหรับการศึกษาค่าความเป็นพิษของโซเดียมอาร์ซีไนท์ต่อรึ้นน้ำจืดและปลานิล
นั้น มีข้อมูลการศึกษาน้อยมากในกลุ่มปลานิล ดังนั้นจึงได้รวบรวมค่าความเป็นพิษของ
โซเดียมอาร์ซีไนท์ต่อปลาน้ำจืดชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากข้อมูลพื้นฐานของ U.S. EPA'S
AQUIRE (2006) ไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพิษเฉียบพลันของสารหนูที่มีต่อปลาและรึ้นน้ำจืด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

โลหะหนัก	สิ่งมีชีวิตในน้ำ	ช่วงอายุ	ระยะเวลา(ชั่วโมง)	ค่า LC ₅₀ (มก/ล)	อ้างอิง
โซเดียมอาร์ซีไนท์	ปลาทอง <i>Carassius auratus</i>	6 เดือน	24	89.6	Cardwell et al. (1976)
			36	60.8	
			48	54.6	
			72	50	
			96	44.9	
	ปลาหางนกยูง <i>Gambusia affinis</i>	-	24	77.84	Johnson (1978)
		-	48	57.66	
		-	96	34.0	
	ปลา channel catfish <i>Ictalurus punctatus</i>	ความยาวลำตัว 2-3 นิ้ว	30	97.7	Clemens & Sneed (1959)
			48	73.7	
			72	51.6	
			96	41.6	
	ปลา Bluegill <i>Lepomis macrochirus</i>	ความยาวลำตัว 44 มิลลิเมตร	24	36.0	Inglis & Davis (1972)
			48	26.8	
			72	21.0	

ตารางที่ 2 ค่าพิษเฉียบพลันของสารหนูที่มีต่อปลาและรึ้นน้ำจืด (มิลลิกรัมต่อลิตร) (ต่อ)

โลหะหนัก	สิ่งมีชีวิตในน้ำ	ช่วงอายุ	ระยะเวลา(ชั่วโมง)	ค่า LC ₅₀ (มก/ล)	อ้างอิง
โซเดียมอาร์ซีไนท์	ปลา Fathead minnow	-	48	15.9	Lima et al. (1984)
	<i>Pimephales promelas</i>	-	72	14.7	
			96	14.1	
	ปลา Brook trout	ความยาวลำตัว	24	53.9	Cardwell et al. (1976)
	<i>Salvelinus fontinalis</i>	200 มิลลิเมตร	48	27.8	
	รึ้นน้ำจืด	วัย 1	48	14.7	Jeyasingham and Ling (2000)
	<i>Chironomus sp.</i>		72	12.7	
		วัย 2	48	20.4	
			72	16.6	
			96	15.0	
		วัย 3	48	31.3	
			72	19.6	
			96	17.3	
		วัย 4	48	39.1	
			72	18.0	
			96	9.8	

ตารางที่ 2 ค่าพิษเฉียบพลันของสารหนูที่มีต่อปลาและรึ้นน้ำจืด (มิลลิกรัมต่อลิตร) (ต่อ)

โลหะหนัก	สิ่งมีชีวิตในน้ำ	ช่วงอายุ	ระยะเวลา(ชั่วโมง)	ค่า LC ₅₀ (มก/ล)	อ้างอิง
โซเดียมอาร์ซีไนท์	รึ้นน้ำจืด <i>Chironomus zealandicus</i>	วัย 1	48	36.7	Jeyasingham & Ling (2000)
			72	29.5	
			48	79.4	
			72	24.5	
		วัย 2	96	16.2	
			48	103	
			72	81.3	
			96	63.4	
		วัย 3	48	42.9	
			72	32.9	
			96	27.9	
			48	19.0	
	รึ้นน้ำจืด <i>Polypedilum</i> sp.	วัย 1	72	16.2	
			48	37.4	
			72	22.2	
			96	19.7	

ตารางที่ 2 ค่าพิษเฉียบพลันของสารหนูที่มีต่อปลาและรึ้นน้ำจืด (มิลลิกรัมต่อลิตร) (ต่อ)

