

การเปรียบเทียบความทนทานและประสิทธิภาพของสาหร่ายหางกระรอกและ สาหร่ายพวงกะโศกในการบำบัดน้ำที่มีแคดเมียมปนเปื้อน

Comparison of the Tolerance and Efficiency of *Hydrilla verticillata* (L.f.) and *Ceratophyllum demersum* (L.) in water treatment contaminated with cadmium

จิราพัชร พลอยนิลเพชร¹ รัชชนก ทองบุญ¹ อรณิชา เพอเกลี้ยง¹

และนุชจรินทร์ เพชรเกลี้ยง^{1*}

Jirapatch Ployninpetch¹ Ratchanok Thongboon¹ Ornnicha Perkliang¹

and Nutjarin Petkliang^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความทนทานและประสิทธิภาพของสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงกะโศกในการดูดซับโลหะหนักแคดเมียมในน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียม โดยเลี้ยงสาหร่ายในสารละลายแคดเมียมที่ความเข้มข้น 0 (กลุ่มควบคุม), 2, 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 7 วัน และวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมที่อยู่ในสาหร่ายและในน้ำ ผลศึกษาพบว่าสาหร่ายหางกระรอกมีความทนทานต่อสารละลายแคดเมียมได้ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม ได้ดีที่สุดในที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าการสะสมทางชีวภาพอยู่ระหว่าง 108.33 - 200.10 ส่วนสาหร่ายพวงกะโศกมีความทนทานต่อสารละลายแคดเมียมได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมในน้ำได้ดีที่สุดในที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าการสะสมทางชีวภาพอยู่ระหว่าง 185.10-264.91 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของสาหร่ายทั้งสองชนิดพบว่าสาหร่ายหางกระรอกมีความทนทานและมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมมากกว่าสาหร่ายพวงกะโศกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

คำสำคัญ: การบำบัดโดยพืช โลหะหนัก แคดเมียม สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพวงกะโศก

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

* Corresponding author e-mail: nutjarin.pe@skru.ac.th

Abstract

The aim of this study was to examine the tolerance and efficacy of *Hydrilla verticillata* (L.f.) and *Ceratophyllum demersum* (L.) in the adsorption of cadmium in water treatment contaminated with cadmium. Two aquatic plants were treated in 0 (control), 2, 4, and 10 mg/L of cadmium for 7 days. The results revealed that *Hydrilla verticillata* (L.f.) were the most tolerant to cadmium at a concentration of 2 mg/L. It is most effective at removing cadmium at a concentration of 4 mg/L, with a BCF ranging from 108.33 to 200.10. *Ceratophyllum demersum* (L.) showed the highest cadmium removal at concentration 10 mg/L with 185.10-264.91 of BCF value. Comparing the two species of aquatic plants, it was observed that *Hydrilla verticillata* (L.f.) was demonstrated to be significantly more tolerant and effective at removing cadmium than *Ceratophyllum demersum* (L.).

Keywords: Phytoremediation, Heavy Metal, Cadmium, *Hydrilla verticillata*, *Ceratophyllum demersum*

บทนำ

ประเทศไทยในปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าไปสู่การขยายตัวด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว แต่ในขณะเดียวกันยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นมีการลักลอบปล่อยของเสียออกมาทั้งในรูปแบบของก๊าซพิษและสารเคมีจำพวกโลหะหนัก ลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัดและกำจัดสารที่ถูกต้องทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของประชาชนที่ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำในการอุปโภคและบริโภค (ณัฐธิดา และคณะ, 2560)

แคดเมียม (Cd) เป็นโลหะหนักที่นำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ แบตเตอรี่ อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอาหารกระป๋อง โรงงานน้ำตาล โรงงานน้ำตาล และเหมืองแร่ หรือนำมาใช้สำหรับเป็นโครงสร้างหรือโลหะผสมกับโลหะอื่นเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ซึ่งส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนตามแหล่งต่าง ๆ โดยเฉพาะในน้ำเสีย (นพปฎล และคณะ, 2562; Peana *et al.*, 2023) เมื่อเข้าสู่ร่างกายสามารถเข้าแทนที่อะตอมของสังกะสีในเอนไซม์ได้ทำให้เกิดพิษต่อร่างกาย เช่น ทำให้เอนไซม์หลายชนิดไม่ทำงาน ขัดขวางการ

