



การบำบัดบัตอาร์เซนิกในน้ำโดยพืชน้ำ

Phyto-remediation of arsenic from water by Aquatic Plants.

ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์

รายงานวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

พืชน้ำพื้นถิ่น 3 ชนิด ได้แก่ จอกผักกาด แหนแดง และสาหร่ายหางกระรอก ถูกคัดเลือกเพื่อนำมาใช้ในการบำบัดสารหนูในน้ำ จอกผักกาดถูกนำมาทดลองเบื้องต้นเพื่อหาผลของความเข้มข้นต่อการเจริญของพืชน้ำ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้นของสารหนูที่ 20 เท่าของมาตรฐานน้ำหรือ 200 $\mu\text{g/L}$ ทำให้ผักกาดแสดงอาการเหี่ยว ใบสีเหลือง เน่า และตายภายใน 7 วัน

ในการทดสอบความสามารถในการลดความเข้มข้นสารหนูโดยพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 $\mu\text{g/L}$ พบว่าพืชน้ำ 3 ชนิดมีความสามารถในการลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำได้ตั้งแต่ 60 – 80 % โดยพืชน้ำแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพและช่วงเวลาในการลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำที่แตกต่างกันออกไป

แหนแดงเป็นพืชน้ำชนิดแรกที่ให้ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสารหนูได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นสูงถึง 74.47% ในช่วงเวลา 7 วันแรก ในขณะที่สาหร่ายหางกระรอกและจอกผักกาดมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นเท่ากับ 71.48 และ 51.85 % ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำค่าความสามารถมาเรียงลำดับก็จะสามารถเรียงได้ดังนี้

ในเวลา 7 วัน ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นสารหนู: แหนแดง > สาหร่ายหางกระรอก > จอกผักกาด

แต่เมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้นพบว่าประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสารหนูของแหนแดงลดลงในขณะที่สาหร่ายหางกระรอก และจอกผักกาดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการลดสารหนูของสาหร่ายหางกระรอก และจอกผักกาดเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ 82.76 และ 63.89 % ในวันที่ 14 ซึ่งเมื่อนำค่าความสามารถมาเรียงลำดับก็จะสามารถเรียงได้ดังนี้

ในเวลา 14 วัน ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นสารหนู: สาหร่ายหางกระรอก > แหนแดง > จอกผักกาด

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดพบว่าจอกผักกาดที่มีรากยาว และมีขนาดใหญ่ นั้นไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้จอกผักกาดสามารถดูดซับสารหนูในแหล่งน้ำได้ดีกว่าพืชน้ำชนิดอื่นๆ นอกจากนั้นยังพบว่าสาหร่ายหางกระรอกที่มีทุกส่วนของพืชอยู่ในน้ำนั้นสามารถดูดสารหนูได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: สารหนู พืชน้ำ การบำบัดสารพิษด้วยพืช

Abstract

Three native plant species, Water lettuce Azolla and Hydrilla, were selected for use in the treatment of arsenic in water. Water lettuce was the first tested to determine the effect of initial concentration on the growth of aquatic plants. The results showed that the concentration of arsenic in water is 20 times or 200 $\mu\text{g} / \text{L}$ makes mustard yellow, rotten leaf, wilt symptoms and died within 7 days.

On arsenic reduction ability at initial cocentration 100 $\mu\text{g} / \text{L}$. test, the three aquatic plants showed their ability to reduce the concentration of arsenic in water in the range of 60-80% which in the difference capability and ability in different period of time.

Azolla was the first aquatic plant, which has the highest efficiency in arsenic reduction by having an reduction arsenic reduction efficiency at 74.47 % which in 7 experimental days, while Water lettuce and Hydrilla showed a reduction efficiency at 71.48 and 51.85 % respectively. The arsenic reduction efficiency of three aquatic plants in 7 experimental days can be sort as follow
Which in 7 days reduction arsenic reduction efficiency of Azolla > Hydrilla > Water lettuce

When extend the experimental period, it was found that the arsenic reduction efficiency of Azolla decreased while the arsenic reduction efficiency of Hydrilla and Water lettuce increased. The experimental results showed that Hydrilla and Water lettuce had the highest arsenic reduction efficiency at 82.76 and 63.89 % which in 14 days. The arsenic reduction efficiency of three aquatic plants in 7 experimental days can be sort as follow

Which in 7 days reduction arsenic reduction efficiency of Hydrilla > Azolla > Water lettuce

On the comparison of the three types of aquatic plants, it was found that the biggest size and the longest roots of Water lettuce are not the importance factors which is made Water lettuce

can absorb arsenic from water higher than the other aquatic plants. Moreover, it was also found that Hydrilla, which all part of the plant under the water has the highest arsenic absorption.

Key words: arsenic, aquatic plant, Phyto-remediation

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือ / ความอนุเคราะห์จากบุคคลากรและองค์กรหลายท่าน / หลายหน่วยงานด้วยกัน ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ดังนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา - มารดา ผู้ให้กำเนิดและที่เปรียบเสมือนครูคนแรกของผู้ทำวิจัย และขอขอบพระคุณครู - อาจารย์ ที่ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ให้กับผู้ทำวิจัยจนสามารถทำงานได้มาจนถึงปัจจุบันนี้

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ได้สนับสนุนงบประมาณเพื่อให้สามารถทำงานวิจัยชิ้นนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ได้สนับสนุนและอนุญาตให้ใช้สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือ ในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ และบุคคลากรทั้งภายในภาควิชา จุลชีววิทยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เรื่องเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลองต่างๆ

ประสงค์สม ปุณยอุปัทธ์

มีนาคม 2556

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ | i |
| Abstract | ii |
| กิตติกรรมประกาศ | iv |
| สารบัญตาราง | vii |
| สารบัญภาพ | viii |
| บทที่ 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย | 1 |
| 1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ | 2 |
| 1.5 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย | 3 |
| บทที่ 2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 คุณสมบัติทั่วไปของสารหนู | 4 |
| 2.2 การแพร่กระจายของสารหนูในสิ่งแวดล้อม: | 4 |
| 2.3 พิษของสารหนู | 6 |
| 2.4 ค่ามาตรฐานและความปลอดภัยของสารหนูค่ามาตรฐานความปลอดภัยทางสิ่งแวดล้อม: | 7 |
| 2.5 วิธีการกำจัดอาร์เซนิกในน้ำ | 8 |
| 2.6 การบำบัด-การดูดซับโลหะหนักด้วยหญ้า | 9 |
| บทที่ 3. อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง | 14 |
| 3.1 การคัดเลือกพีชน้ำ การเตรียมพีชน้ำ และการเปรียบเทียบคุณสมบัติของพีชน้ำที่ใช้ในการทดลอง | 15 |
| 3.2 . การเตรียมบ่อเพาะเลี้ยงและการเพาะเลี้ยงพืชทดสอบ | 16 |

| | |
|---|----|
| 3.3. การออกแบบบ่อทดสอบ: | 16 |
| 3.4 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์และการศึกษาการดูดซับสารหนูโดยพีชน้ำ | 16 |
| 3.5 การคำนวณประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารหนู | 19 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 20 |
| 4.1 พีชที่ใช้ในการทดลอง | 20 |
| 4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของพีช และการเตรียมพีชน้ำ: | 21 |
| 4.3 การเตรียมบ่อเพาะเลี้ยงและการเพาะเลี้ยงพีชทดสอบ | 22 |
| 4.4. การออกแบบบ่อทดสอบ: | 23 |
| 4.4. ศึกษาผลของสารหนูต่อการเจริญของพีชจากผักกาด | 23 |
| 4.5. ศึกษาผลของสารหนูต่อการเจริญของพีชจากผักกาด | 23 |
| 4.6 ศึกษาการลดความเข้มข้นของสารหนูโดยพีชน้ำ | 30 |
| 4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสารหนูโดยพีชน้ำ | 32 |
| บทที่ 5 สรุป วิเคราะห์ผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ | 35 |
| 5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง | 35 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 38 |
| เอกสารอ้างอิง | 39 |
| ภาคผนวก | 43 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | รายละเอียดของตาราง | หน้า |
|----------|---|------|
| 2-1 | ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำและดิน | 8 |
| 2-2 | พืชที่มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการใช้พื้นที่ปลูกภาพแวดล้อมในประเทศไทย | 10 |
| 4-1 | การเปรียบเทียบมวลชีวภาพของพืชน้ำก่อนและหลังการลดความเข้มข้นสารหนู | 25 |
| 4-2 | ความเข้มข้นของสารหนู. ($\mu\text{g/ml}$) ในน้ำหลังจากบำบัดด้วยพืชน้ำเป็นระยะเวลา 21 วัน | 31 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | รายละเอียดของภาพ | หน้า |
|--------|--|------|
| 3-1 | ลักษณะพีชน้ำก่อนทำการทดลอง | |
| 3-2 | ตัวอย่างพีชน้ำที่ใช้ดูดซับสารหนูเป็นเวลา 21 วัน | 17 |
| 3-3 | การวิเคราะห์สารหนูโดยใช้วิธี Silver Diethyldithiocarbamate Method | 17 |
| 4-1 | เปรียบเทียบขนาดและความยาวรากของจอกผักกาดและแหนแดง | 22 |
| 4-2 | การเพาะเลี้ยงจอกผักกาดในบ่อใสดินที่ผ่านการแช่น้ำและไม่ผ่านการแช่น้ำ | 23 |
| 4-3 | ลักษณะการเจริญเติบโตของจอกผักกาดในน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูเป็นเวลา 21 วัน | 24 |
| 4-4 | มวลชีวภาพของจอกผักกาดในน้ำ และน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 100 µg/L เป็นเวลา 0-21 วัน | 25 |
| 4-5 | จอกผักกาดตายเพราะสารหนูในน้ำเกินค่ามาตรฐาน 20 เท่าในระยะเวลา 5-7 วัน | 26 |
| 4-6 | การเจริญเติบโตของจอกผักกาดในน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 100 µg/ml เป็นเวลา 0 - 21 วัน | 27 |
| 4-7 | การเจริญเติบโตของแหนแดงในน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 100 µg/ml เป็นเวลา 0 - 21 วัน | 28 |
| 4-8 | การเจริญเติบโตของสาหร่ายหางกระรอกในน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 100 µg/ml เป็นเวลา 0 - 21 วัน | 29 |
| 4-9 | การเจริญเติบโตของพีชน้ำทั้ง 3 ชนิดในน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 100 µg/L เป็นเวลา 0 - 21 วัน | 30 |
| 4-10 | ปริมาณของสารหนูคงเหลือในน้ำเมื่อบำบัดด้วยพีชน้ำ 3 ชนิด ภายในเวลา 21 วัน | 31 |
| 4-11 | ปริมาณของสารหนูคงเหลือในน้ำเมื่อบำบัดด้วยพีชน้ำ 3 ชนิด ภายในเวลา 21 วัน | 32 |

