มลภาวะโลหะหนักในประเทศไทยและการใช้สาหร่ายขนาดเล็กเป็นดัชนีบ่งชี้ทางชีวภาพ

สุรัมภา เจริญศิลป์ และชยากร ภูมาศ*

สาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

*E-mail: chayakorn.pumas@gmail.com

รับบทความ: 16 ตุลาคม 2562 แก้ไขบทความ: 2 มิถุนายน 2563 ยอมรับตีพิมพ์: 12 มิถุนายน 2563

บทคัดย่อ

การปลดปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมเกินขีดจำกัด ส่งผลให้เกิดมลพิษด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางบก ทางน้ำ หรือทางอากาศ ซึ่งมีความรุนแรงและยากต่อการแก้ไขมาเป็นระยะเวลานานและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องมาหลายสิบปี หนึ่งในผลกระทบต่าง ๆ เหล่านี้ คือ การรั่วไหลปนเปื้อนของโลหะหนักตามแหล่งน้ำในประเทศไทย การปนเปื้อนของโลหะหนักนี้ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมนานาประการต่อระบบนิเวศธรรมชาติ แหล่งเกษตรกรรม แหล่งประมง แหล่งชุมชน รวมถึงสุขภาพของประชาชนชาวไทยทุกคน ดังนั้นจึงควรหาแนวทางติดตามและแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำ เพื่อประหยัดเวลาและงบประมาณในการแก้ไขที่ปลายเหตุ เหมือนดังเช่นหลายเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย บทความทางวิชาการนี้กล่าวถึงคุณประโยชน์และโทษของโลหะหนัก แหล่งที่มาของการปนเปื้อนโลหะหนัก แนวโน้มการเกิดมลพิษโลหะหนักในแหล่งน้ำของประเทศไทย ผลกระทบของการปนเปื้อน วิธีการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำ และการตรวจติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักโดยสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศแหล่งน้ำ

คำสำคัญ: โลหะหนัก มลพิษทางน้ำ ดัชนีชีวภาพ

Heavy Metals Pollution in Thailand and Using of Microalgae for Bioindicators

Surumpa Jareonsin and Chayakorn Pumas*

Microbiology Section, Department of Biology, Faculty of Science,
Chiang Mai University, Chiangmai 50200, Thailand
*E-mail: chayakorn.pumas@gmail.com

Received: 16 October 2019 Revised: 2 June 2020 Accepted: 12 June 2020

Abstract

Over released pollutants always lead to toxic pollution into a terrestrial and aquatic environment. One of constantly tricky situation, which is challenging to be solved, or repaired, is the contamination of heavy metals in water system in Thailand. Heavy metals contamination into water causes decadent systems such as agricultural area, fishery, community, and well–being of Thai people. Moreover, Thailand government paid much money for final solving the past hazardous situations. Thus, for saving time and cost, the immediate detection, indication, and solving the problems of heavy metals contamination are required. This literature review is to mention the advantages and disadvantages of heavy metals, sources of contamination, occurring trend of heavy metals in aquatic systems of Thailand, the impacts of contamination, how to solve the problems in water, and the detection or indication of heavy metals pollution by using bioindicators.

Keywords: Heavy metals, Water pollution, Bioindicators

บทนำ

เมื่อย้อนกลับไปในอดีต ประเทศญี่ปุ่นได้เกิดโศกนาฏกรรมอันโด่งดังและเป็นที่มาของประวัติศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบการปนเปื้อนโลหะหนักจากโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่แหล่งน้ำ เช่น “โรคมินามาตะ” ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่ประเทศญี่ปุ่นกำลังพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างรุ่งเรือง โรคนี้มีสาเหตุมาจากโรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำเสียที่มีสารปรอทเจือปนลงไปยังอ่าวมินามาตะ อีกทั้งต่อมายังพบผู้ป่วยที่มีอาการกระดูกเปราะ ซึ่งชาวญี่ปุ่นเรียกโรคนี้ว่า “โรคอิไตอิไต” ซึ่งมีสาเหตุมาจากแคดเมียมที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียของโรงงานเช่นเดียวกัน (Internet, 2019) เหตุการณ์ทางประวัติศาสตร์เหล่านี้ สามารถบ่งบอกได้ว่าหากประชาชนไม่สามารถรับรู้การปนเปื้อนของโลหะหนักได้ทันการณ์ ผลกระทบที่เกิดขึ้น

ต่อสุขภาพจะมีความรุนแรงและยากต่อการแก้ไข เช่นเดียวกันกับสถานการณ์อื่น ๆ ที่พบในประเทศไทย เช่น การปนเปื้อนของสารแคดเมียมในห้วยแม่ต้าว จังหวัดตาก การปนเปื้อนสารตะกั่วในห้วยคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี และการปนเปื้อนของสารหนูในอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (BBC, 2017)

มลพิษจากโลหะหนักยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศไทยและระดับโลก ซึ่งการตรวจสอบติดตามจะทำให้เราสามารถรู้ทันเหตุการณ์และหาวิธีรับมือแก้ไขได้ทันท่วงที โดยปกติวิธีการตรวจสอบติดตามแบบกายภาพและเคมีภาพนั้น บ่งชี้ถึงข้อมูลเชิงปริมาณและระดับมลพิษตามแหล่งน้ำได้ แต่พารามิเตอร์เหล่านี้ไม่สามารถบ่งบอกมลพิษโลหะหนักที่สะสมในสิ่งมีชีวิต หรือผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตามมาในสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ อีกทั้งยังไม่สามารถบอกเหตุการณ์ความรุนแรงก่อนหน้านี้ได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ชุดเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ ยังคงมีราคาค่อนข้างสูงและใช้เวลาในการตรวจสอบจึงไม่สะดวกที่จะใช้ติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้แนวทางเลือกใหม่ในการบ่งชี้ ตรวจสอบ ติดตาม มลพิษโลหะหนักในแหล่งน้ำที่น่าจับตามอง คือ การตรวจวัดคุณภาพน้ำทางชีวภาพ (bioindicators) โดยเฉพาะการใช้สาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งเป็นผู้ผลิตที่มีความสำคัญในระบบนิเวศน์และมีรายงานว่าเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มแรกๆ ที่ได้รับผลกระทบจากโลหะหนักหากพบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

บทความฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอเกี่ยวกับสถานการณ์การปนเปื้อนของโลหะหนักในประเทศไทย รวมถึงแนวทางในการใช้สาหร่ายขนาดเล็กเป็นดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อน เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ผู้สนใจในการศึกษาด้านนี้ต่อไป

โลหะหนัก

โลหะหนัก (heavy metals) คือ กลุ่มธาตุที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โลหะหนักเป็นส่วนประกอบของแผ่นเปลือกโลก หิน และดิน ที่สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ พบได้ทุกสถานะของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในทางระบบนิเวศ โลหะชนิดใดที่ก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่มีความเสถียร ไม่สามารถที่จะย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (non–biodegradation) มีการสะสมในห่วงโซ่อาหาร (bioconcentration) หรือสะสมภายในระบบนิเวศสิ่งแวดล้อม (bioaccumulation) เช่น สะสมในอากาศ ดิน แหล่งน้ำ ถือว่าเป็นโลหะหนักทั้งสิ้น (Guevara–Garcia *et al*., 2017)

ประโยชน์และโทษของโลหะหนัก

โลหะหนักเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างมากในการสร้างสิ่งต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกและตอบสนองความต้องการของมนุษย์เรา ไม่ว่าจะเป็น ถนน สนามบิน ยานพาหนะ เครื่องใช้ อุปกรณ์อิเล็กโทรนิกส์ และผลิตภัณฑ์อาหาร สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีองค์ประกอบเป็นโลหะหนักด้วยกันทั้งสิ้น ยิ่งไปกว่านั้น ปริมาณโลหะหนักเพียงเล็กน้อยที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร ผัก ผลไม้ และอาหารเสริม (เช่น Fe Mg และ Zn) ยังเป็นส่วนเสริมสร้างร่างกายให้มีสุขภาพที่ดียิ่งขึ้นอีกด้วย (ตาราง 1) หากกล่าวถึงโทษของโลหะหนัก โลหะหนักแต่ละชนิดก่อให้เกิดพิษที่มีความรุนแรงในรูปแบบแตกต่างกัน (ตาราง 1) หากได้รับในปริมาณสูงจะยิ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้กลไกความเป็นพิษของโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับรูปแบบเคมีของสารประกอบโลหะหนักแต่ละชนิด และเส้นทางที่สิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ได้รับเข้าไป

เช่น ทางระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ผิวหนังและการสัมผัส (Neeratanaphan, 2011) ความเป็นพิษของโลหะหนักจะมีผลต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต โดยสรุปได้ 5 แบบดังนี้ 1) ทำให้เซลล์ตาย 2) เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ 3) เป็นตัวชักนำให้เกิดมะเร็ง 4) ทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม และ 5) ทำให้เกิดความเสียหายในระดับโครโมโซม ทั้งนี้ระดับความอันตรายของการได้รับสารพิษเข้าสู่ร่างกายมนุษย์นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็น อายุ เพศ และน้ำหนัก เป็นต้น