โลหะหนัก	สิ่งมีชีวิตในน้ำ	ช่วงอายุ	ระยะเวลา(ชั่วโมง)	ค่า LC ₅₀ (มก/ล)	อ้างอิง
โซเดียมอาร์ซีไนท์	รึ้นน้ำจืด	วัย 4	48	142	Jeyasingham & Ling (2000)
			72	72.3	
			96	41.9	
	Stonefly	ความยาวลำตัว	24	140	Sanders & Cope (1968)
	<i>Pteronarcys californicus</i>	30-35 มิลลิเมตร	48	120	
		-	96	38.0	

2.4.2 ความเป็นพิษของสารปรอทที่มีต่อสิ่งมีชีวิต

ปรอทแต่ละรูปมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตไม่เท่ากัน ปรอทในรูปสารประกอบอินทรีย์เป็นกลุ่มที่มีความเป็นพิษที่สุด ได้แก่ Methylmercury ร่างกายสามารถดูดซึม Methylmercury ในทางเดินอาหารได้สูงถึง 95–98 เปอร์เซ็นต์ แต่ขับออกมาในรูปของเสียได้น้อยมาก เนื่องจากเป็นสารที่ไม่เสถียรไม่ค่อยแตกตัวเป็นสารอินทรีย์ Methyl mercury สามารถยึดติดกับเม็ดเลือดแดงและแพร่กระจายไปยังทุกส่วนของร่างกายและประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ จะสะสมอยู่ในสมอง ส่วนปรอทรูปที่เป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์มากที่สุด คือ ไอระเหยของธาตุปรอทสามารถเกิดพิษเฉียบพลันได้ ถ้าหายใจเข้าไปในช่วง 1,200 – 8,500 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนสารประกอบอินทรีย์ของปรอทมีความเป็นพิษน้อยที่สุดเพราะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยทางเดินอาหารได้น้อยกว่า (ไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์) และยิ่งกว่านั้นยังถูกขับออกมาจากร่างกายได้ง่าย

2.4.2.1 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity)

ปรอทเมื่อเข้าสู่ร่างกายมนุษย์แล้วก่อให้เกิดอันตราย โดยการแตกตัวเป็นไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้าโดยไอออนดังกล่าวจะไปขัดขวางกระบวนการทางชีวเคมีที่ทำให้เกิดพลังงานแก่ร่างกาย ดังนั้นร่างกายจึงจำเป็นต้องหาวิธีอื่นเพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งพลังงาน โดยวิธีการเหล่านี้จะมีกรดแลคติก (Lactic acid) เกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้ ซึ่งกรดชนิดนี้จะเป็นผลร้ายต่อเซลล์ภายในร่างกาย ทำให้เซลล์ส่วนที่มีกรดตายได้และจะปรากฏผลออกมาในรูปของการแสดงอาการผิดปกติต่างๆ ของร่างกาย โดยปรอทในสถานะที่เป็นของเหลวมีความเป็นพิษไม่มากนักแต่เมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นไอจะมีพิษอย่างรุนแรงพิษของปรอททำให้เกิดอันตรายต่อระบบต่างๆ ภายในร่างกายทั้งในลักษณะที่เป็นพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง

1) ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity) ในกรณีของพิษเฉียบพลันนั้นอาจเกิดจากการได้รับปรอทด้วยสาเหตุต่างๆ เช่น การพยายามฆ่าตัวตาย หรือการเกิดอุบัติเหตุในการทำงาน เป็นต้น โดยอาการที่เกิดภายหลังจากปรอทเข้าสู่ร่างกายทางปาก ได้แก่ ปากเป็นแผลพุพอง อักเสบและมีเลือดออก นอกจากนี้ระบบทางเดินอาหารจะถูกทำลาย มีอุจจาระเป็นเลือด รวมทั้งเกิดการอาเจียน เป็นลมหมดสติ และอาจทำให้ถึงตายได้

2) ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity) ส่วนกรณีของพิษเรื้อรังก็จะแสดงอาการออกมาได้หลายลักษณะ คือ

2.1) ทำลายระบบทางเดินหายใจ

2.2) เกิดผลกระทบต่อระบบขับถ่ายโดยการทำลายไต ทำให้ปัสสาวะได้น้อยหรือปัสสาวะไม่ออก

2.3) เกิดผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยทำให้ระบบประสาทเกี่ยวกับการได้ยิน การมองเห็นสูญเสียไป นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางจิตใจ ความจำเสื่อม กล้ามเนื้อกระดูกทรุดตัวไม่ดี ขา อ่อนเพลีย ในบางรายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านพฤติกรรมและบุคลิกลักษณะ รวมทั้งมีอาการตกใจง่าย มีความรู้สึกเศร้า

สลด และชอบทะเลาะวิวาท นอกจากนี้สารปรอทในเลือดยังสามารถผ่านสู่ทารกในครรภ์มารดา และทำให้พัฒนาการของเด็กผิดปกติได้

ผลต่อระบบเอนไซม์ เมื่อปรอทเข้าสู่ร่างกายจะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ประเภทกลุ่มซัลไฮไดรล ซึ่งจะขัดขวางหรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ประเภทนี้ ผลที่เกิดขึ้นตามมาแตกต่างกันออกไปขึ้นกับหน้าที่ของเอนไซม์ชนิดนั้นๆ เช่น ถ้าขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ 2,3 Diphosphoglycerol Dehydrogenase ก็จะทำให้ฮีโมโกลบินลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์น้อยลง แต่ถ้าหากเอนไซม์ Succinicdehydrogenase และ Pyruvate Oxidase ถูกยับยั้งการเผาผลาญอาหารในไมโทคอนเดรียก็จะไม่เกิดขึ้น นอกจากนี้การที่เอนไซม์ขัดขวางการทำงานก็จะมีผลทำให้ขาดการควบคุมการกรองสารและการดูดซึมสารเข้าสู่ไต

นอกจากนั้น พิษจากปรอทจะทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะต่างๆ ทำให้โครงสร้างของอวัยวะนั้นเปลี่ยนแปลงไป เช่น ทำลายเนื้อเยื่อตับ ไफเบอร์ของกล้ามเนื้อหัวใจ หลอดไต กระเพาะและลำไส้ส่วนดูโอดินัม และทำให้การผลิตเซลล์เม็ดเลือดแดงของไขกระดูกลดลง ไอปรอทที่สูดหายใจเข้าไปเป็นอันตรายร้ายแรงต่อเนื้อเยื่อปอด อาจก่อให้เกิดพิษแบบเฉียบพลันถึงตายได้ การทำงานของอวัยวะที่ได้รับจากปรอทจึงผิดปกติหรือลดประสิทธิภาพลง หากตรวจพบระดับสารปรอทในปัสสาวะ 50-100 ไมโครกรัมต่อลิตร นับว่าอยู่ในขั้นอันตราย ส่วนระดับปรอทในเลือดปกติจะพบในปริมาณที่น้อยกว่า 2 ไมโครกรัมต่อลิตร และถ้ามีเกิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร จัดอยู่ในขั้นอันตราย (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541)

2.4.2.2 ความเป็นพิษต่อสัตว์ (Animal Toxicity) IRPTC (1982) อ้างถึงใน กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (2541) ได้กล่าวถึงความเป็นพิษของสารปรอทที่มีต่อสัตว์ทดลองไว้ดังต่อไปนี้

1. ความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity)

1.1 ปรอทที่ระดับความเข้มข้น 0.04-3.0 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่อน้ำหนักตัว ทำให้หนูทดลอง (Albino Mice) ที่ได้รับสารพิษดังกล่าวเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน ตายได้ในระยะเวลา 2-3 เดือน แต่ถ้าระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 3-5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่อน้ำหนักตัว ปรากฏว่าหนูทดลองตายภายในระยะเวลาเพียง 115 ชั่วโมง