บทที่ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ประเทศไทยในแถบลุ่มน้ำโขงเป็นประเทศทางการเกษตรกรรมเป็นหลัก และยังเป็นประเทศที่พึ่งพาผลผลิตจากอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออก ดังนั้นจึงทำให้การเพิ่มขึ้นของจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมและปริมาณผลผลิตจึงเป็นที่น่าสนใจว่าการขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้ปุ๋ย และยาปราบศัตรูพืช ร่วมกับการขยายตัวของโรงงานในภาคอุตสาหกรรม(อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมสารปราบศัตรูพืช อุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมโลหะอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และอุตสาหกรรมสิ่งทอ) ที่มีก่อให้เกิดของเสียอันตรายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลดังกล่าว จึงประเมินได้ว่ามีโอกาสเป็นไปได้ที่จะมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตร หรือการรั่วไหลของของเสียอันตรายที่เป็นโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือแหล่งน้ำชุมชนได้เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์อย่างตั้งใจและไม่ตั้งใจ และจากกิจกรรมของธรรมชาติ เช่น น้ำฝนที่ชะล้างของเสียอันตรายต่าง ๆ ไหลลงสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อาศัยในบริเวณนั้น โดยเฉพาะกลุ่มที่เป็นโลหะหนักหรือมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบนั้นสามารถก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก จากการสำรวจชนิดและปริมาณของเสียอันตรายที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมใน พ.ศ. 2537 พบการเจือปนโลหะหนักคงอยู่ในของน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น น้ำเสียจากโรงงานชุบทองหรือ อโลหะ การทำเหมืองแร่ และโรงงานฟอกหนัง มีถึงร้อยละ 73 -75 และมีโอกาสที่เจือปนสู่สิ่งแวดล้อม อาทิเช่น ดิน และเสี่ยงต่อการปนเปื้อนต่อน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน (มัลลิกา 2542)

สารหนูจัดเป็นโลหะหนักหนึ่งที่ใช้ในด้านการเกษตร และด้านอุตสาหกรรม อย่างแพร่หลาย สำหรับทางการเกษตรได้แก่การใช้ในเคมีภัณฑ์ทางการเกษตรจำพวกปุ๋ยและยาฆ่าแมลง ตัวอย่างเช่น การใช้ปุ๋ย การใช้ในสารกำจัดวัชพืช การใช้ยาฆ่าแมลง และการใช้เป็นวัตถุเติมในการผลิตยากำจัดศัตรูพืช ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช น้ำยาถอนอเนอไมด์ ซึ่งการใช้เคมีภัณฑ์ดังกล่าวนี้ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนูเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยตรงสำหรับในทางอุตสาหกรรมจะใช้สารหนูผสมกับโลหะเพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อน ใช้เป็นทำวัสดุกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์ ใช้ในขจัดสีออกจากแก้วทำให้เนื้อแก้วใส ใช้ในอุตสาหกรรมกระจกเงา ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง รวมถึงอุตสาหกรรมเหมืองแร่ การถลุงโลหะ ซึ่งการปนเปื้อนของสารหนูสู่สิ่งแวดล้อมนั้นนั้นมักเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว (ยุทธนา และ อำพร 2548)

การบำบัดที่มีการปนเปื้อนสารหนูสามารถทำได้โดยวิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ หรือใช้วิธีการบำบัดหลายอย่างร่วมกัน วิธีที่นิยมใช้ในการบำบัดได้แก่ วิธีทางกายภาพ และเคมี ซึ่งได้แก่ การดูดซับและการตกตะกอน แต่มีข้อจำกัดในด้านต้นทุนการบำบัด และเป็นการเติมสารเคมีลงในธรรมชาติ ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมและการนำตะกอนเคมีไปกำจัดภายหลังการบำบัดแล้ว ทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาและลดต้นทุนในการบำบัดได้แก่ การประยุกต์ใช้พืชที่มีความอดทนสูง และมีความสามารถในการดูดซับได้สูงมาใช้เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพเพื่อการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะมีราคาถูกและลดการใช้สารเคมีในการบำบัดได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินศักยภาพของพืชน้ำ ในการกำจัดสารหนูในน้ำเสียสังเคราะห์

1.2.2 เพื่อศึกษาความสามารถของพืชน้ำ ในการกำจัดสารหนูในน้ำ

1.2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พืชน้ำ ในการบำบัดสารหนูในน้ำ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ทดสอบความสามารถในการดูดซับของสารหนูในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยพืชน้ำ ในบ่อทดสอบที่เตรียมขึ้น

1.3.2 ประเมินความเป็นไปได้ไปใช้ในระบบจริงโดยนำผลการทดลองจากข้อ 1.3.1 เพื่อการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.4.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูในน้ำด้วยพืชน้ำ
- 2) วิธีการใช้จากวัชพืชในการบำบัดสารพิษในสิ่งแวดล้อม

1.4.2 หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1) แหล่งชุมชนต่าง ๆ ที่อาจพบการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำ
- 2) โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนของโลหะหนัก
- 3) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เกิดองค์ความรู้สามารถนำไปพัฒนา-สานต่อให้เกิดประโยชน์ต่อนักศึกษา

1.5 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

การทดลองนี้ต้องการใช้พืชน้ำ ในกลุ่มพืชที่สามารถพบได้ทุกภาคในประเทศไทยเป็นพืชในการบำบัดสารหนูในน้ำเสียสังเคราะห์ในบ่อทดลอง เนื่องจากมีรายงานความสามารถในการดูดซับและสะสมสารหนู ประกอบกับพืชพวกนี้สามารถได้ดีแหล่งน้ำขัง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำพืชน้ำมาใช้ในการกำจัดสารหนูในน้ำ

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติทั่วไปของสารหนู

สารหนู (Arsenic) เป็นของแข็งของโลหะสีเทาหรือสีเทาเงิน มีความสามารถในการนำความร้อนและไฟฟ้าต่ำ จัดเป็นธาตุกึ่งโลหะอยู่ในหมู่ 5A ของตารางธาตุในอันดับที่ 33 โดยมีมวลอะตอมเท่ากับ 74.9215 และจัดอยู่ใน Matcrial Data Sheet (MSDS) โดยมี CAS-No.7440-38-2 และ UN 1588 ตามลำดับ สารหนูเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับที่ 20 ของธาตุที่พบบนโลก และสามารถพบในธรรมชาติในรูปของธาตุและในรูปของสารประกอบ ทั้งสารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบ อนินทรีย์ โดยสารประกอบอนินทรีย์ที่พบมากจะอยู่ใน 2 รูปด้วยกันได้แก่ สารหนูที่มีอนุมูลประจุ 3+ หรือ อาร์ซิไนต์ (Arsenite) และ สารหนูที่มีประจุ 5+ หรืออาร์ซิเนต (Arsenete) ซึ่งทั้งสองแบบนี้เป็นสารหนูที่มีความเป็นพิษมากกว่าในรูปสารหนูบริสุทธิ์ที่เป็นธาตุ (As) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2549)

2.2 การแพร่กระจายของสารหนูในสิ่งแวดล้อม:

สารหนู เป็นแร่ที่สามารถพบได้มากในธรรมชาติโดยอยู่ในรูปองค์ประกอบของแร่ต่างๆกว่า 245 ชนิดด้วยกัน ดังนั้นจึงสามารถพบการกระจายตัวของสารหนูในธรรมชาติได้ นอกจากนั้นยังกิจกรรมของมนุษย์ยังสามารถส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายและการปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อมได้ซึ่งชัยวัฒน์ (2547) สรุปแหล่งที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของสารหนูสู่ธรรมชาติไว้ดังนี้

- แหล่งธรรมชาติ: โดยที่การแพร่กระจายของสารหนูในสิ่งแวดล้อมสามารถเกิดขึ้นเองโดยกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น เกิดในรูปก๊าซจากภูเขาไฟ และเกิดจากการสึกกร่อน การชะล้างหรือการละลาย ของหินหรือแร่ที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ เช่น arsenopyrite (FeAsS)

- เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ในด้านการเกษตร และด้านอุตสาหกรรม สำหรับทางการเกษตรได้แก่ การใช้ในเคมีภัณฑ์ทางการเกษตรจำพวกปุ๋ยและยาฆ่าแมลง ตัวอย่างเช่น การใช้ปุ๋ย (ปุ๋ย super phosphate ที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ) การใช้ในสารกำจัดวัชพืช (เช่น monosodium methanearsonate: MSMA และ disodium methanearsonate: DAMA) การใช้ยาฆ่าแมลงในกลุ่มที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ (zinc arsenate, calcium arsenate, lead arsenate และ sodium arsenate) และ การใช้เป็นวัตถุเติมในการผลิตยา

กำจัดศัตรูพืช ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช น้ำยาถนอมเนื้อไม้ ซึ่งการใช้เคมีภัณฑ์ดังกล่าวนั้นส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนูเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยตรง

ในทางอุตสาหกรรมจะใช้สารหนูในรูปของแข็งผสมกับโลหะอื่น เช่น ตะกั่ว ทองแดง เป็นโลหะอัลลอยด์ เพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อน ใช้เป็นวัสดุกึ่งตัวนำในเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์ และโซล่าแบตเตอรี่ ใช้ใน อุตสาหกรรมแก้วและเซรามิก เพื่อขจัดสีออกจากแก้ว ทำให้เนื้อแก้วใส ใช้ในอุตสาหกรรมกระจกเงา ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง เพื่อรักษาสภาพหนัง อุตสาหกรรมเหมืองแร่ การถลุงโลหะ ซึ่งการปนเปื้อนของสารหนูสู่สิ่งแวดล้อมในกรณีนี้มักเกิดจากการการปนเปื้อนของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว (ยุทธนา และ อำพร 2548)

ในประเทศไทยพบผู้ป่วยที่ได้รับผลกระทบจากสารหนูหรือใช้ดำ ใน ต.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช โดยพบผู้ป่วยครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ.2530 โดยพบผู้ป่วยมี อาการทางผิวหนังโดยตามตัวมีลักษณะรอยดำ สลับขาว และฝ่ามือหนามีเม็ดดุนแข็งเกิดขึ้น บางรายมีอาการตกสะเก็ด ผิวหนังลอก สาเหตุพบว่าผู้ป่วยได้รับพิษมาจากการบริโภคน้ำและอาหารที่ปนเปื้อนของสารหนูที่เกิดจากการทำเหมืองแร่ดีบุกที่ทำต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานกว่า 50 ปี โดยที่กระบวนการลอยแร่ และน้ำทิ้งจากการแต่งแร่ เป็นสาเหตุให้เกิดการแพร่กระจายของสารหนูในสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนูในแหล่งน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน ทำให้ประชาชนบริโภค-อุปโภคน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูสูงเกินค่ามาตรฐานคุณ และแสดงอาการถึงพิษของสารหนู เมื่อสถาบันโรคผิวหนังกรมการแพทย์ได้สุ่มตัวอย่างตรวจน้ำบ่อในเขตหมู่ที่ 1,2,7,12 ตำบลร่อนพิบูลย์ ผลปรากฏว่า มีปริมาณสารหนูปนเปื้อนอยู่สูง และจากการศึกษาวิเคราะห์การปนเปื้อนสารหนูในบ่อน้ำดื่มของชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในหมู่ที่ 1,2,3,4,5,6,7,12,13 และ 14 จำนวน 150 บ่อ ของกรมทรัพยากรธรณี เมื่อปี พ.ศ.2531 พบว่าหมู่ที่ 12 ,2 และ 13 มีปริมาณสารหนูปนเปื้อนสูงกว่า 1.00 มก./ลิตร คิดเป็นร้อยละ 39,33 และ 25 ของจำนวนบ่อที่เก็บตัวอย่าง 41,24 และ 31 บ่อ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิเคราะห์การปนเปื้อนสารหนูในน้ำบ่อต้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ ของกระทรวงสาธารณสุข เมื่อปี 2530-2531 จำนวน 2421 บ่อ พบว่ามีสารหนูปนเปื้อนอยู่ในอัตราสูงโดยหมู่ที่ 2 มีอัตราการพบสารหนูสูงสุด 35.4 % (วิไลวรรณและคณะ 2545)

สุวสิย์ 2539 และ Suwanmanee,1991 สรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนูในพื้นที่อำเภอ ร่อนพิบูลย์ไว้ 2 กรณีได้แก่

- กระบวนการผุกร่อน ร่วมกับการชะล้าง ของดิน หินที่มีส่วนประกอบของแร่ arsenopyrite (FeAsS)

ตามกระบวนการทางธรรมชาติ

- จากกระบวนการและกิจกรรมทำเหมืองแร่ เช่น การแต่งแร่ และการร่อนแร่ ร่วมกับการทิ้งกากแร่ กระจายตามบริเวณต่างๆ ทำให้แร่ arsenopyrite (FeAsS) สามารถทำปฏิกิริยากับอากาศ หรือถูกย่อยสลายโดย กระบวนการทางธรรมชาติ และถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำสำหรับอุปโภค-บริโภคได้

กำหนดและคณะ 2542 ศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในพื้นที่ที่ปนเปื้อนสารหนูในอำเภอรัตน พิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยวิธีทางธรณีฟิสิกส์เนื่องจากพบว่าปริมาณการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำและ น้ำใต้ดินในบางบริเวณมีความเข้มข้นสูง-ต่ำที่แตกต่างกันนั้นน่าจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะทาง ธรณีวิทยา ซึ่งผลการวิจัยพบว่ามีแนวหินที่มีลักษณะเป็นแอ่งที่สามารถเก็บกักสารหนูและส่งผลถึงการ แพร่กระจายของสารหนูในน้ำน้อยลง

2.3 พิษของสารหนู

พิษของสารหนูอาจเกิดหลังการสัมผัส และหรือ อาจเกิดหลังหยุดการสัมผัสนานเป็นเดือนปี- เกิดเป็น แผลหรือรูในกระดูกที่ก้นของจมูก- ทำให้ผิวหนังหนาขึ้น มีรอยดำดำเนื่องจากสูญเสียเม็ดสีผิว บางคนอาจมี เส้นสีขาบบนเล็บจนถึงทำลายตับ และมีผลกับกระเพาะอาหาร- ได้รับที่ความเข้มข้นสูงๆบ่อยครั้ง ทำลาย ประสาท มีความรู้สึกปวดแปลบ ปวดแสบปวดร้อน ชา และมีอาการอ่อนเพลียของแขนขาตามมาทีหลัง- มี ฤทธิ์ก่อมะเร็งในมนุษย์ (มะเร็งผิวหนังและปอด)- อาจมีผลต่อทารกในระยะ 3 เดือนแรกของการตั้งครรภ์- สารประกอบบางตัวมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์

การเข้าสู่ร่างกาย: สารหนูสามารถเข้าสู่ร่างกายคนเราได้โดยการสัมผัสผิวหนัง การหายใจ และการ รับประทานอาหารและน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนของสารหนู แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะพบว่าสารหนูเข้าสู่ร่างกายจาก การบริโภคอาหาร หรือน้ำที่ปนเปื้อนแล้วจะดูดซึมผ่านทางเดินอาหารมากกว่าวิธีอื่น

อันตรายของสารหนู: พิษของสารหนุนั้นมีทั้งแบบเฉียบพลัน และเรื้อรัง โดยที่อาการ อาการแบบ เฉียบพลัน มักจะเกี่ยวกับ บริเวณที่สัมผัส เลือด สมอง ไต หัวใจ และระบบทางเดินอาหาร โดยสารหนูทำให้เกิด การระคายเคืองต่อเนื้อเยื่ออวัยวะที่สัมผัส มีแผลพุพอง บวมแดงเป็นแห่งๆ คลื่นไส้ อาเจียนเป็นตะคริว กล้ามเนื้อเกร็ง อาการแทรกซ้อนเกี่ยวกับการทำงานของหัวใจ และเสียชีวิตจากการทำงานล้มเหลวของหัวใจ

สำหรับในประเทศไทยกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดสำหรับค่ามาตรฐานของปริมาณสารหนูที่ยอมให้ปนเปื้อนในน้ำและดินได้ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 : ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำและดิน

| แหล่งในธรรมชาติ | ปริมาณสารหนูที่ยอมรับได้ (ไม่เกิน) |
|---|------------------------------------|
| น้ำในแหล่งน้ำผิวดิน | 0.01 มก/ล |
| น้ำใต้ดิน | 0.01 มก/ล |
| อุตสาหกรรมน้ำสำหรับบริโภค | 0.05 มก/ล |
| น้ำดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิท | 0.05 มก./ล |
| น้ำบาดาลที่ใช้ในการบริโภค | 0.05 มก./ล |
| ดินที่ใช้เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม | 3.9 มก./กก |
| ดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจาก การอยู่อาศัยและเกษตรกรรม | 27 มก./กก |

อ้างอิงจาก กรมควบคุมมลพิษ http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01-03.html และ

http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01-03.html (accessed date 02/10/2005)

2.5 วิธีการกำจัดอาร์เซนิกในน้ำ

Braman (1983) ในแหล่งน้ำสามารถพบสารหนูในรูปของ สารอนินทรีย์ ซึ่งในน้ำที่มีออกซิเจนจะพบสารหนูในรูปอาร์ซิเนตเป็นส่วนใหญ่ โดยอยู่ในรูปของประจุลบของ $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$, และ AsO_4^{3-} สำหรับในน้ำที่มีออกซิเจนน้อย เช่น ในบ่อน้ำบาดาล มักพบสารหนูในรูปของอาร์ซิไนต์โดยอยู่ในรูปไม่มีประจุ (H_3AsO_3) และอยู่ในรูปประจุลบ ($H_2AsO_3^-$)

การบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูสามารถทำได้หลายวิธีตัวอย่างทั้งวิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ ตัวอย่างเช่น วิธีทางกายภาพและเคมี สามารถทำโดยใช้ $FeCl_3$ หรือ สารส้ม หรือ ปูนขาวในการตกตะกอน กระบวนการ oxidation ด้วย $KMnO_4$ ร่วมกับการกรองด้วยทรายเคลือบ manganese กระบวนการดูดซับด้วย activated alumina หรือ activated carbon กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน และ กระบวนการกรอง