ตาราง 1 การใช้ประโยชน์และการก่อให้เกิดโทษของโลหะหนักบางชนิด

โลหะหนัก	การใช้ประโยชน์	ความเป็นพิษ
As	- ใช้เป็นส่วนประกอบยากำจัดวัชพืชและยาฆ่าแมลง - ใช้ในอุตสาหกรรมทำสี ดอกไม้เพลิง แก้ว ผ้า แบตเตอรี่ ทำ semiconductor และ ใช้ผสมในทองแดงและตะกั่ว - ใช้ทำยารักษาโรคที่เกิดจาก protozoa และพยาธิ - ใช้ในการสงคราม ทำกระสุนปืน	- ระบบประสาท อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย ชา - เบื่ออาหาร คลื่นไส้ ปวดท้อง - ผิวหนังจะมีสีคล้ำ - ไตอักเสบ หัวใจวาย - หากสูดดมไอ ทำให้หลอดลมไหม้เกรียม - เจ็บคอ หายใจขัดและปวดบวม - ได้รับ 70–180 mg นำไปสู่การเสียชีวิต (Gilbert, 2016)
Pb	- ใช้ในอุตสาหกรรมเชื่อมโลหะ - ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และเป็นส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิง	- พิษเฉียบพลัน ร่างกายอ่อนเพลีย - วิงเวียนศีรษะ อาเจียน - ไตวาย และอื่น ๆ - ในผู้ใหญ่หากพบ Pb ในเลือดมากกว่า 10 µg/dL อาจถึงขั้นอันตรายจนเสียชีวิต (Ab *et al*., 2015)
Hg	-เป็นส่วนประกอบในการทำเทอร์โมมิเตอร์ -ใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้า -ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ -ใช้สังเคราะห์สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช	- โรคมินามาตะ: เกิดอาหารปวดท้อง ท้องเสียรุนแรง ระบบประสาทเกิดความผิดปกติ สายตามัว มองไม่เห็น ความจำเสื่อม เป็นต้น - ได้รับทางการหายใจมากกว่าหรือเท่ากับ 20 µg/m^3 ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง (GreenFacts, 2020)
Cd	- ใช้เป็นสารหล่อลื่น - ใช้ในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ - ใช้เป็นส่วนประกอบของสี - ใช้กระบวนการผลิตพลาสติก - ใช้ในการชุบเคลือบโลหะเนื่องจากมีคุณสมบัติในการต้านทาน การกัดกร่อน - ใช้เป็นประกอบในโลหะผสมที่ไม่ใช้เหล็กและอื่น ๆ	- แย่งจับ Zn ที่เป็นส่วนประกอบในเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์หลายชนิดไม่ทำงาน - ขัดขวางการสร้างเม็ดเลือดแดง - โรคอิไต–อิไต - ปอดบวมน้ำ เลือดออกในปอด - ระคายเคืองทางเดินอาหาร ถูกดูดซึม Cd จะรวมตัวกับ metallothionein เกิดการกรองผ่านไต ก่อให้เกิดไตผิดปกติ - มะเร็งปอด มะเร็งไต มะเร็งต่อมลูกหมาก - ได้รับ 20–30 mg/kg นำไปสู่การเสียชีวิต (ATSDR, 1989)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bawonsachod, 1995; Jutarut_DPM, 2012

การปนเปื้อนโลหะหนัก

การปนเปื้อนของโลหะหนักเกิดจากการกระทำของมนุษย์และการกระทำของธรรมชาติ ซึ่งก่อให้เกิดการปนเปื้อนและรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายรูปแบบ พอสังเขปดังนี้

1) การปนเปื้อนบกบน (terrestrial ecosystems) จะพบการปนเปื้อนหลัก ๆ ในดิน เนื่องจากโลหะหนักบางชนิดเป็นส่วนประกอบของดินและหิน แต่การปนเปื้อนในดินนั้นจะไม่ร้ายแรงเท่ากับการปนเปื้อนในน้ำหรืออากาศ ทั้งนี้เนื่องจากพันธะของโลหะหนักจะยึดกันกับสารอินทรีย์ในบริเวณหน้าดินอย่างแน่นหนา (Theerasawas, 2001) ส่วนโลหะหนักที่ปนเปื้อนในอากาศ อาจมาจากฝุ่นของภูเขาไฟระเบิด ฝุ่นจากการกัดกร่อนและเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีของหิน ดิน หรือจากการชะล้างโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของบรรยากาศมาพร้อมกับฝนหรือหิมะ แต่ปัจจุบันพบว่า โลหะหนักที่ปนเปื้อนในอากาศส่วนมากล้วนเกิดจากการกระทำของมนุษย์ทั้งสิ้น เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การปล่อยควันจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

2) การปนเปื้อนในแหล่งน้ำ (aquatic systems) จะพบการปนเปื้อนของการตกตะกอนโลหะหนักสะสมในตะกอนดิน หรือโลหะหนักที่ละลายในน้ำปนเปื้อนมากับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการทำเหมืองแร่ในไทย หรือน้ำป่าไหลหลากจากการตัดไม้ทำลายป่าชะล้างหน้าดินลงสู่แม่น้ำ ลำธาร ทั้งนี้กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department, 2019) ได้กำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทต่าง ๆ ไว้ ไม่ว่าจะเป็น มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค ตัวอย่างเช่น มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดเกณฑ์ค่าสูงสุดไม่เกินค่ามาตรฐาน ดังนี้ Cu (1.5 mg/L) Zn (15 mg/L) As (0.05 mg/L) Hg (0.002 mg/L) Pb (0.1 mg/L) และ Cd (0.1 mg/L)

3) การปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิต ซึ่งสามารถได้รับโลหะหนักทั้งทางตรงและทางอ้อม ตัวอย่างเช่น เริ่มต้นจากพืชดูดซับน้ำและแร่ธาตุในบริเวณที่มีการปนเปื้อน จากนั้นเกิดการสะสมของสารพิษสู่ห่วงโซ่อาหาร (bioaccumulation) หรือการอุปโภคบริโภค และสัมผัส จากแหล่งปนเปื้อนโดยตรง ตัวอย่างแหล่งที่มาของการปนเปื้อนโลหะหนักและความร้ายแรงของการปนเปื้อนดังในตาราง 2

ตาราง 2 แหล่งที่มาของการปนเปื้อนโลหะหนัก

No.	แหล่งที่มา	โลหะหนัก	ความเป็นพิษ
1	น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ	Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, Cd, Mn	สูง
2	ควันจากโรงงานอุตสาหกรรม การลักลอบปล่อยการเผาไหม้เชื้อเพลิง	As, Cd, Pb	พื้นที่กว้างจะลดความรุนแรง
3	ปุ๋ย	Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn	ปานกลาง
4	ยาฆ่าแมลง	Cu, Hg, Mn, Pb, Zn	ต่ำ
5	สิ่งปฏิกูล	As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, etc.	ต่ำถึงปานกลาง

ที่มา: Jaya *et al*., 2018

การปนเปื้อนโลหะหนักตามแหล่งน้ำของประเทศไทย

ในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมีการพัฒนาโครงสร้างและการจัดตั้งเขตอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อการส่งออก การกระจายตัวของโรงงานได้ขยายขอบเขตพื้นที่ออกไปมาก แม้ว่าจะมีเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียมารองรับให้กับโรงงานอุตสาหกรรม แต่การป้องกันการรั่วไหลของโลหะหนักนั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ยิ่งไปกว่านั้นตัวอย่างสถานการณ์ที่คาดไม่ถึงได้เกิดขึ้นในประเทศไทยล่าสุดเมื่อกลางปี พ.ศ. 2560 ได้เกิดเหตุรถบรรทุกแร่ทองแดงพลิกคว่ำ ทำให้แร่ปนเปื้อนอย่างรวดเร็ว ในลำห้วยสามพาด จังหวัดอุดรธานี พบ Cu Pb As Zn และ Cd เกินเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน (Thai PBS news, 2017) ในปี พ.ศ. 2559 พบปลากระเบนอายุ 40–50 ปี ตายเป็นจำนวน 43 ตัว ในลำน้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม เนื่องจากสารพิษและโลหะหนักเป็นสาเหตุการตาย และในปีเดียวกันชาวบ้าน อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ที่อาศัยใกล้กับโรงงานรีไซเคิลขยะเกิดอาการผิดปกติและระคายเคืองซึ่งเนื่องมาจากสารพิษจากโลหะหนัก ในปี 2558 ที่ผ่านมาชาวบ้านในพื้นที่ทำเหมืองแร่ทองคำ 7 จังหวัดได้ออกมายื่นเรื่องกับกรมสอบสวนคดีพิเศษ หลังจากพบผลตรวจเลือดมีโลหะหนักปนเปื้อน 400 คน ซึ่งปัญหายังคงยาวนานรอการแก้ไขมาจนถึงปัจจุบัน (Thai PBS news, 2015, 2016) จากการค้นคว้าวิจัยการปนเปื้อนโลหะหนักตามแหล่งน้ำในไทยที่มีมายาวนาน (ตาราง 3) พบค่าการปนเปื้อนเกินมาตรฐานหลายแห่ง โดยเฉพาะโลหะหนักชนิดสารหนู (As) และ แคดเมียม (Cd) แต่การตรวจสอบทำได้ยาก จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือและงบประมาณในการวัดปริมาณโลหะหนักใช้เวลายาวนานในการตรวจสอบ นอกจากนี้แนวโน้มผู้ป่วยด้วยโรคพิษจากโลหะหนักในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา บ่งชี้ว่าปัญหาสารโลหะหนักปนเปื้อนในแหล่งน้ำยังคงเป็นปัญหาที่ประเทศกำลังพัฒนาอย่างเราต้องเผชิญกันต่อไป (Chantian, 2015)

แนวทางการติดตามตรวจสอบโลหะหนักในแหล่งน้ำ

ผลการศึกษาหลายชิ้นขององค์กร Greenpeace สรุปว่า ระบบนิเวศแหล่งน้ำในประเทศไทยยังมีจุดบกพร่องและความล้มเหลวของภาครัฐ ในการปกป้องแหล่งน้ำให้ปลอดสารมลพิษอุตสาหกรรม เนื่องจากขาดการให้ความสำคัญกับประเด็นสารพิษอันตราย กฎหมายควบคุมมลพิษไม่ครอบคลุม ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ขาดแผนและมาตรการเชิงรุกในการควบคุมการใช้และปล่อยสารพิษสู่สิ่งแวดล้อม และยิ่งไปกว่านั้นขาดการติดตามตรวจสอบปริมาณการใช้และปล่อยสารพิษสู่สิ่งแวดล้อม (Brigden *et al*., 2010)

การติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำจะทำให้เราสามารถรับรู้ข้อมูลคุณภาพน้ำ ลักษณะปัญหา ผลกระทบที่เกิดขึ้น และระดับความรุนแรงของมลพิษในแหล่งน้ำได้ทันการณ์ สามารถนำข้อมูลการตรวจติดตามมาใช้ในการวางแผนจัดการเกี่ยวกับแหล่งน้ำให้มีคุณภาพเหมาะสม และป้องกันไม่ให้มีปริมาณโลหะหนักเกินเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งเป็นการรักษาแหล่งน้ำให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ตลอดไป ซึ่งการวิเคราะห์โลหะหนักทางเคมี มีหลายวิธีการดังนี้ 1) เทคนิค Atomic absorption spectrophotometer (AAS) 2) เทคนิค Atomic emission spectroscopy 3) เทคนิค Inductively coupled plasma mass spectrometry (IPC–MS) 4) เทคนิค X–ray fluorescence

ตาราง 3 สรุปรายงานการศึกษาและวิจัยการปนเปื้อนของโลหะหนักในระบบนิเวศน้ำประเทศไทยพอสังเขป

ปี พ.ศ.	โลหะหนัก	บริเวณที่ปนเปื้อน	การตรวจสอบ/ผลกระทบ	วิธีแก้ปัญหา/วิธีการตรวจสอบ	อ้างอิง
2541	Zn>Pb>Cd	แม่น้ำ และคลองรอบเกาะเมืองพระนครศรีอยุธยา	มีการสะสมของโลหะหนักในอวัยวะต่าง ๆ ของปลาแขยงและปลาตะเพียนขาว ช่วงที่มีการปนเปื้อนสูง คือ ฤดูฝนและฤดูหนาว	หลีกเลี่ยงการกินปลาในแม่น้ำดังกล่าว	Tangam, 2000
2550	Cu>Zn>Pb>Cd	ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน (จังหวัดเพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สมุทรปราการ ชลบุรี ระยองจันทบุรี จนถึง ตราด)	พบตะกั่วสูงสุดถึง 44.66 mg/kg และแคดเมียมสูงสุด 3.24 mg/kg เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำชายฝั่งทะเล ซึ่ง เป็นจุดชุมชน แหล่งอุตสาหกรรม รวมถึงพบบริเวณแหล่งท่องเที่ยว จำเป็น ต้องได้รับการตรวจสอบและป้องกันเพิ่ม	วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยเครื่อง ICP–AES (inductively coupled plasma atomic emission spectrometers) ควรติดตามเฝ้าระวัง การสะสมโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร	Rermdumri *et al*., 2009
2553	Cr, Cu, Mn, Ni, Zn	คลองสำโรง บริเวณใกล้เคียงแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	Cr = 493 mg/L, Cu = 295 mg/L, Ni = 265 mg/L, Zn = 2940 mg/L - การปนเปื้อนระดับสูงของตะกอนก้นน้ำที่เกินค่า (ประเทศเนเธอร์แลนด์) - เกินค่าที่กำหนดโดย The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) สหรัฐอเมริกา ซึ่งค่าที่กำหนดนี้ เป็นค่าที่สามารถทำให้เกิดผลกระทบทางชีวภาพต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ	- ตรวจสอบและติดตามอย่างละเอียดและครอบคลุม สถานการณ์การปนเปื้อนสารเคมีอันตรายในบริเวณแหล่งอุตสาหกรรมในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา รวมถึงบริเวณอื่น ๆ ของประเทศ - สนับสนุนโรงงานในด้านต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่การลดการใช้ และปลดปล่อยสารเคมีอันตราย	Brigden *et al*., 2010
2554	Cd, Cu, Pb, Ni	ปากแม่น้ำท่าตะเภา จังหวัดชุมพร	Cd = 0.260 – 1.360 mg/L, Cu = 0.110 – 0.245 mg/L, Pb = 0.135 – 0.880 mg/L, Ni = 0.130 – 2.440 mg/L เกินมาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	วิเคราะห์โลหะหนักโดยเครื่อง AAS*	Duangsawat, 2010
2556	Pb, Cd, As, Hg, Ni	แม่น้ำท่าจีนและคลองสาขา (นครชัยถึงปากแม่น้ำท่าจีน)	พบสารหนูมีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน	เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก ICP*	Jintanan, 2013
2557	Mn, As, Hg, Fe, Pb	น้ำบาดาลในบริเวณเขตอุตสาหกรรมสุรนารี	มีโลหะหนัก 5 ชนิดที่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ แมงกานีส สารหนู ตะกั่ว เหล็ก และ ปรอท เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจุดก่อนและหลังผ่าน	เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก ICP*	Omking, 2014

ตาราง 3 สรุปรายงานการศึกษาและวิจัยการปนเปื้อนของโลหะหนักในระบบนิเวศน้ำประเทศไทยพอสังเขป (ต่อ)