สร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง ปวดตามข้อตามกระดูก สายตาพร่ามัว ท้องร่วง อาเจียน ตับวาย และมีโอกาสเสียชีวิตตามมา (ธีรนาถ, 2563; Genchi *et al.*, 2020)

การบำบัดน้ำที่มีการปนเปื้อนด้วยพืช (Phytoremediation) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้พืชในการลดหรือกำจัดการปนเปื้อนสารมลพิษต่าง ๆ ซึ่งการใช้พืชน้ำเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความนิยมเนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ทนทาน และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งยังสามารถช่วยควบคุมปริมาณของพืช น้ำและช่วยหมุนเวียนออกซิเจนและธาตุอาหารภายในน้ำได้ดี สาหร่ายเป็นหนึ่งในพืชน้ำที่มีบทบาทสำคัญในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เนื่องจากสาหร่ายมีโครงสร้างของผนังเซลล์และไซโตพลาสซึมที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันต่างๆ เช่น หมู่คาร์บอกซิล ($-\text{COOH}$), หมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$), และหมู่เอมีโน ($-\text{NH}_2$) ซึ่งสามารถจับกับไอออนของโลหะหนักได้ นอกจากนี้สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตและทนทานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักสูง จึงเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อน (Ankit *et al.*, 2022; Abd Elnabi *et al.*, 2023) สาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla verticillata* (L.f.)) และสาหร่ายพวงกะโหลก (*Ceratophyllum demersum* (L.)) เป็นพืชน้ำที่พบมากในประเทศไทยและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักได้ดี (Zhang *et al.*, 2020; Abdulwahid, 2023) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาเปรียบเทียบความทนทานและประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมระหว่างสาหร่ายหางกระรอก และสาหร่ายพวงกะโหลก เพื่อหาพืชน้ำที่เหมาะสมและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียม Stock solution ของสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่ง $[\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ 1.372 กรัม ปรับปริมาตรน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อใช้ในการทดลองที่มีความเข้มข้นของแคดเมียม 0, 2, 4, 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายแคดเมียมจาก Stock solution 0, 2.4, 4.8 และ 12 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วนำไปปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,200 มิลลิลิตร

2. การศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับแคดเมียม

นำสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงกะโหลก ใส่ในกะละมังที่มีน้ำสะอาด พักทิ้งไว้ 7 คืน เพื่อปรับสภาพ จากนั้นนำสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงกะโหลกที่มีน้ำหนักสด 20 กรัม ไปเลี้ยงในน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 1,200 มิลลิลิตร ที่มีแคดเมียมความเข้มข้น 0, 2, 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแต่ละความเข้มข้นทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ เลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิดในห้องที่ควบคุม

อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส วางบนชั้นที่มีหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสงประมาณ 2,000 ลักซ์ ให้แสงตลอดเวลา สังเกตและจดบันทึกการลักษณะเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายทั้งสองชนิดทุกวัน พร้อมบันทึกภาพ เมื่อครบ 7 วัน เก็บตัวอย่างน้ำและนำสาหร่ายทั้งสองชนิดเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม ซึ่งน้ำหนักสดของสาหร่ายและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักแห้งและนำไปคำนวณค่าความทนทานโดยใช้สมการ(1)

3. การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม

เติมกรดไนตริก 65% ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปย่อยบนเตาให้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จนเหลือประมาณ 5-10 มิลลิลิตร หรือเห็นควันขาวขุ่นลอยขึ้นมา ตั้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง ลงในขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

ชั่งตัวอย่างพืชที่อบแห้ง 0.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปวางบนแผ่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนได้ตัวอย่างใส นำตัวอย่างที่ย่อยสมบูรณ์แล้วออกมาตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และกรองด้วยกระดาษกรองใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ตามวิธีของ AOAC 2015.01 (Briscoe, 2015) จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) รุ่น Avio 500 ของบริษัท PerkinElmer สหรัฐอเมริกา

4. คำนวณความทนทานและประสิทธิภาพการกำจัดสารแคดเมียมของพืช

คำนวณความทนทานของสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงกะโหลกโดยใช้สมการ(1) ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมโดยใช้สมการ(2) และค่าการสะสมทางชีวภาพ (Bioconcentration factor: BCF) ของแคดเมียมในสาหร่ายทั้งสองชนิดโดยใช้สมการ(3)

$$\text{Tolerance index} = \frac{\text{Dry biomass of treated plants}}{\text{Dry biomass of control plants}} \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นโลหะหนักเริ่มต้น และ C_e ความเข้มข้นโลหะหนักสุดท้าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$$\text{Bioconcentration factor (BCF)} = \frac{\text{Metal } C_{\text{biota}}}{\text{Metal } C_{\text{media}}} \quad (3)$$