แบบ Reverse osmosis เป็นต้น (Mohan และ Pittman 2007, ชัยวัฒน์ 2547) สำหรับวิธีทางชีวภาพสามารถทำได้โดยใช้สิ่งมีชีวิตได้แก่ สาหร่าย จุลินทรีย์ หรือพืช ในการดูดซับ-บำบัดสารหนูในน้ำ ซึ่งจัดเป็นการลดความเป็นพิษทางชีวภาพที่ไม่ต้องมีกระบวนการเติมสารเคมีลงในสิ่งแวดล้อมจึงไม่มีสารเคมีตกค้างหลังการบำบัด ซึ่งวิธีการนี้พืชและ/หรือจุลินทรีย์ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายสารพิษออกจากสิ่งแวดล้อมทั้งในสภาพมีชีวิตและสภาพไม่มีชีวิต จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำ (เช่น การใช้หญ้าเป็นเครื่องมือในการกำจัดอาร์เซนิกและโลหะหนัก อื่น ๆ ในดิน น้ำดื่ม น้ำชะล้างจากหลุมฝังกลบขยะ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำทิ้งจากชุมชน (Eccles, H. 1999, Alkorta *et.al.*, a, b, 2004)

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้กระบวนการใด ๆ ควรต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมต่างได้แก่ คุณลักษณะของน้ำก่อนการบำบัด คุณภาพน้ำที่ต้องการหลังการบำบัด พื้นที่ที่ใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัด ความยากง่ายในการเดินระบบ และความเป็นไปได้ในการกำจัดกากของเสียที่เหลือ หรือการนำของเสียมาใช้นิว (สุชาติ 2547)

2.6 การบำบัด-การดูดซับโลหะหนักด้วยหญ้า

พืชสามารถดูดซับสารโลหะหนักที่ตกค้างในดินหรือแหล่งน้ำ โดยที่พืชเก็บสามารถสะสมโลหะหนักไว้ในส่วนต่างๆของพืชโดยตรง หรือเปลี่ยนโลหะหนักให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นพิษโดยผ่านปฏิกิริยาทางชีวเคมีก่อนเก็บสะสม สำหรับพืชที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวหลักในการดูดซับ-บำบัดโลหะหนักในน้ำทั้งนั้น ควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ

- มีระบบรากที่ดี
- สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว
- สามารถดูดซับสารโลหะหนักได้ดี
- สามารถกักเก็บสารโลหะหนักได้ดี
- สามารถลำเลียงสารโลหะหนักได้ดี

(US.EPA., 2000)

มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พืชหลายชนิดด้วยกันในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมจากการปนเปื้อนสารพิษประเภทต่างๆในประเทศไทยดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2: พืชที่มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการใช้ฟื้นฟูสภาพแวดล้อมในประเทศไทย

| ชนิดของพืช | ชนิดของสาร มลพิษ | ประสิทธิภาพ | อ้างอิง |
|---|-----------------------------|---|-------------------------------|
| ไชน้ำ (Wolfia alobosa) | แคดเมียม (Cd) | สะสม 80.65 mg/g | เบญจภรณ์,2542 |
| Axonopus compressus | แคดเมียม | สะสม 1,540 mg/kg | Sao,2004 |
| ประตูกิ่งอ่อน (Pterocarpus indica) | แคดเมียม | สะสม 470 mg/g | Suekhum,2005 |
| ขลุ้ (Pluchea indica) | โครเมียม | สะสม 51.3 mg/kg | Sampanpanish,2005 |
| Cynodon dactylon,Pluchea indica | โครเมียม(Cr) | สะสม 152.1 และ 151.8mg/kg | Sampanpanish et al .,2006 |
| แหนเบ็ดใหญ่(Spirodela polymrhiza) | นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) | สะสมนิกเกิล 58-80% ตะกั่ว 68.25-91% | ปิยาภรณ์,2544 |
| Buddleja asiatica | ตะกั่ว | สะสม 12,133- 21,667 | Waranusantigul et al.,2008 |
| จูปตาซี (Typha angustifolia Linn.) | ตะกั่ว | สะสม 7,492.6 mg/kg | Panich-pat et ai.,2004 |
| หญ้าแฝกหอม (Vetiver zizanioides) | ตะกั่ว | สะสม 800 mg/kg | Chantachon et al.,2004 |
| ทานตะวัน (Helianthus annuus) | ตะกั่ว | สะสม 0.86 mg/kg | สุพัตราและคณะ,2551 |
| ทานตะวัน | คาร์โบฟูราน | ย่อยสลาย 46.71mg/kg | Teerakun,2004 |
| ดาวเรืองนกกะเต็น (Tagetes ereda) | สารหนู(As) | สะสม 42%ในใบ | Chintakovid et al.,2008 |
| เผือก บอน (Colocasia esculenta) | สารหนู | สะสมในเผือก 40.34 mg/kg ในบอน 46.79 mg/kg | Tambamrung,2002 |
| เฟิร์นใบมะขาม (Nephrolepis cordifolia) | น้ำมันเตา | ย่อยสลายได้ 59.46% ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 500 mg/kg | Sunphueak,2007 |
| ข้าวโพด (Zea mays) | ฟิแนนทรีน(พีเอ เอช) | ย่อยสลายได้ 90%ที่ ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 mg/kg | Chouychai et al.,inpress |

ที่มา:วารภรณ์ (2551)

ประกรณ์ (2544) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณ ทองแดง เหล็ก และ ตะกั่วในน้ำเสีย
ห้องปฏิบัติการโดยใช้พืช 3 ชนิด ได้แก่ผักตบชวา จอก ผักบุ้ง และทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะโดยวิธีใช้เครื่อง
Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) พบว่าน้ำเสียจากบ่อผักตบชวา จอก และผักบุ้ง มีปริมาณทองแดง
ในน้ำลดลง 97.7 % 89.02 % และ 85.36 % ปริมาณเหล็กในน้ำลดลง 96.51 % 95.72 % และ 79.51 % และ
ปริมาณตะกั่ว ในน้ำลดลง 61.70 % 55.39 % และ 55.51 % ตามลำดับ

วิชนันท์ (2545) ศึกษาผลของ EDTA ในการเพิ่มประสิทธิภาพสะสมสารหนูใน ผีเสื้อ และ บอน ผลการ
ทดลองพบว่า EDTA สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสะสมของสารหนูในพืช 2 ชนิดได้โดยในผีเสื้อและบอนมี
ค่าความเข้มข้นการสะสมสูงสุดที่ 40.3 มิลลิกรัม และ 46.79 มิลลิกรัมตามลำดับ

Fritioff (2005) ศึกษาการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย (สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และ ตะกั่ว) ในบึง
ประดิษฐ์ ด้วยระบบที่มีโดยใช้ตัวกลางคือพืชน้ำได้แก่ *Potamogeton natans* และ ทำวิเคราะห์ปริมาณโลหะใน
หน่อ ใบ และรากของพืชเพื่อตรวจดูการดูดซับและระดับของการสะสมโลหะหนัก ซึ่งพบว่าพืชมีการสะสมโลหะ
หนัก 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ที่ใบและหน่อ (โดยที่ปริมาณตะกั่วในหน่อจะมีสูงกว่าที่ใบ) แต่
ในรากมีระดับความเข้มข้นของทองแดงสูงมาก แต่ไม่พบการสะสมของ ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีเพราะ และ
ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของพืชอยู่ระหว่าง 25% - 59%

Liu (2006) ศึกษาการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม ในน้ำประปาและน้ำธรรมชาติ โดยพืช *Pang Da Hai*
และตรวจสอบโดยใช้ AAS พบว่า *Pang Da Hai* สามารถดูดซับตะกั่ว และ แคดเมียม ที่ 27.1 และ 17.5 mg g⁻¹
ตามลำดับ

Rotkittikhun et al (2005) ศึกษาความสามารถในการดูดและเก็บสะสมตะกั่วของพืช 48 species ใน
14 families ในบริเวณพื้นที่อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อ.บ่องาม จ.กาญจนบุรี ซึ่งพบว่ามีตะกั่วสะสมอยู่ที่ผิวดินถึง
325 – 142,400 mg/kg. พบว่ามีพืช 26 species มีตะกั่วสะสมอยู่มากกว่า 1,000 mg/kg ในหน่อ มี 3 species
คือ *Microstegium ciliatum*, *Polygala umbonata*, *Spermacoce mauritiana* สามารถสะสมตะกั่วในหน่อได้
มากกว่าที่สุดถึง 12,200 – 28,370 mg/kg และที่รากถึง 14,580 – 128,830 mg/kg และในจำนวนหญ้า ทั้งหมด
นั้นมีหญ้าพันธุ์ *Panicum* คือ *Panicum maximum* สามารถสะสม ตะกั่วในดินได้ 3,520 mg/kg dry weight
สะสมตะกั่วในหน่อ 920 mg/kg dry weight และสะสมในราก 954 mg/kg dry weight

Visoottivisetha et al (2001) ศึกษาศักยภาพหญ้าพื้นเมืองสำหรับใช้เป็นพืชในการดูดสารหนู โดยตรวจสอบดินตัวอย่างจากพื้นที่บริเวณที่มีรายงานการปนเปื้อนของสารหนูในอำเภอรัตนพิบูล จังหวัดนครศรีธรรมราช และ อำเภอบางสะพาน จังหวัดยะลา ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งพบว่าดินตัวอย่างใน อำเภอรัตนพิบูล และ อำเภอบางสะพาน มีความเข้มข้นของสารหนูในช่วง 21 - 14,000 mg g⁻¹ และ 540 -16,000 mg g⁻¹ ตามลำดับ จากนั้นจึงคัดเลือกพืชพื้นเมืองโดยมีหลักในการคัดเลือกคือ ต้องเป็นพืชที่มีความอดทนสูง มีความสามารถในการสะสมได้สูง มีช่วงชีวิตสั้น มีอัตราการแพร่พันธุ์ได้ดี มีรากที่ยาวและกระจายได้กว้าง ซึ่งทำ
ได้พืชทั้งหมด 36 species มาทดสอบและผลการทดลองพบว่า มีเฟิร์น 2 species คือ *Pityrogramma calomelanos* และ *Pteris vittata* มีความเหมาะสม ที่จะใช้เป็นพืชในการดูดซับ-บำบัดสารหนูโดยที่เฟิร์นสามารถสะสมสารหนูไว้ในใบได้ถึง 8,350 mg g⁻¹ (dry mass) และในการศึกษานี้พบว่ามีหญ้าพันธุ์ *Panicum* หรือ หญ้าชันกาด (*Panicum repens* Linn) ในพื้นที่วิจัยอำเภอรัตนพิบูล เป็นพืชหนึ่งที่สามารถสะสมอาร์เซนิกได้ถึง 40 µg g⁻¹ (dry mass) แต่ไม่พบในหญ้านชนิดนี้บริเวณพื้นที่ทำการวิจัยในอำเภอบางสะพาน