ปี พ.ศ.	โลหะหนัก	บริเวณที่ปนเปื้อน	การตรวจสอบ/ผลกระทบ	วิธีแก้ปัญหา/วิธีการตรวจสอบ	อ้างอิง
2560	Zn>Pb> Cd>Cu	ลำน้ำมูล	ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดที่ตรวจพบ ในน้ำนี้มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน	เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก AAS*	Tanee *et al.*, 2017

หมายเหตุ *ICP = Inductively Coupled Plasma, AAS* = Atomic absorption spectroscopy

(XRF) 5) เทคนิค Anodic stripping voltammetry (ASV) 6) เทคนิค Gas chromatograph/Mass spectrometer (GC/GC–MS) 7) ชุดทดสอบโลหะหนักต่าง ๆ (test kits) เช่น ชุดทดสอบโลหะหนักบนกระดาษชนิดพกพา การตรวจสอบและวิเคราะห์โดยเทคนิคทางเคมีนี้ทำให้ทราบข้อมูลการปนเปื้อนของโลหะหนักเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้ แต่ไม่สามารถทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่สูง ใช้เวลาในการตรวจสอบ ดังนั้นจึงมีอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจคือ การตรวจสอบติดตามโลหะหนักโดยใช้สิ่งมีชีวิต (bioindicators) ทำให้เราสามารถประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย และไม่มีสารเคมีตกค้างในธรรมชาติ ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (eco–friendly) ด้วย

ดัชนีชีวภาพ (Bioindicators)

ดัชนีชีวภาพ หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ เคมี หรือสามารถบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมในบริเวณนั้นได้ ซึ่งมีข้อดีเมื่อเทียบกับการตรวจสอบโลหะหนักด้วยวิธีทางเคมี คือ ดัชนีชีวภาพนั้นสามารถรับมลพิษเข้าสู่ร่างกายได้ตลอดเวลา และจะเพิ่มระดับความเป็นพิษขึ้นมากตามระยะเวลาที่ผ่านไป ในขณะที่การวิเคราะห์ทางเคมีต้องใช้การเก็บตัวอย่างที่ถูกเวลาและถูกสถานที่เท่านั้น จึงจะสามารถวิเคราะห์ได้ อีกทั้งดัชนีชีวภาพจะแสดงพฤติกรรมหรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดจากโลหะหนักให้เห็นได้ง่าย ซึ่งการประเมินการสะสมโลหะหนักในห่วงโซ่อาหารนั้นสามารถทำได้ในสิ่งมีชีวิตเท่านั้น นอกจากนี้ปริมาณโลหะหนักที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตจะสามารถตรวจสอบได้อยู่แม้ว่าโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมจะสูญหายไปแล้วก็ตาม ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่เป็นดัชนีชีวภาพในแหล่งน้ำ ได้แก่ แพลงก์ตอน หอย ปลา พืชน้ำ นกน้ำ และสาหร่าย แต่สิ่งมีชีวิตที่โดดเด่นและน่าสนใจ คือ ดัชนีชีวภาพจากสาหร่าย เนื่องจากสามารถบอกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นประจำ ง่ายต่อการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ และมีค่าใช้จ่ายต่ำ ต่อมาได้พบว่าสาหร่ายสีเขียว *Enteromorpha intestinalis* สามารถเป็นดัชนีชี้วัด Mn Zn และ As ได้ยอดเยี่ยม (Ali *et al.*, 2011) จากการค้นคว้าพบว่า มีรายงานการทดลองมากมายเกี่ยวกับการทดสอบความเป็นพิษของโลหะหนัก โดยสาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิดถูกใช้เป็นสิ่งมีชีวิตมาตรฐานที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษของสารเคมี เช่น *Scenedesmus subspicatus* (OECD, 1984) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลกระทบและความว่องไวต่อการตอบสนองต่อโลหะหนัก As และ Cd ของสาหร่ายขนาดเล็กหลายสายพันธุ์ ดังสรุปพอสังเขปในตาราง 4 จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสาหร่ายกลุ่ม *Scenedesmus* spp. มีความว่องไวต่อการตอบสนองโลหะ

หนักทั้ง Cd และ As ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำผิวดินและน้ำทิ้ง (Cristina *et al*., 2010)

ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจที่พัฒนาและต่อยอดงานวิจัย โดยใช้สาหร่ายกลุ่ม *Scenedesmus* spp. ที่พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำของประเทศไทยสายพันธุ์ที่มีความเหมาะสม มีการตอบสนองต่อโลหะหนักใกล้เคียงกับสาหร่ายสายพันธุ์มาตรฐานจากต่างประเทศที่ใช้ในการทดสอบสารพิษ (standard toxicity test) มาทดลองบนแผ่นชิป เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบความเป็นพิษมาตรฐาน ผลที่ได้จะสามารถติดตามความเป็นพิษของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมได้รวดเร็ว ว่องไว และง่ายมากยิ่งขึ้น ซึ่งการใช้สาหร่ายขนาดเล็กไม่เพียงแต่ใช้งบประมาณต่ำแล้ว ยังสามารถที่จะตรวจสอบได้ง่ายเพียงใช้กล้องจุลทรรศน์ซึ่งมีอย่างแพร่หลายในโรงเรียนในท้องถิ่นต่าง ๆ อันจะทำให้ประชาชนและนักเรียนสามารถตรวจสอบความเป็นพิษ โดยเฉพาะโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นได้ด้วยตนเอง