เมื่อ $\text{Metal } C_{\text{biota}}$ คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในเนื้อเยื่อพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
และ $\text{Metal } C_{\text{media}}$ คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

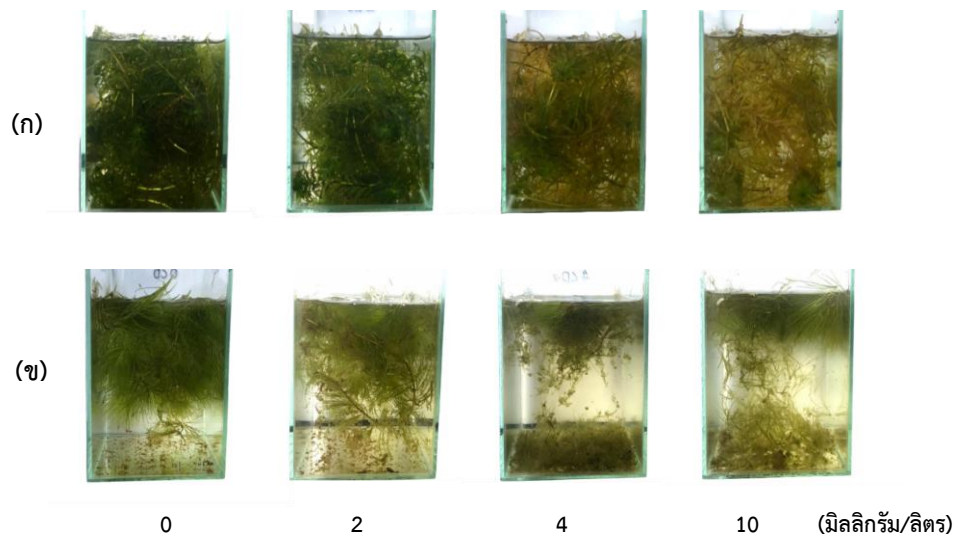
5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาค้างนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Random Design) แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรมสำเร็จรูป PSPP (version 2.0.1)

ผลการวิจัย

ลักษณะของสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการสังเกตลักษณะของสาหร่ายหลังลงเลี้ยงในน้ำเสียสังเคราะห์ (ภาพที่ 1) พบว่า ที่ 7 วัน หลังลงเลี้ยงในน้ำสังเคราะห์ สาหร่ายทางกระรอกมีความหนาแน่นมากกว่าสาหร่ายพวงชะโด โดยในกลุ่มควบคุม (0 มิลลิกรัมต่อลิตร) สาหร่ายทางกระรอกมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ใบมีสีเขียวและมีรากงอกออกมาเป็นจำนวนมาก ขณะที่ในสารละลายแคะเมียมที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ใบของสาหร่ายทางกระรอกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองที่ 4 วัน หลังลงเลี้ยงในน้ำสังเคราะห์ ส่วนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ที่ 3 วัน และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลใน 6 วัน หลังลงเลี้ยงในน้ำสังเคราะห์ และที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สีของใบเปลี่ยนเป็นสีเหลืองที่ 3 วัน และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่ 5 วันหลังลงเลี้ยงในน้ำสังเคราะห์ (ตารางที่ 1) ส่วนสาหร่ายพวงชะโด พบว่า สาหร่ายในกลุ่มควบคุมมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ใบมีสีเขียวและมีการแตกยอดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ใบของสาหร่ายพวงชะโดเริ่มมีการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองที่ 4 วันหลังลงเลี้ยงในน้ำสังเคราะห์ และที่ความเข้มข้นของแคะเมียม 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ใบเริ่มเปลี่ยนสีเหลืองตั้งแต่ 3 วันหลังลงเลี้ยงในน้ำสังเคราะห์ ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในสารละลายแคะเมียมที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า มีการตาย โดยใบเปลี่ยนสีน้ำตาลที่ 3 วันหลังลงเลี้ยงในน้ำสังเคราะห์ ก้านเปื่อยยุ่ยและมีการตายเป็นจำนวนมาก ใน 6-7 วันหลังลงเลี้ยงในน้ำสังเคราะห์ (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายหางกระรอก (ก) และสาหร่ายพวงกะโหลก (ข) ที่เลี้ยงในสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 0, 2, 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ครบ 7 วัน