2.7 การใช้บึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์เป็นกระบวนการบำบัดทางชีวภาพโดยใช้พืชเป็นหลักในการบำบัด เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีประสิทธิภาพ ใช้ต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ ดูแลรักษาง่ายไม่ต้องการผู้เชี่ยวชาญ ไม่ต้องมีกระบวนการพิเศษเพิ่มเติม และไม่ใช้กระแสไฟฟ้าหรือสารเคมี จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าระบบบำบัดอื่นๆโดยทั่วไป

Mant et al (2005) ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์เพื่อกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนัง โดยระบบที่มีตัวกลาง คือ พืชน้ำ 3 ชนิดได้แก่ *Penisetum purpureum* ,*Brachiaria decumbens* และ *Phragmites australis* โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10 และ 20 mg Cr dm⁻³ เท่ากับความเข้มข้นของโครเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกหนัง และพบว่าระบบนี้สามารถกำจัดโครเมียมได้ 97– 99.6 % ใน 24 ชม. โดยที่ *P. purpureum*, *B. decumbens* และ *P.australis* สามารถกำจัดได้ 78.1% , 68.5% และ 56.7 %ใน 1 ชม. ตามลำดับ และยังพบว่า *P. purpureum* และ *B. decumbens* มีความทนทานต่อโครเมียมมาก โดยเฉพาะ *P. purpureum* มีศักยภาพในการกำจัดได้ดีกว่ามากเพราะเจริญเติบโตได้เร็ว มีมวลมากกว่า จึงมีความสามารถในการดูดซับได้ดีกว่า

ประนัตดา (2548) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมไหมด้วยบึงประดิษฐ์ โดยการปรับค่าพีเอช ความขุ่น ความนำไฟฟ้า บีโอดี ซีโอดี สี และอัตราการคายระเหย การทดลองใช้ บ่อที่ปลูก รุกฤาษี บ่อที่ปลูกกกกลม และบ่อที่ไม่ปลูกพืช พบว่าบ่อที่ปลูก รุกฤาษี และบ่อที่ปลูกกกกลมมีความสามารถในการบำบัดค่าพีเอช ความขุ่น การนำไฟฟ้า บีโอดี และซีโอดี ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยประสิทธิภาพการกำจัดในบ่อ รุกฤาษี ร้อยละ 15.3, 57.93, 25.63, 95.30, 71.83, และ 53.16 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดในบ่อ กกกลม ร้อยละ 13.59, 54.46, 29.03, 95.20, 74.18 และ 72.50 ตามลำดับ ส่วนอัตราการคายระเหยพบว่าโดยเฉลี่ยบ่อที่ปลูก รุกฤาษี มีอัตราการคายระเหยสูงกว่าบ่อที่ปลูก กกกลม และบ่อที่ไม่ปลูกพืช คือ 1.47, 1.35 และ 0.065 ซ.ม./วัน ตามลำดับ

วิชานันท์ (2545) การดึงดูดสารหนูที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้เฝือกและบอน ศึกษาและเปรียบเทียบสารหนูของเฝือกและบอนที่ความเข้มข้นของสารหนูในดินแตกต่างกัน และศึกษาประสิทธิภาพของ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสะสมสารหนู ทำการทดลองเป็นเวลา 100 วัน พบว่า พืชทั้ง 2 ชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีและอยู่รอดทั้งสองชนิดสารหนูที่ความเข้มข้น 100-200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สารหนูมีการสะสมมากที่สุดที่ราก รองลงมา คือ หัว ก้านใบ และใบ ตามลำดับ และ EDTA สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสะสมสารหนูของพืชทั้งสองชนิดได้มากที่สุดที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบในเฝือก 40.34 มิลลิกรัม และในบอนมี 46.79 มิลลิกรัม

บทที่ 3 อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์

- ขวดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน ขนาดบรรจุ 50 มิลลิลิตร
- ถังพลาสติกขนาด 23x29x19 เซนติเมตร - Volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร
- บีกเกอร์ขนาดต่างๆ - แท่งแก้ว
- Volum pipette - Pipette ขนาดต่างๆ
- ถังพลาสติกขนาด 50 ลิตร - เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง
- กระดาษกรอง Filter Arsine generator
- Scrubber ,absorption tube เครื่องกวนผสม
- Spectrophotometer (Pharmacia Biotech Novaspec II)

สารเคมี

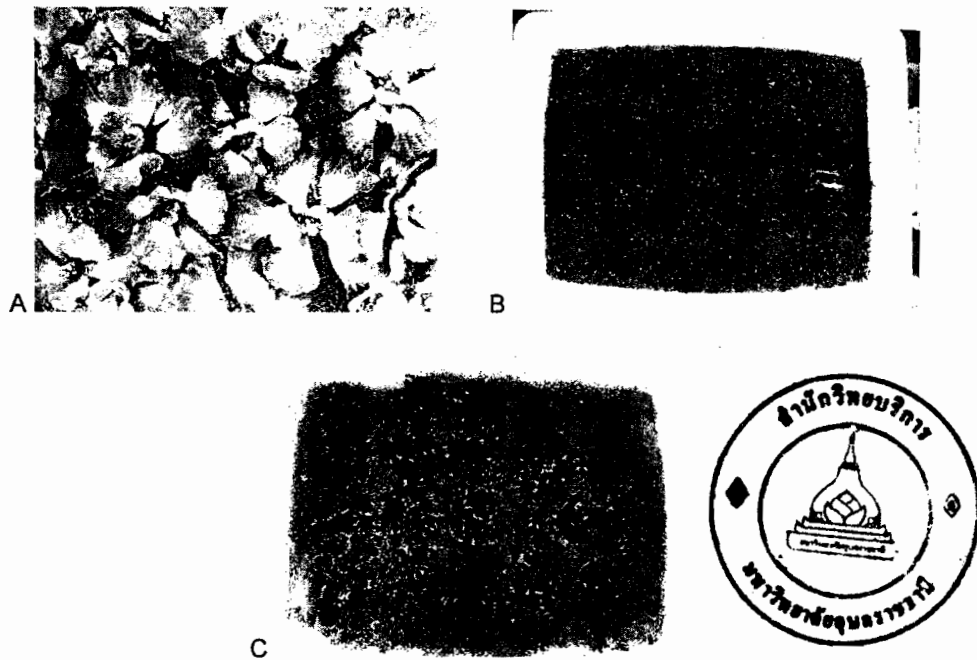
- น้ำ DI Nitrogen gas
- Arsenic standard solution Acetate buffer
- Sodium acetate trihydrate บริษัท Guangzhou Jinhuada Chemical Factory Co.,Ltd.China
- Acetic acid
- Sodium borohydride (LAB Chem) ยี่ห้อ ALSO REFER MSDS
- Lead acetate ยี่ห้อ Ajax Finechem Pty Ltd.(Analytical reagent)
- Silver Diethyldithiocarbamate
- Chloroform ยี่ห้อ BDH Analar บริษัท Interational Ltd. Poole,England
- Nitric acid 70% ยี่ห้อ Ajax Finechem Pty Ltd.(Analytical reagent)

พืชที่ใช้ในการทดลอง

จอกผักกาด แหน สำหรับย้ายทางกระรอก

วิธีทดลอง

3.1 การคัดเลือกพีชน้ำ การเตรียมพีชน้ำ และการเปรียบเทียบคุณสมบัติของพีชน้ำที่ใช้ในการทดลอง
สำรวจและเก็บตัวอย่างพีชน้ำจากแหล่งน้ำในเขตมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัด
อุบลราชธานี ได้แก่จอกผักกาด แหน สาหร่ายหางกระรอก โดยจอกผักกาด จะเลือกต้นที่ยังไม่ออกดอก มีใบ
ประมาณ 10-15 ใบ (ขนาด 15-20 กรัม/ต้น) สำหรับแหนและสาหร่ายหางกระรอกเก็บมาจากบ่อเรือนแพะชำ
คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี นำมาเลี้ยงไว้ในน้ำประปาที่ปล่อยทิ้ง
ไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อปรับสภาพก่อนทำการทดลอง ประมาณ 1 สัปดาห์ ดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1: ลักษณะพีชน้ำก่อนทำการทดลอง

A: จอกผักกาด B: แหนแดง C: สาหร่ายหางกระรอก

จากนั้นจึงศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติที่ใช้ในการคัดเลือกพีชน้ำที่เหมาะสมในบ่อบำบัดสารหนูในน้ำนั้นโดย
พิจารณาจาก

- เป็นพืชพื้นถิ่น
- มีความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่
- มีความยาวของรากที่เหมาะสม
- ความยาก-ง่ายในการเก็บกวาดออกจากแหล่งน้ำ

3.2 . การเตรียมบ่อเพาะเลี้ยงและการเพาะเลี้ยงพืชทดสอบ

เพื่อให้พืชน้ำมีจำนวนมาเพียงพอต่อการทดสอบ ดังนั้นจึงต้องศึกษาเพื่อหาวิธีในการเพาะเลี้ยงพืชน้ำทดสอบในบ่อเพาะเลี้ยงให้เพิ่มจำนวนที่สุด เพื่อใช้เป็นพืชน้ำในการทดสอบการดูดซับสารหนูในน้ำต่อไป

3.3. การออกแบบบ่อทดสอบ:

ศึกษาหาภาชนะที่มีความเหมาะสมในการใช้เป็นบ่อทดสอบจำลองขนาดเล็ก เพื่อใช้ในการบรจน้ำเสีย