ตาราง 4 การศึกษาลักษณะความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียมและสารหนูต่อสาหร่าย

ปี พ.ศ.	โลหะหนัก	ชื่อวิทยาศาสตร์	การศึกษาลักษณะ	อ้างอิง
2015	Cd	*Scenedesmus*–24	การกักเก็บทางชีวภาพ (biological sequestration) การดูดซับ	Jayashree *et al*., 2015
2016	Cd	*Chollera vulgaris*	การยับยั้งการเจริญเติบโต อนุมูลอิสระ ปริมาณรงควัตถุ/โปรตีน/เอนไซม์	Jinfeng *et al*., 2016
2017	Cd	*Chlamydomonas reinhardtii*	การสะสมของโลหะหนัก ความเป็นพิษของโลหะหนัก	Samadani *et al*., 2017
2016	As	*Chlorella vulgaris* *Nannochloropsis* sp.	ความเป็นพิษ การเจริญเติบโต ผลของการใช้สาหร่าย การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การดูดซับโลหะหนัก	Upadyay *et al*., 2016
2018	As	*Chlamydomonas reinhardtii* *Chlorella vulgaris* *Scenedesmus almeriensis*	เปรียบเทียบการนำเข้าโลหะหนักสู่เซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก	Ricardo, 2018

สรุป

บทความวิชาการนี้มุ่งเน้นนำเสนอเนื้อหาความรู้เกี่ยวกับโลหะหนัก การตระหนักรู้ถึงปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำของประเทศไทย ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม วิธีตรวจสอบและติดตามโลหะหนักในแหล่งน้ำที่น่าสนใจต่าง ๆ เช่น ดัชนีชีวภาพจากสาหร่าย การพัฒนาการใช้สาหร่ายเป็นดัชนีชีวภาพร่วมกับเทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิป ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการตรวจมลพิษโลหะหนักในน้ำ ที่ทำให้ประชาชนทั่วไปสามารถติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้เอง ถึงแม้ผลกระทบจากปัญหาของโลหะหนักจะมีความรุนแรง แต่หากอาศัยการพัฒนาเทคโนโลยีที่ช่วยส่งเสริมความร่วมมือของภาคประชาชนให้ช่วยสอดส่องดูแล ควบคู่ไปกับการบังคับใช้กฎหมายที่เข้มงวดภาครัฐบาลที่แข็งเข้มจริงจัง จะสามารถรับมือและวางแผนแก้ไขปัญหามลพิษจากโลหะหนักได้ทันเหตุการณ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศ และห้องปฏิบัติการวิจัยสาหร่ายประยุกต์ (Applied Algal Research Laboratory) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

Ab, L. W., Anjum, A., and Jawed. A. U. (2015). Lead toxicity: A review. **Interdisciplinary Toxicology** 8(2): 55–64.

Ali, A. A., Abdullah, A. A., and Areej, H. A. (2011). Green algae as bioindicators of heavy metal pollution in Wadi Hanifah stream, Riyadh, Saudi Arabia. **International Journal of Water Resources and Arid Environments** 1(1): 10–15.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (1989). **Toxicological Profile for Cadmium**. ATSDR/U.S. Public Health Service, ATSDR/TP-88/08.

Bawonsachod, P. (1995). **The Contamination of Arsenic in Groundwater in Nine Provinces of Thailand. Water Research and Development**. Department of mineral resources. Ministry of Industry. (in Thai)

BBC. (2017). **Clity Kanchanaburi**. Retrieved from https://www.bbc.com/thai/thailand-41225292, October 16, 2019.

Brigden, K., Labunska, I., and Santillo, D. (2010). **Investigation of Hazardous Chemical Discharges from Two Textile Manufacturing Facilities, and Chemical Contamination of Nearby Canals Connecting to the Lower Chao Phraya River, Thailand**. Retrieved from http://www.greenpeace.to/greenpeace/wp-content/uploads/2011/05/ChaoPhraya_canals_textilefacilities.pdf, October 16, 2019.

Chantian, T. (2015). **Heavy Metal Poisoning.** Summaries of Selected Notifiable Diseases Annual 2015. Retrieved from http://www.boe.moph.go.th/Annual/AESR2015/aesr2558/Part%201/09/heavymetal.pdf, October 16, 2019.

Cristina, M. B. M., Susana, C., Fonseca, P. M. L., and Castro, F. X. M. (2010). Toxicity of cadmium and zinc on two microalgae, *Scenedesmus obliquus* and *Desmodesmus pleiomorphus*, from Northern Portugal. **Journal of Applied Phycology** 23: 97–103.

Duangsawat, T. (2010). **Heavy Metals Contamination in Water and Sediments from Thataphao River Mounth, Chumphon Province**. Master of Education in Chemistry Thesis, Songkhla: Thaksin University.