ตารางที่ 1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายหางกระรอกที่เลี้ยงในสารละลายแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ แคดเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	Exposure times (day)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
2	++++	++++	++++	++++	+++	+++	+++	+++
4	++++	++++	++++	+++	+++	+++	++	++
10	++++	++++	++++	+++	+++	++	++	-

หมายเหตุ: ++++ เจริญเติบโตดี ใบมีสีเขียว , +++ เริ่มเจริญไม่ดี ใบมีสีเหลือง,
++ เจริญไม่ดี ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล, - เจริญไม่ดี พบการตายของต้นจำนวนมาก

ตารางที่ 2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายพวงพะโตที่เลี้ยงในสารละลายแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ แคดเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	Exposure times (day)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
2	++++	++++	++++	+++	+++	+++	+++	+++
4	++++	++++	++++	+++	+++	++	++	-
10	++++	++++	+++	++	++	-	-	-

หมายเหตุ: ++++ เจริญเติบโตดี ใบมีสีเขียว , +++ เริ่มเจริญไม่ดี ใบมีสีเหลือง,

++ เจริญไม่ดี ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล, - เจริญไม่ดี พบการตายของต้นจำนวนมาก

และเมื่อนำตัวอย่างสาหร่ายมาชั่งน้ำหนักแห้ง พบว่าสาหร่ายทางกระรอกมีน้ำหนักแห้งมากกว่าสาหร่ายพวงพะโต โดยน้ำหนักแห้งของสาหร่ายทางกระรอกจะลดลงแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำหนักแห้งของสาหร่ายพวงพะโตที่เลี้ยงในแคดเมียม 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าลดลงแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 3)

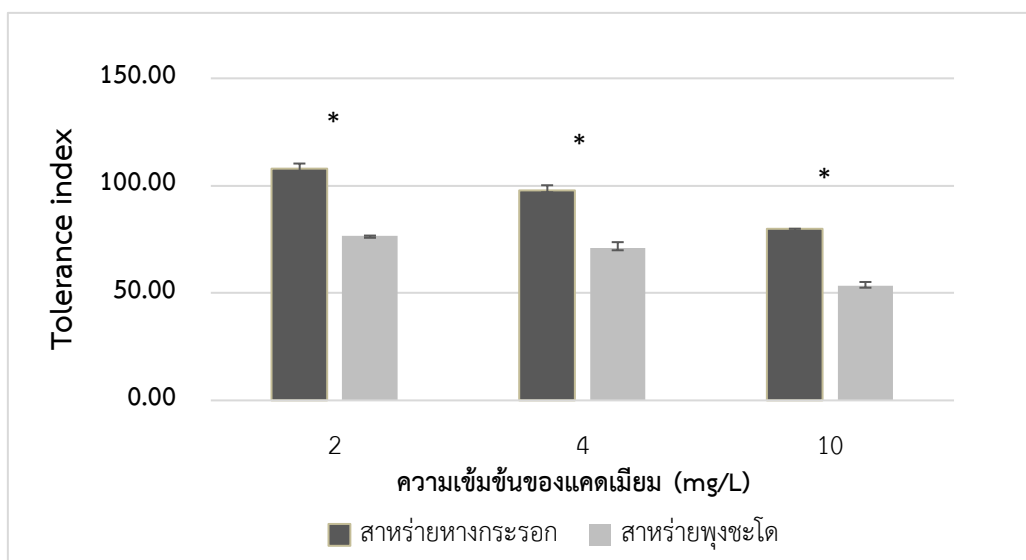
ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของสาหร่ายทางกระรอกและสาหร่ายพวงพะโตในสารละลายแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ย (กรัม)	
	สาหร่ายทางกระรอก	สาหร่ายพวงพะโต
0	1.28 ± 0.13^a	0.86 ± 0.06^a
2	1.38 ± 0.10^a	0.66 ± 0.07^b
4	1.25 ± 0.05^a	0.61 ± 0.01^b
10	1.02 ± 0.17^b	0.46 ± 0.06^c

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ความทนทานของสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงชะโดในสารละลายแคดเมียม

จากการศึกษาความทนทานของสาหร่ายทั้งสองชนิดที่มีต่อแคดเมียม พบว่าสาหร่ายหางกระรอกที่เลี้ยงในสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 2, 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความทนทาน (Tolerance index) เท่ากับ 107.81 ± 2.51 , 97.92 ± 2.29 และ 79.95 ± 0.02 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความทนทานสูงสุดอยู่ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนสาหร่ายพวงชะโดที่เลี้ยงในความเข้มข้น 2, 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความทนทานเท่ากับ 76.74 ± 0.03 , 70.93 ± 2.77 และ 53.49 ± 1.68 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความทนทานระหว่างสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงชะโด พบว่า สาหร่ายหางกระรอกมีความทนทานมากกว่าสาหร่ายพวงชะโด โดยสาหร่ายหางกระรอก ความทนทานมีค่า **79.95-107.81** ในขณะที่สาหร่ายพวงชะโด มีความทนทานอยู่ที่ **53.49-76.74** ซึ่งสาหร่ายหางกระรอกมีความแตกต่างกับสาหร่ายพวงชะโดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 2)



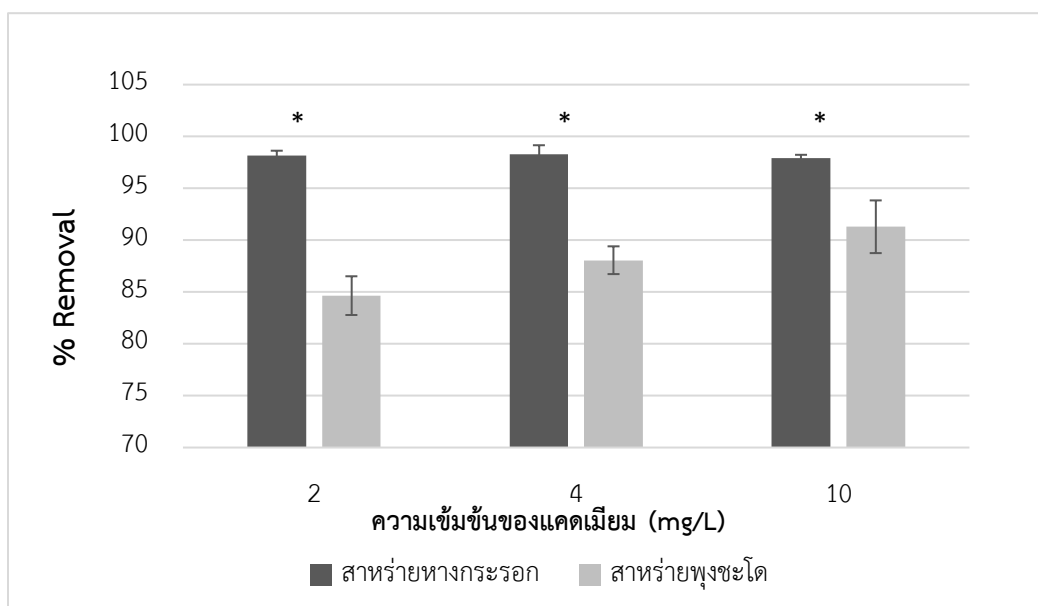
ภาพที่ 2 เปรียบเทียบความทนทานระหว่างสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงชะโดในสารละลายแคดเมียมที่มีความเข้มข้นต่างๆ

หมายเหตุ: * แสดงค่าเฉลี่ยของทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

การกำจัดแคดเมียมของสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงชะโด

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของสาหร่ายทั้งสองชนิด พบว่า สาหร่ายหางกระรอกที่เลี้ยงไว้ในสารละลายแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 2, 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มี

ความสามารถในการกำจัดแคดเมียม (% Removal) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม เท่ากับ $98.13 \pm 0.49\%$, $98.26 \pm 0.90\%$ และ $97.89 \pm 0.34\%$ ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายพวงกะโหลกที่เลี้ยงไว้ในสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 2, 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความสามารถในการกำจัดแคดเมียมเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม เท่ากับ $84.65 \pm 1.87\%$, $88.07 \pm 1.34\%$ และ $91.29 \pm 2.54\%$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารละลายแคดเมียมระหว่างสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงกะโหลกที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 2, 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สาหร่ายหางกระรอกสามารถกำจัดสารละลายแคดเมียมได้มากกว่าสาหร่ายพวงกะโหลกในทุกระดับความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 3)