สังเคราะห์ที่มีสารหนูความเข้มข้น 100 µg/L ในการทดลอง และทดสอบการดูดซับสารหนูโดยพืชน้ำในบ่อ

จำลอง ซึ่งจะทำการตรวจวัดปริมาณสารหนูในน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด แสดงดังภาพที่ 3-1

3.4 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์และการศึกษาการดูดซับสารหนูโดยพืชน้ำ

3.4.1 วิธีการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำที่มีสารหนูที่มีความเข้มข้น 100 µg/ml จำนวน 45 ลิตรในถังขนาด 50 ลิตร แล้วแบ่งใส่ถัง

พลาสติกที่มีขนาด 23x29x19 เซนติเมตร จำนวน 9 ถัง ๆ ละ 5 ลิตร

3.4.2 วิธีการศึกษาการดูดซับสารหนูโดยพืชน้ำ

นำจอกผักกาด แหน และสาหร่ายหางกระรอก มาชั่งน้ำหนักชนิดละ 105 กรัม แล้วนำพืชน้ำแต่ละชนิด

ใส่ในถังน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารหนูความเข้มข้นเริ่มต้น 100 µg/ml เป็นเวลา 3 สัปดาห์ จากนั้นจึงติดตามผล

การทดลองใน 2 รูปแบบได้แก่ ศึกษาผลของสารหนูต่อการเจริญของพืชน้ำ และ ศึกษาการดูดซับสารหนูโดยพืชน้ำโดยที่

น้ำโดยที่

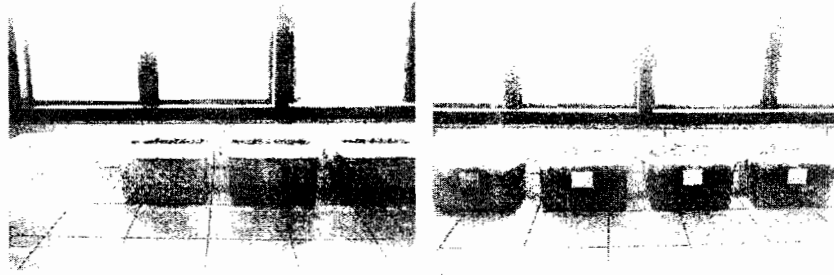
- ศึกษาผลของสารหนูต่อการเจริญของพืชน้ำ : ทำการศึกษาผลของสารหนูต่อการเจริญของพืชน้ำโดย

การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักพืชน้ำในวันที่ 0 และวันที่ 21 ของการทดลอง

- ศึกษาการดูดซับสารหนูโดยพืชน้ำ: เก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่างในวันที่ 0 1 2 3 4 5 6 7 14 และ 21

วัน ตามลำดับ โดยใช้ปิเปตดูดน้ำมาปริมาณ 100 มิลลิลิตรใส่ขวดพลาสติกชนิดโพลีเอธิลีน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

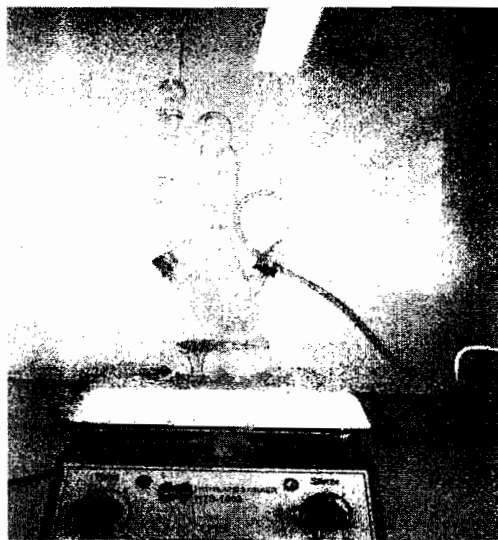
และเทียบกับการทดลองควบคุมคือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่ใส่พืชน้ำ



ภาพที่ 3-2: ตัวอย่างพีรน้ำที่ใช้ดูดซับสารหนูเป็นเวลา 21 วัน

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู สามารถวัดปริมาณสารหนูโดยใช้วิธี Silver

Diethyldithiocarbamate Method ดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-3: การวิเคราะห์สารหนูโดยใช้วิธี Silver Diethyldithiocarbamate Method

โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์สารหนู แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้คือ

การวิเคราะห์หาปริมาณ Arsenite

1) การเตรียม Scrubber และ Absorber

จุ่ม glass wool ลงในสารละลาย lead acetate แล้วใช้ที่คีบหนีบ glass wool ตะบองกระดาศกรอง แล้วกดให้กระดาศกรองจับสารละลายส่วนที่เกินออกมา ซึ่งจะทำให้ gas wool พองออกเหมือนเดิม วาง gas wool ลงใน scrubber tube เติมสารละลาย Silver Diethyldithiocarbamate ปริมาณ 4 ml ลงใน absorber tube

2.) การเตรียม Arsine generator

ดูดสารละลายตัวอย่าง arsenite (ความเข้มข้นไม่เกิน 20 ไมโครกรัม) ปริมาณไม่เกิน 70 มิลลิลิตร ใส่ลงใน generator flask เติม acetate buffer ลงไป 10 มิลลิลิตร ทำความสะอาด flask ด้วยการปล่อยแก๊สไนโตรเจน (60 ml/min)

3.) การใช้เครื่อง Arsine generator และขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขณะที่แก๊สไนโตรเจนได้ผ่านเข้ามาในเครื่องแล้ว ใช้เข็มฉีดยาตัวอย่างขนาด 30 มิลลิลิตร ฉีดสารละลาย 1% Sodium Borohydride ปริมาณ 15 มิลลิลิตร เข้าไปใน Septum เป็นเวลา 2 นาที ผสมสารละลายต่าง ๆ ให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย Magnetic stirrer แล้วปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้าเครื่องเป็นเวลา 15 นาที เทสารละลายตัวอย่างที่ได้ (Absorber solution) ลงใน spectrophotometric cells ที่แห้งและสะอาดแล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับ Chloroform (Blank)

ถ้า glass wool ที่ชุ่มไปด้วย Lead acetate จะทำให้ไม่สามารถไล่แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์มาแทนที่ glass wool ได้ หากมีสีเทาหรือดำ จะทำให้การวัดไม่ได้ผล ควรปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้าเครื่อง 60 ml/min ค่อยๆ เติม HCLที่มีความเข้มข้น 2.0 N ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในน้ำตัวอย่างด้วยวิธี Silver Diethyldithiocarbamate Method จะทำการทดลองใน Fume Hood เพื่อความปลอดภัย

4.) การเตรียมกราฟสารละลายมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นดังนี้ 0.0 -70 µg/L ตามลำดับ

5.) การวัดปริมาณสารหนูในน้ำตัวอย่างโดยใช้เครื่อง spectrophotometer

ตั้งค่า spectrophotometer บริษัท Pharmacia Biotech Novaspec 2 ไว้ที่ค่าดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร ใช้ spectrophotometer cell ที่มีขนาด 1 เซนติเมตร ที่สะอาดและแห้ง ควรปิดด้วย TFE เพื่อป้องกัน Chloroform ระเหยออกมา แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่างโดยคำนวณหาปริมาณสารหนูที่เหลืออยู่ในน้ำตามวิธีใน American Public Health Association ,American Water Works Association and water Pollution Control Federation (APHA,AWWA and WPCF).1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th.Editor 1998 (Arsine) Silver Diethyldithiocarbamate .

3.5 การคำนวณประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารหนู

ร้อยละการลดปริมาณสารหนูเริ่มต้น = (ความเข้มข้นของปริมาณสารหนูเริ่มต้น - ความเข้มข้นของปริมาณสารหนูที่เหลือ) / ความเข้มข้นของปริมาณสารหนูเริ่มต้น $\times 100$

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 พืชที่ใช้ในการทดลอง

ทำการคัดเลือกพืชน้ำที่เหมาะสมในบำบัดสารหนูในน้ำนั้นพิจารณาจากข้อเด่นต่างดังต่อไปนี้

- เป็นพืชพื้นถิ่น
- มีความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่
- มีความยาวของรากที่เหมาะสม
- ความยาก-ง่ายในการเก็บกวาดออกจากแหล่งน้ำ

ซึ่งมีพืชน้ำที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกันได้แก่ จอกผักกาด แหนแดง และสาหร่ายหางกระรอก ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1. จอกผักกาด

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Pistia stratiotes* Linn. วงศ์ : ARACEE

ชื่อสามัญ: Water lettuce, Shell flower, Tropical duck weed

ชื่อพื้นบ้าน: จอกผักกาด จอก (ภาคกลาง) กากอก (ภาคเหนือ) ผักกอก (เชียงใหม่)

ลักษณะทั่วไป: จอกผักกาดเป็นพืชน้ำของประเทศไทยซึ่งอยู่ในวงศ์เผือกและบอน เป็นพืชล้มลุกหลายฤดู ลำต้นสั้น มีไหลขึ้นแทรกและแตกแขนงทอดยาวขนานกับผิวน้ำ ใบเดี่ยวเป็นแผ่นกว้าง เวียนเป็นเกลียวรอบต้น คล้ายผักกาดสีเขียว อยู่บนผิวน้ำมีรากเป็นฝอย มีการกระจายพันธุ์ทั่วไปในเขตร้อน ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อใหม่จากไหล เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเพิ่มปริมาณมาก ซึ่งกลายเป็นปัญหาในแหล่งน้ำในปัจจุบัน แต่มีการนำจอกผักกาดมาใช้ประโยชน์โดยการนำมาเลี้ยงตกแต่งตู้ปลาและอ่างบัว

4.2.2. แหนแดง

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Azolla* spp. วงศ์ : Azollaceae Wettst