1.2 ปรอทที่ระดับความเข้มข้น 10-16 mg/m³/d ทำให้หนูทดลอง (Guinea Mice) ที่ได้รับสารพิษดังกล่าวเป็นเวลา 2-4 ชั่วโมงต่อวัน ตายได้ภายใน 3 วัน

1.3 ปรอทที่ระดับความเข้มข้น 15-20 mg/m³/d ทำให้สุนัขที่ได้รับสารพิษดังกล่าวเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ตายได้ภายใน 1-3 วัน

2. ความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic Toxicity)

2.1 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว

2.2 ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของต่อมไทรอยด์ลดลง

2.3 ทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนภายในร่างกายถูก

รบกวน

2.4 มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบต่อมต่างๆ ภายในร่างกาย

2.5 มีผลต่อระบบสืบพันธุ์

อนึ่ง สำหรับผลกระทบของสารปรอทที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ พบว่า ปรอทที่ระดับความเข้มข้น 0.008-0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหลายชนิดในน้ำ ตายได้ และที่ระดับความเข้มข้นประมาณ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรากฏว่ามีผลให้กระบวนการ สังเคราะห์แสงของพืชน้ำหยุดชะงักลง นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการสืบพันธุ์ของไรน้ำ ด้อยลง ถ้ามีปรอทปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4.2.3 ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Aquatic organisms toxicity)

การศึกษาค่าความเป็นพิษของเมอร์คิวริกคลอไรด์ต่อรึ้นน้ำจืดและปลานิล นั้นมีข้อมูลในการศึกษาค่าความเป็นพิษน้อย แต่ได้รวบรวมค่าความเป็นพิษของเมอร์คิวริกคลอไรด์ต่อรึ้นน้ำจืด ปลานิล และรวมถึงปลาน้ำจืดชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากข้อมูลพื้นฐานของ U.S. EPA'S AQUIRE (2006) ไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพิษเฉียบพลันของปรอทที่มีต่อปลานิลและรึ้นน้ำจืด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

โลหะหนัก	สิ่งมีชีวิตในน้ำ	ช่วงอายุ	ระยะเวลา(ชั่วโมง)	ค่า LC ₅₀ (มก/ล)	อ้างอิง
เมอร์คิวริกคลอไรด์	ปลาทอง	-	24	400	Sharma & Davis (1980)
	<i>Carassius auratus</i>				
	ปลา Rainbow trout	ความยาวลำตัว	24	0.04	Calamari & Marchetti (1973)
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	12-16 เซนติเมตร			
	ปลา Bluegill	น้ำหนัก 0.6 กรัม	24	0.21	Holcombe et al. (1983)
	<i>Lepomis macrochirus</i>		48	0.19	
	ปลา Fathead minnow	ความยาวลำตัว	24	0.24	Call et al. (1983)
	<i>Pimephales promelas</i>	20 มิลลิเมตร	48	0.19	
			72	0.16	
			96	0.15	
	ปลานิล	ความยาวลำตัว	24	3.10	El-Bouhy (1993)
	<i>Tilapia zillii</i>	11 เซนติเมตร			
	ปลานิล <i>Tilapia nilotica</i>	น้ำหนัก 3- 660 กรัม	96	5.53	Boetius (1960)
	ปลานิล <i>Tilapia natalensis</i>	-	-	30.0	Qureshi et al (1980)

ตารางที่ 3 ค่าพิษเฉียบพลันของปรอทที่มีต่อปลานิลและรึ้นน้ำจืด (มิลลิกรัมต่อลิตร) (ต่อ)

โลหะหนัก	สิ่งมีชีวิตในน้ำ	ช่วงอายุ	ระยะเวลา(ชั่วโมง)	ค่า LC ₅₀ (มก/ล)	อ้างอิง
เมอร์คิวริกคลอไรด์	รึ้นน้ำจืด <i>Chironomus</i> sp.	วัย 2	24	4.00	Rao & Saxena (1981)
	รึ้นน้ำจืด <i>Chironomus tentans</i>	วัย 4	48	1.80	
	รึ้นน้ำจืด <i>Chironomus thummi</i>		24	7.391	Ziegenfuss (1986)
			48	2.78	Rossaro (1986)
			24	1.07	
			48	0.32	
			96	0.10	