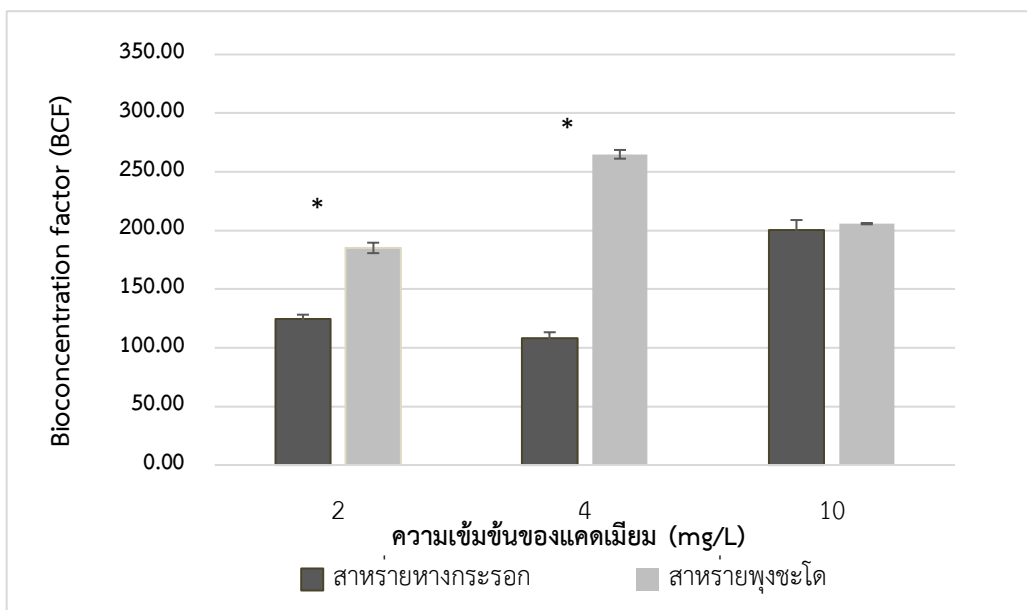
ภาพที่ 3 เปรียบเทียบการกำจัดสารละลายแคดเมียมของสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงกะโหลกในสารละลายแคดเมียมความเข้มข้นต่างๆ

หมายเหตุ: * แสดงค่าเฉลี่ยของทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

การสะสมทางชีวภาพเฉลี่ยของสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงกะโหลก

การสะสมทางชีวภาพ (BCF) ของสาหร่ายหางกระรอกในสารละลายแคดเมียม ที่ความเข้มข้น 2, 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า การสะสมทางชีวภาพของสาหร่ายหางกระรอกที่อยู่ในสารละลายแคดเมียมสูงสุด 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า BCF เฉลี่ย เท่ากับ 200.10 ± 8.79 รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า BCF เฉลี่ย เท่ากับ 124.61 ± 3.59 และน้อยสุดอยู่ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า BCF เฉลี่ย เท่ากับ 108.33 ± 4.89 ในสาหร่ายพวงกะโหลก พบว่า การ

สะสมทางชีวภาพสูงสุดอยู่ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่า BCF เฉลี่ย เท่ากับ 264.91 ± 3.71 รองลงมาคือที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า BCF เฉลี่ย เท่ากับ 205.80 ± 0.56 และน้อยที่สุดอยู่ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า BCF เฉลี่ย เท่ากับ 185.10 ± 4.45 จากการเปรียบเทียบการสะสมทางชีวภาพ (BCF) ของสาหร่ายทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 2, 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่ายพวงชะโดมีค่าการสะสมทางชีวภาพมากกว่าสาหร่ายหางกระรอก แต่ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สาหร่ายทั้งสองชนิดมีค่า BCF ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบค่าการสะสมทางชีวภาพระหว่างสาหร่ายหางกระรอกและสาหร่ายพวงชะโดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)

หมายเหตุ: * แสดงค่าเฉลี่ยของทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า สาหร่ายหางกระรอกมีค่าความทนทานต่อสารละลายแคดเมียมได้มากที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าดัชนีความต้านทาน 107.81 มีความสามารถในการกำจัดแคดเมียมได้ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 98.26% และการสะสมทางชีวภาพมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 108.33 - 200.10 ส่วนสาหร่ายพวงชะโดมีค่าความทนทานต่อ