Gilbert, S. (2016). **Arsenic**. Retrieved from https://www.healthandenvironment.org/environmental-health/environmentalrisks/chemical-environment-overview/arsenic, May, 31, 2020.

Greenfacts Scientific Board. 2020. **Mercury**. Retrieved from https://www.greenfacts.org/en/ mercury/l-2/mercury-2.htm, May, 31,

2020.

Guevara–Garcia, A. A., Lara, F. P., Juarez, L. K., and Herrera-Estrella, L. R. (2017). Heavy metal adaptation. **eLS** 1–9.

Internet. (2019). **Minamata Disease**. Retrieved from https://www.marumura.com/minamata-disease, October 16, 2019.

Jaya, M. J., Chinnannan, K., Rijuta, G. S., Smita, S. K., Desika, P., Kadirvelu, K., and Arivalagan P. (2018). Biological approaches to tackle heavy metal pollution: A survey of literature. **Journal of Environmental Management** 217: 56–70.

Jayashree, J., Nilotpala, P., Aishvarya, V., Rati, R. N., Bisnu, P. D., Lala, B. S., Prasanna, K. P., and Barada, K. M. (2014). Biological sequestration and retention of cadmium as CdS nanoparticles by the microalga *Scenedesmus*–24. **Journal of Applied Phycology** 27: 2251–2260.

Jinfeng, C., Hongchen, Q., Zhaoyang, C., Zaimin, J., and Wenke, Y. (2016). The effect of cadmium on the growth and antioxidant response for freshwater algae *Chlorella vulgaris*. **Springerplus** 5: 1290.

Jintanan, W., Wit, T., Kasem, J., and Naruechid, D. (2013). The quantity of heavy metals in the Tha–chin River and its inflow canals from Nakhon Chai Si to Estuary. **Naresuan University Journal: Science and Technology** 21(2): 1–13.

Jutarut_DPM (2012). **Toxic from Heavy Metal Named Cadmium**. Retrieved from http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item/129, February 6, 2019.

Neeratanaphan, L. (2011). Effect of heavy metals on mollusk. **KKU Science Journal** 39(3): 375–386.

Omking, J. (2014). **Pollutant Contamination in Groundwater near Industrial Zone and Landfill Site in Muang District Naknonratchasima**. Master of Engineering Thesis (Environmental Engineering). Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology. (in Thai)

OECD. (1984). **Algal Growth Inhibition Test. OECD Guideline for Testing of Chemicals 201**. Paris: Organization of Economic Cooperation and Development.

Pollution Control Department. (2019). **Water Quality Standard**. Retrieved from http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html, February 7, 2019. (in Thai)

Rermdumri, S., Kareas, S., and Wongsontam, K. (2009). Heavy metals contamination in seawater and sediment in the upper gulf of Thailand, **Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference: Natural Resources and Environment 2009** (pp. 221–228). Bangkok, Thailand.

Ricardo, S., Raul, M., Maria, E. T., Mariso, V., and Silvia, B. (2018). Comparative uptake study of arsenic, boron, copper, manga-

nese and zinc from water by different green microalgae. **Bioresource Technology** 263: 49–57.

Samadani, M., Perreault, F., Oukarroum, A., and Dewez, D. (2017). Effect of cadmium accumulation on green algae *Chlamydomonas reinhardtii* and acid–tolerant *Chlamydomonas* CPCC 121. **Journal Chemosphere** 191: 174–182.

Tangam, A. (2000). **Study of Some Heavy Metals in Water, Sediment and Various Tissues of Some Fish in the River and Canals around the Island of Phra Nakhon Si Ayutthaya**. Retrieved from http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=ah205, October 16, 2019. (in Thai)

Theerasawas, C. (2001). **The Study of Chemical Quality and Quantity of Some Heavy Metals in Water of Nan River in Uttaradit province**. Uttaradit: Uttaradit Rajabhat University. (in Thai)

Tanee, T., Punsombut, P., Chaveerach, A., Runglawan, S., and Saowakoon, S. (2017). Bioconcentration of heavy metals in water, soil, sediment, and fish in Huay Geng reservoir, Don Jan district, Kalasin. **Journal of Fisheries Technology Research** 11(1): 400–405.

Thai PBS News. (2017). **Declaration "Do not touch soil and Do not eat fish" at Hui Sum Pad**. Retrieved from https://news.thaipbs.or.th/content/265549, October 16, 2019.

Thai PBS News. (2016). **Detection of Heavy Metals in Mae Kong River**. Retrieved from https://news.thaipbs.or.th/content/256526, October 16, 2019.

Thai PBS News (2015). **Heavy Metals in Blood and Abnormal DNA of Muang Thong District**. Retrieved from http://news.thaipbs.or.th/content/1572, October 16, 2019.

Upadyay, A. K., Singh, N. K., Singh, R., and Rai, U. N. (2016). Amelioration of arsenic toxicity in rice: Comparative effect of inoculation of *Chlorella vulgaris* and *Nannochloropsis* sp. on growth, biochemical changes and arsenic uptake. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 124: 68–73.