2.5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะจุลพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อเหงือกและตับปลานิล

เนื่องจากปลาเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์ ดังนั้นจึงมีการนำปลามาใช้ในการทดสอบความเป็นพิษจากสารพิษชนิดต่างๆ เพื่อความปลอดภัยของมนุษย์ และเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในน้ำซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของการใช้ปลาเป็นสัตว์ทดลองในด้านวารีชีววิทยา (พาลาก สิงห์เสนี & วินิจ ต้นสกุล, 2530)

2.5.1 เหงือก

จากรายงานของ Jonsson & Toledo (1993) ซึ่งได้ศึกษาผลของเหงือกปลา *Brachydanio rerio* ที่ได้รับสารเอนโดซัลฟาน 1.6 ไมโครกรัมต่อลิตร นาน 24 ชั่วโมง พบว่าเซลล์บุเหงือกมีการอักเสบ การเพิ่มจำนวนเซลล์ การทำลาย และการหลุดออก ส่วน Khan et al. (1994) ได้ทำการเก็บตัวอย่างปลา winter flounder จากแหล่งน้ำที่อยู่ใกล้อุตสาหกรรมทำกระดาษมาตรวจสอบเนื้อเยื่อของเหงือก พบว่า มีการแบ่งตัวของเซลล์เหงือก และจากการศึกษาของ Kumari & Kumar (1995) พบว่าเหงือกปลา *Channa striatus* จากแหล่งน้ำมลพิษ Hussainsagar ในประเทศอินเดีย พบว่าเซลล์บุเหงือกถูกทำลาย Spies (1996) ได้สำรวจจับปลา rainbow surfperch และ rubberlip surfperch จากเขตที่มีการรั่วไหลของน้ำมันปิโตรเลียมบริเวณช่องแคบ Santabarbara เพื่อดูผลกระทบที่ได้รับจากสารไฮโดรคาร์บอน ทำให้ทราบว่ามีการรุนแรงที่เหงือกคือเกิดการเจริญที่ผิดปกติของเหงือกและกิ่งเหงือก มีการเชื่อมรวมกัน (fusion) ของกิ่งเหงือก เส้นเลือดอักเสบและโป่งพอง และมีการเพิ่มจำนวนของเซลล์บุผิว

2.5.2 ตับ

Narain (1990) ได้ทดสอบน้ำเสียจากท่อระบายน้ำต่อปลาน้ำจืด 2 ชนิด คือ *Heteropneustes fossilis* และ *Anabas testudineus* เป็นเวลา 10 วัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิวิทยาของเนื้อเยื่อตับคือ มีการเสื่อมสลายและการตายของเซลล์ตับ Patwardhan & Gaikwad (1991) ได้ใช้ซูมิไทออน (sumithion) ซึ่งเป็นยาฆ่าแมลงในกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟส (organophosphate) มาทดสอบความเป็นพิษที่เกิดขึ้นในปลา *Gambusia affinis affinis* ปรากฏว่ามีการตายของเซลล์ตับและพบแวคิวโอลในเซลล์ตับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของช่องไซนูซอยด์พบว่า ผนังของช่องไซนูซอยด์และเซลล์เม็ดเลือดแดงถูกทำลาย จากการศึกษาการเกิดพิษแบบเรื้อรังพบว่าผนังของช่องไซนูซอยด์ในตับถูกทำลายและไม่มีเม็ดเลือดภายในท่อเลือด มีการขยายขนาดและเพิ่มจำนวนเซลล์จากตับอ่อน ส่วนบริเวณกลางของตับอ่อนมีเซลล์เม็ดเลือดแดงเข้ามาสะสม และผนังของตับอ่อน (fibrous wall) ถูกทำลาย Gerundo et al. (1991) ได้ศึกษาผลของมาลาโคทกรีนซึ่งเป็นยาฆ่าเชื้อราต่อปลา rainbow trout (*Salmo gairdneri*) โดยนำปลามาแช่ในน้ำยามาลาโคทกรีนที่ระดับความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 40 นาที สัปดาห์ละครั้งนาน 3 สัปดาห์ จากนั้นนำมาตรวจสอบดูผลการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อของตับ พบว่าเนื้อเยื่อของตับถูกทำลายเป็นหย่อม ๆ และมีการคั่งของเซลล์เม็ดเลือดแดงในช่องไซนูซอยด์