สารละลายแคดเมียมได้มากที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าดัชนีความต้านทาน 76.74 มีความสามารถกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (91.29%) และการสะสมทางชีวภาพมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 185.10- 264.91

เมื่อเปรียบเทียบความทนทานและประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าสาหร่ายหางกระรอกมีความทนทานโดยมีน้ำหนักแห้งและค่า *Tolerance index* มากกว่าสาหร่ายพวงกะโหลกในทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียม รวมทั้งสามารถกำจัดแคดเมียมได้ดีกว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ พูนฉวี และโสภิษฐ์พร (2562) ที่ได้ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักแคดเมียมในน้ำโดยใช้ต้นรูปฤๅษีกับสาหร่ายหางกระรอก พบว่าสาหร่ายหางกระรอกสามารถดูดซับโลหะหนักแคดเมียมได้ดีกว่า โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม 4 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแคดเมียมลดลงคิดเป็น 86.64% และที่ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแคดเมียมลดลงคิดเป็น 85.18% สำหรับต้นรูปฤๅษีที่ความเข้มข้นสารละลายแคดเมียม 4 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแคดเมียมลดลงคิดเป็น 72.65% และที่ความเข้มข้นสารละลายแคดเมียม 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแคดเมียมลดลงคิดเป็น 70.19% ซึ่งมีการลดลงของปริมาณแคดเมียมน้อยกว่าต้นสาหร่ายหางกระรอก และสอดคล้องกับการศึกษาของ Bunluesin *et al.* (2004) ที่เปรียบเทียบการสะสมของแคดเมียมของพืชน้ำ 13 ชนิด พบว่า สาหร่ายหางกระรอกมีการเจริญเติบโตทนต่อสารละลายแคดเมียมได้มากกว่าสาหร่ายพวงกะโหลก การสะสมของโลหะหนักในพืชทำให้การสะสมของอนุมูลอิสระกลุ่ม reactive oxygen species (ROS) และการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ กรดนิวคลีอิก และคลอโรพลาสต์ ในสาหร่ายหางกระรอกพบว่ามีเมื่อมีการสะสมของแคดเมียมมากขึ้นจะส่งผลให้มีการสร้าง Malondialdehyde (MDA) จากกระบวนการ lipid peroxidation ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเกิดความเสียหายต่อเยื่อหุ้มเซลล์จาก reactive oxygen species เมื่อเกิด oxidative stress (Deng *et al.*, 2014; Song *et al.*, 2018) ซึ่งสาหร่ายหางกระรอกจะมีการสร้างเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) และ peroxidase (POD) ที่ใบและลำต้นเพื่อใช้ในการต้านอนุมูลอิสระ ทำให้สามารถทนต่อความเป็นพิษของแคดเมียมได้ดี (Qin *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2020) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความทนทานและการสะสมทางชีวภาพ (BCF) ของสาหร่ายทั้งสองชนิด พบว่า สาหร่ายพวงกะโหลกมีการตายมากขึ้นในสารละลายแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีค่าการสะสมทางชีวภาพมากกว่าสาหร่ายหางกระรอกที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่า คือ 2 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่ายพวงกะโหลกจึงเหมาะกับการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียที่มีแคดเมียมปนเปื้อนความเข้มข้นต่ำ