Patil et al. (1992) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อตับของปลา *Boleophthalmus dussumieri* ที่ได้รับสารโมนโครโทฟอส (monocrotophos) ความเข้มข้น 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 7 วันปรากฏว่าเยื่อหุ้มเซลล์ตับถูกทำลาย นิวคลีโอลัสถูกดันเข้าไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของนิวเคลียส และเกิดการเสื่อมของไขมัน Radhaiah & Jayantha-Rao (1992) ศึกษาความเป็นพิษของเฟนเวลเรท (fenvalerate) ซึ่งเป็นยาฆ่าแมลงในกลุ่มไพรีทรอยด์ (pyrethroid) ต่อดับปลา *Tilapia mossambica* ปรากฏว่าสารนี้มีผลทำให้เนื้อเยื่อตับเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ มีการสะสมแวคิวโอลภายในเซลล์ตับ มีเซลล์ตาย นิวเคลียสถูกดันเข้าไปอยู่บริเวณของเยื่อหุ้มเซลล์และภายในนิวเคลียสมีการจับกลุ่มกันของโครมาตินหดตัวกันแน่นจนมีขนาดเล็กลงติดสีทึบ และยังพบว่าการเสื่อมสลายภายในไซโตพลาสซึม Ghosh & Charkrabarti (1993) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อของตับปลา *Heteropneustes fossilis* ภายหลังได้รับสารแคดเมียมความเข้มข้น 57 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 30 วัน ปรากฏว่าเยื่อหุ้มเซลล์ตับถูกทำลายมีรอยแยก มีการสะสมของแวคิวโอลภายในไซโตพลาสซึม และมีการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส Kumari & Kumar (1995) ได้ศึกษาปลา *Channa striatus* ที่จับจากแหล่งน้ำที่มีมลพิษ Hussainsagar ในเมือง Hyderabad ประเทศอินเดีย เพื่อตรวจสอบความผิดปกติของเนื้อเยื่อตับ พบว่ามีการตายของเซลล์ตับ การสะสมของแวคิวโอล และยังพบว่านิวเคลียสและเยื่อหุ้มเซลล์ตับถูกทำลาย ส่วน Khan et al. (1994) ได้เก็บตัวอย่างปลา winter flounder (*Pleuronectes americanus*) จากแหล่งน้ำที่อยู่ในเขตใกล้อุตสาหกรรมทำกระดาศมาศึกษาและทำการตรวจสอบเนื้อเยื่อตับของปลาเหล่านี้ พบว่ามีการเกิดแวคิวโอลในเซลล์ตับเป็นหย่อมๆ ซึ่งแสดงรอยโรคก่อนการเป็นเนื้องอก (preneoplastic lesion) มีการสะสมสารสีที่ประกอบด้วยธาตุเหล็กจากฮีโมโกลบินซึ่งได้จากการแตกตัวของเม็ดเลือดแดง (hemosiderin) ในม้าม ตับปลาส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษามีขนาดใหญ่มาก ความรุนแรงของโรคที่เกิดขึ้นในปลาขนาดใหญ่มีไม่มาก แต่จะมองเห็นได้เด่นชัดในปลาขนาดเล็ก ถึงแม้ลักษณะอาการของโรคนี้อาจไม่แน่ชัดว่ามีสาเหตุมาจากสารใด แต่ก็ส่งผลให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์โดยรวม