สรุปผลการวิจัย

สาหร่ายหางกระรอกมีความทนทานต่อแคดเมียมและความสามารถกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีกว่าสาหร่ายพวงกะโดนอย่างไรก็ตามแม้สาหร่ายพวงกะโดนจะมีการสะสมทางชีวภาพแคดเมียมได้ดีกว่า แต่เมื่อพิจารณาความทนทานซึ่งมีน้อยกว่า สาหร่ายพวงกะโดนจึงน่าจะมีความเหมาะสมในการนำไปบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่มีความเข้มข้นต่ำ เช่น น้ำทิ้งจากบ้านเรือน และน้ำทิ้งจากโรงพยาบาล เป็นต้น ในขณะที่สาหร่ายหางกระรอกมีความทนทานมากกว่าและสามารถกำจัดแคดเมียมในน้ำได้ดีกว่า จึงเหมาะสมที่จะนำไปบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่มีความเข้มข้นสูง เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียม ด้วยวิธีธรรมชาติและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบพืชและทดลองกับโลหะหนักชนิดอื่นๆ **รวมทั้งเพิ่มระยะเวลาในการศึกษา** เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพนำมาประยุกต์ใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีทนทาน มีประสิทธิภาพ และต้นทุนต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ในการอนุญาตให้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐธิดา นิลประดับแก้ว และคณิดา ตังคณานุรักษ์. (2560). การใช้ประโยชน์เปลือกหอยนางรมเพื่อกำจัดแคดเมียมและตะกั่วด้วยกระบวนการดูดซับ. *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*. 31(1), 29-36.
- ธีรนาถ สุวรรณเรือง. (2563). โลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสุขภาพ. *วารสารวิจัยและพัฒนาระบบสุขภาพ*. 13(1), 76-82.
- นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์, พิษญา ศรีเสน และพนทิพย์ แนนสนิท. (2562). พฤติกรรมการดูดซับตะกั่วด้วยเถาชีวมวล. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*. 30(2), 25-33.
- พูนณวี สมบัติศิริ และโคกภูพร ศิลปภิรมย์สุข. (2562). การเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับโลหะหนักแคดเมียมโดยต้นรูดฤกษ์กับสาหร่ายหางกระรอก. *วารสารคณะวิทยาศาสตร์*. 4(1), 1-12.
- Abdulwahid, K. D. (2023). Phytoremediation of cadmium pollutants in wastewater by using *Ceratophyllum Demersum* L. as an Aquatic Macrophytes. *Water Conservation & Management*. 7(2), 83-88.

- Abd Elnabi, M. K., Elkaliny, N. E., Elyazied, M. M., Azab, S. H., Elkhalfa, S. A., Elmasry, S., Mouhamed, M. S., Shalamesh, E. M., Alhoriény, N. A., Abd Elaty, A. E., Elgendy, I. M., Etman, A. E., Saad, K. E., Tsigkou, K., Ali, S. S., Kornaros, M. and Mahmoud, Y. A.-G. (2023). Toxicity of heavy metals and recent advances in their removal: A review. *Toxics*. 11(7), 580-608.
- Ankit, B. K., and Korstad, J. (2022). Phycoremediation: Use of algae to sequester heavy metals. *Hydrobiology*. 1(3), 288-303.
- Briscoe, M. (2015). Determination of heavy metals in food by inductively coupled plasma mass spectrometry first action 2015.01. *Journal of AOAC International*. 98(4), 1113-1120.
- Bunluesin, S., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Lanza, G. R., Upatham, E. S. and Soonthornsarathool, V. (2004). Plant screening and comparison of *Ceratophyllum demersum* and *Hydrilla verticillata* for cadmium accumulation. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 73(3), 591–598, doi: <https://doi.org/10.1007/s00128-004-0469-y>.
- Deng, G., Li, M., Li, H., Yin, L. and Li, W. (2014). Exposure to cadmium causes declines in growth and photosynthesis in the endangered aquatic fern (*Ceratopteris pteridoides*). *Aquatic Botany*, 112, 23-32, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2013.07.003>.
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A. and Catalano, A. (2020). The Effects of cadmium toxicity. *International journal of environmental research and public health*. 17(11), 3782-3803, doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>.
- Peana, M., Pelucelli, A., Chasapis, C. T., Perlepes, S. P., Bekiari, V., Medici, S. and Zoroddu, M. A. (2022). Biological effects of human exposure to environmental cadmium. *Biomolecules*. 13(1), 36-55, doi: <https://doi.org/10.3390/biom13010036>.
- Qin, L., Li, K., Li, Y., Gao, S., Liang, R. and He, X. (2017). Bioaccumulation and tolerance characteristics of *Hydrilla verticillata* (L.F.) exposed to cadmium toxicity. *Fresenius Environmental Bulletin*. 26(4), 2642-2651.
- Song, Y., Zhang, L. L., Li, J., He, X. J., Chen, M., and Deng, Y. (2018). High-potential accumulation and tolerance in the submerged hydrophyte *Hydrilla verticillata*

(L.f.) Royle for nickel-contaminated water. *Ecotoxicology and environmental safety*. 161, 553–562.

Zhang, H., Zhang, L. L., Li, J., Chen, M. and An, R. D. (2020). Comparative study on the bioaccumulation of lead, cadmium and nickel and their toxic effects on the growth and enzyme defence strategies of a heavy metal accumulator, *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. *Environmental science and pollution research international*. 27(9), 9853–9865, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-069680>.