ชื่อสามัญ: แหนแดง (*Azolla*, Water fern, Water velvet) ชื่อพื้นบ้าน: แหนแดง

ลักษณะทั่วไป: แหนแดงเป็นพืชน้ำขนาดเล็ก พวงเฟิร์น เจริญอยู่บนผิวน้ำในน้ำที่มีน้ำขังในเขตร้อนและอบอุ่น อยู่ในกลุ่มพืชประเภทลอยน้ำ ประกอบด้วย ลำต้น ราก และใบ มีกิ่งแยกออกจากลำต้นใบเกิดออกตามกิ่งเรียงสลับกันไปแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ใบบน(dorsal lobe) และใบล่าง (ventral lobe) มีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งรากแขนงของแหนแดงจะห้อยลงน้ำในแนวตั้ง เนื่องจากแหนแดงมีใบเป็นโพรงใบและมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอาศัยอยู่แบบพึ่งพา สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ

เปลี่ยนเป็นสารประกอบในรูปของแอมโมเนียที่เป็นประโยชน์ต่อแหนแดง ทำให้แหนแดงเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีองค์ประกอบของไนโตรเจนสูง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อพืชชนิดอื่นหรือจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ และนำมาใช้เป็นปุ๋ยพืชสดบำรุงดินในนาข้าวทดแทนการใช้ปุ๋ยสารเคมีในโตรเจนได้

4.2.3. สาหร่ายหางกระรอก

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle วงศ์: HYDROCHARITACEAE

ชื่อสามัญ: Hydrilla ชื่อพื้นบ้าน : สาหร่ายหางกระรอก

ลักษณะทั่วไป: สาหร่ายหางกระรอกเป็นพืชใต้น้ำ ชอบขึ้นอยู่ตามคูน้ำ หนองบึง อ่างเก็บน้ำทั่วไป ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ลำต้นมีลักษณะเรียวยาว มีรากยึดติดกับพื้นดินซึ่งบางครั้งอาจลอยอยู่ในน้ำ ใบเป็นแผ่นบางเรียวยาวขนาดเล็ก แตกรอบข้อของลำต้นเป็นชั้นๆ ละ 3-8 ใบ ดอกออกตามซอกใบ ลักษณะดอกตัวผู้สั้น ส่วนดอกตัวเมียมีก้านดอกยาวช่วยส่งให้ดอกขึ้นมาบนเหนือน้ำ สาหร่ายหางกระรอกใช้ปลูกประดับในตู้ปลา และเป็นอาหารของปลา

4.2. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของพืช และการเตรียมพีชน้ำ:

ดังที่กล่าวในข้อ 4.1 เกี่ยวกับคุณสมบัติที่ใช้ในการคัดเลือกพีชน้ำที่เหมาะสมในบำบัดสารหนูในน้ำโดย

พิจารณาจาก

- เป็นพืชพื้นถิ่น
- มีความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่
- มีความยาวของรากที่เหมาะสม
- ความยาก-ง่ายในการเก็บกวาดออกจากแหล่งน้ำ

ซึ่งพบว่าเมื่อเปรียบเทียบพีชน้ำที่มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกันได้แก่ จอกผักกาด แหนแดง และสาหร่ายหางกระรอก แล้วพบว่าพีชน้ำทั้ง 3 ชนิดมีคุณสมบัติเด่นและด้อยต่างกันออกไปคือ

- จอกผักกาดมีคุณสมบัติที่ดีกว่าแหนแดง คือ จอกผักกาดมีรากยาว และมีขนาดใหญ่อาจส่งทำให้สามารถดูดซับโลหะหนักในแหล่งน้ำได้ดีกว่าแหนแดงที่มีรากสั้น และมีขนาดเล็ก (ดังแสดงในภาพที่ 4-1) แต่มีความสามารถในการกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าแหนแดง



ภาพที่ 4-1: เปรียบเทียบขนาดและความยาวรากของจอกผักกาดและแทนแดง

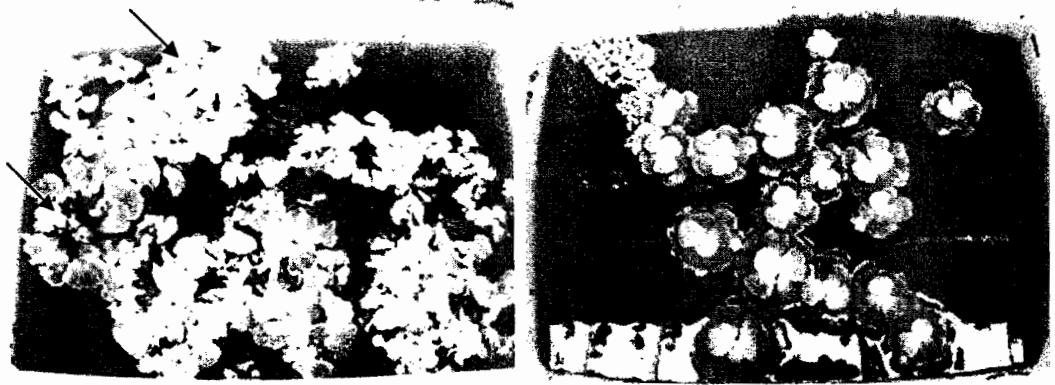
- แทนแดงมีขนาดเล็ก รากสั้น แต่สามารถรากลงตัวได้ครอบคลุมบริเวณของน้ำได้ดีกว่าจอกผักกาด
- สาหร่ายทางกระรอกมีข้อเด่น คือ ทุกส่วนของพืชอยู่ในน้ำซึ่งอาจทำให้สามารถดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำได้ แต่มีข้อเสียคือเมื่อใช้ในสภาวะแวดล้อมจริงอาจไม่สามารถเจริญแข่งกับพืชท้องถิ่นที่เจริญครอบคลุมส่วนบนของผิวน้ำได้

ดังนั้นจึงใช้พืชทั้ง 3 ชนิดมาใช้เป็นพืชทดสอบโดยเริ่มจากการนำพืชน้ำดังกล่าวมาเพาะเลี้ยงในบ่อเลี้ยง ก่อนคัดพืชที่มีขนาดเท่ากันไปปลูกในบ่อทดลองเพื่อใช้เป็นตัวกลางในการดูดซับสารหนูต่อไป

4.3 การเตรียมบ่อเพาะเลี้ยงและการเพาะเลี้ยงพืชทดสอบ

ใช้กล่องพลาสติก 23x29x19 เซนติเมตร เป็นภาชนะในการปลูกพืชน้ำทดสอบ โดยในบ่อเพาะเลี้ยงจะมี น้ำ ดิน และ พืชน้ำ จากนั้นจะปล่อยให้เพิ่มจำนวนจนได้จำนวนมากที่สุดเพื่อใช้เป็นพืชน้ำในการทดสอบการดูดซับสารหนูในน้ำ

ผลการเพาะขยายพันธุ์พืชน้ำ: พบว่าสามารถเพาะเลี้ยงพืชน้ำได้พบว่าพืชมีการเจริญ ยกเว้นจอกผักกาดสามารถเพิ่มจำนวนในบ่อเพาะเพาะเลี้ยงได้ระยะหนึ่งก่อนมีการเปลี่ยนสีของใบเป็นสีน้ำตาล และ ตาย ภายในเวลาต่อมา ซึ่งทำการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่าจะต้องทำการทำการล้างดินก่อนนำมาปลูกโดยการแช่ดินด้วยน้ำเปล่า 1 อาทิตย์ จึงนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงซึ่งพบว่าสามารถแก้ไขปัญหการตายของจอกผักกาดได้ (ดังแสดงในภาพที่ 4-2)



ก. ปลูกด้วยดินที่ไม่ได้ผ่านการแช่น้ำ

ข. ปลูกด้วยดินที่ผ่านการแช่น้ำ 1 อาทิตย์

ภาพที่ 4-2: การเพาะเลี้ยงจอกผักกาดในบ่อใส่ดินที่ผ่านการแช่น้ำและไม่ผ่านการแช่น้ำ

4.4. การออกแบบบ่อทดสอบ:

การทดลองเป็นแบบจำลองขนาดเล็ก โดยใช้กล่องพลาสติกขนาด 38 X 57 X 30 เซนติเมตร เป็นภาชนะในการทดสอบการดูดซับสารหนู โดยปลูกพีชน้ำ (จอกผักกาด) ในบ่อจำลองที่มีน้ำเสียสังเคราะห์ (โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารหนูความเข้มข้น 100 µg/L ในการทดลอง) ที่มีความสูง 20-25 เซนติเมตรและมีน้ำท่วมขังได้ตลอดการทดลอง (21 วัน) ซึ่งจะทำให้การตรวจวัดปริมาณสารหนูในน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด

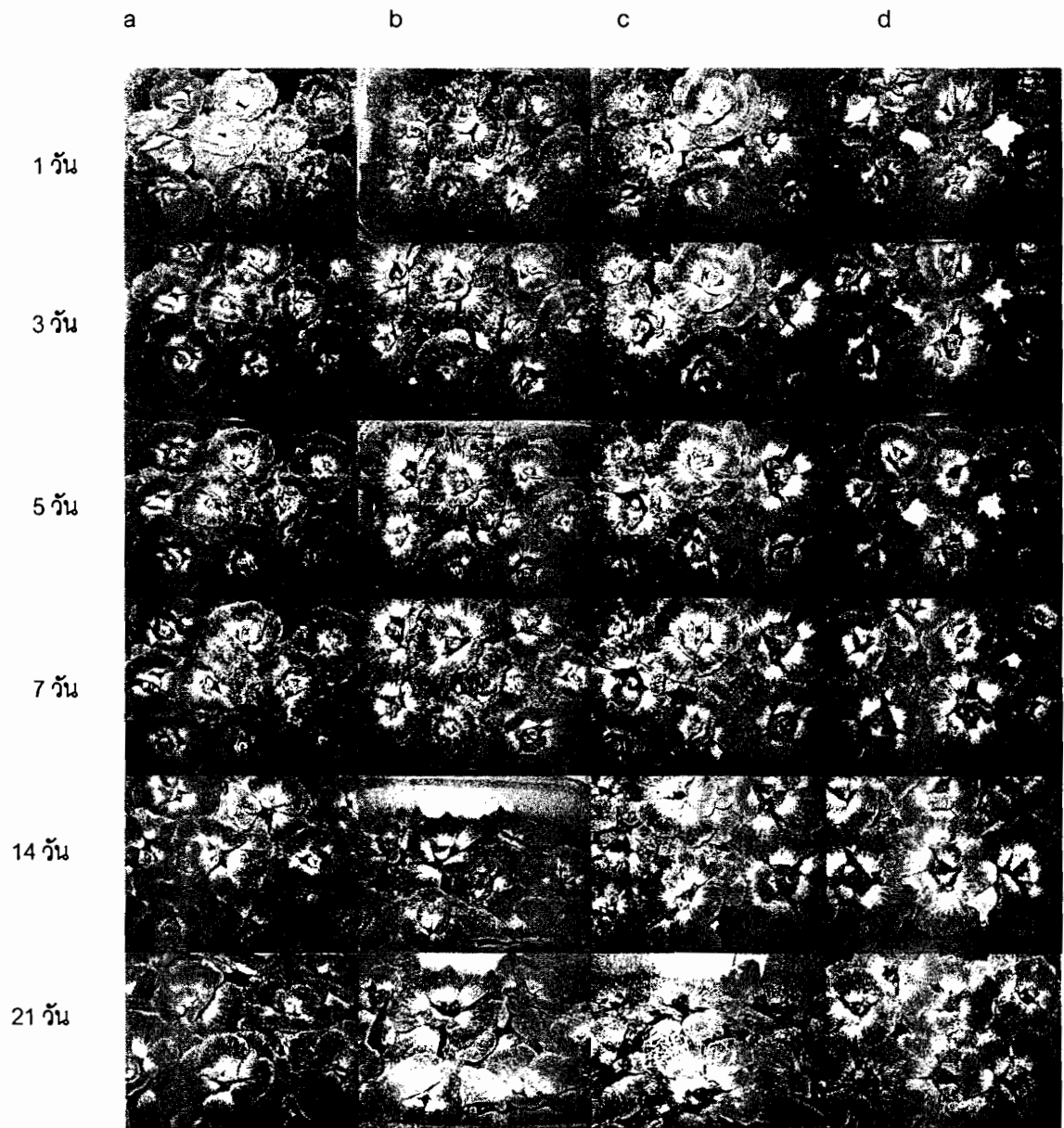
4.5. ศึกษาผลของสารหนูต่อการเจริญของพีชจอกผักกาด

4.5.1. การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารหนูที่ส่งผลต่อการเจริญของพีชน้ำ (จอกผักกาด)

ทำการศึกษาระดับความเข้มข้นสารหนูในน้ำที่ส่งผลต่อการเจริญของพีชน้ำ ในการทดลองนี้จะใช้จอกผักกาดเป็นพืชตัวอย่างสำหรับการทดสอบเบื้องต้น โดยใช้ความเข้มข้นสารหนูที่ 10 เท่าของค่ามาตรฐานปริมาณสารหนูในน้ำ (ไม่เกิน 10 µg/L) ซึ่งเท่ากับ 100 µg/L นั้นเอง วัดผลการทดลองโดยบันทึกภาพและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพีชน้ำ และทำการคำนวณหามวลชีวภาพของพีชน้ำ โดย

$$\text{มวลชีวภาพของพีชน้ำ} = \text{มวลชีวภาพวันที่ 21} - \text{มวลชีวภาพวันที่ 1}$$

ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-3 และ ตารางที่ 4-1



ภาพที่ 4-3: ลักษณะการเจริญเติบโตของจอกผักกาดในน้ำที่ปนเปื้อนสารหนูเป็นเวลา 21 วัน

a หมายถึง จอกผักกาดที่ใช้เป็นตัวควบคุมไม่ใส่สารหนูในน้ำ

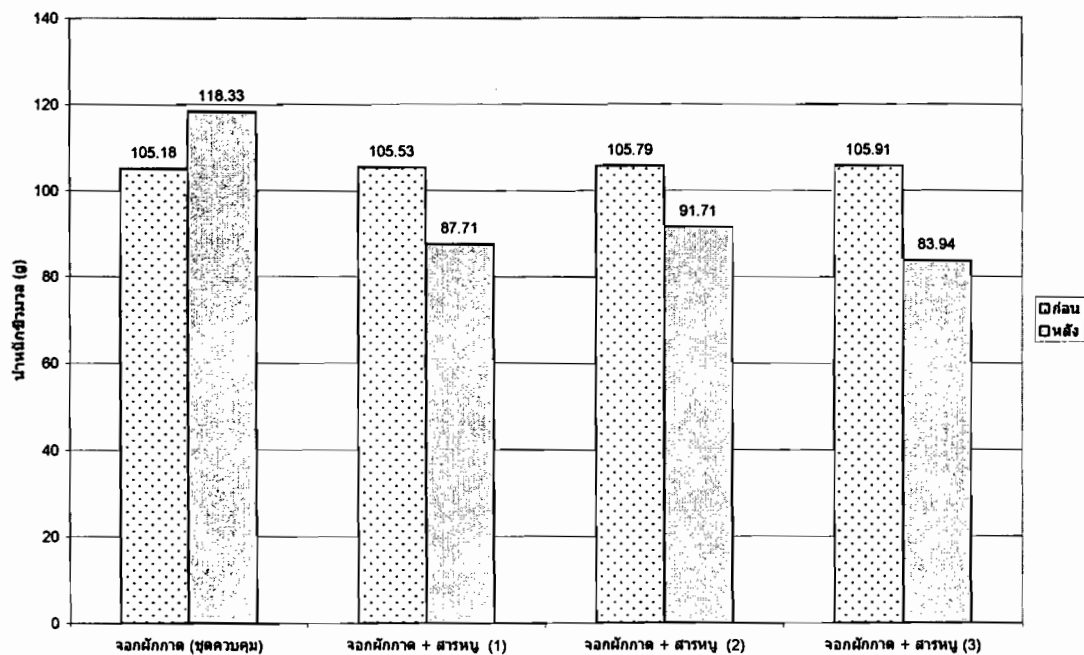
b หมายถึง จอกผักกาดที่มีสารหนูปนเปื้อนในน้ำในถังทดลองที่ 1

c หมายถึง จอกผักกาดที่มีสารหนูปนเปื้อนในน้ำในถังทดลองที่ 2

d หมายถึง จอกผักกาดที่มีสารหนูปนเปื้อนในน้ำในถังทดลองที่ 3

ตารางที่ 4-1: การเปรียบเทียบมวลชีวภาพของพีชีน้ำก่อนและหลังการลดความเข้มข้นสารหนู

| ชนิดตัวอย่าง | น้ำหนักพีชีก่อนการบำบัด (กรัม) | น้ำหนักพีชีหลังการบำบัด (กรัม) | มวลของพีชีน้ำ |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| ถังควบคุม | 105.18 | 118.33 | 13.15 |
| น้ำ + สารหนูถึงที่ 1 | 105.53 | 87.71 | -17.82 |
| น้ำ + สารหนูถึงที่ 2 | 105.79 | 91.71 | -14.08 |
| น้ำ + สารหนูถึงที่ 3 | 105.91 | 83.94 | -21.97 |

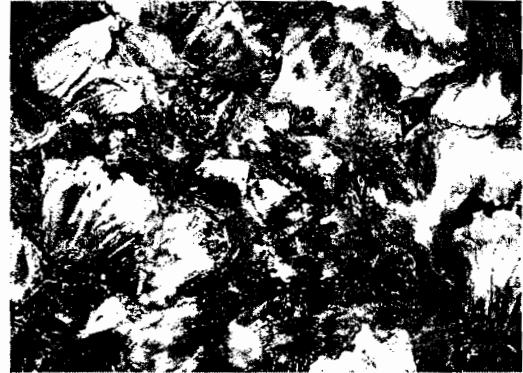


ภาพที่ 4-4: มวลชีวภาพของจอกผักกาดในน้ำ และน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 100 µg/L เป็นเวลา 0 - 21 วัน

จากการทดลองพบว่า ในเวลา 21 วันจอกผักกาดที่เลี้ยงในถังน้ำที่ไม่ได้เติมสารหนู (ถังควบคุม) มีมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นจากเดิม 13.15 กรัม โดยพบว่าจอกผักกาดมีใบที่ใหญ่ขึ้นและเขียวมากกว่าการทดลองเลี้ยงในน้ำระยะเริ่มต้นและบริเวณขอบใบมีสีเหลืองส้มอยู่เล็กน้อยบริเวณขอบใบ แต่ในขณะที่จอกผักกาดที่เลี้ยงในถังน้ำมีสารสารหนูเข้มข้นเท่ากับ 100 µg/L พบว่ามีการลดลงของมวลชีวภาพโดยมีค่าเฉลี่ยของการลดอยู่ที่ 17.956 กรัม (คำนวณจากค่า 17.82, 14.08 และ 21.97 กรัม. ดังแสดงในตารางที่ 4-1) ลักษณะภายนอกไม่มีการ

เปลี่ยนแปลง ไบยังคงมีสีเขียว สามารถพบการตายในบางส่วนของใบและต้น พบใบแก่ที่มีสีเหลือง และพบ
บางส่วนของใบที่ตายและเน่า

จากนั้นจึงเพิ่มความเข้มข้นของสารหนูเป็น 20 เท่า ของค่ามาตรฐานหรือ 200 $\mu\text{g/L}$ ผลการทดลอง
พบว่าใบของจอกผักกาดจะเหี่ยว รากและใบจะเริ่มเน่า ไบมีสีเหลืองซีด และตายจนหมดภายใน 7 วัน ดังแสดง
ในภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5: จอกผักกาดตายเพราะสารหนูในน้ำเกินค่ามาตรฐาน 20 เท่าในระยะเวลา 5-7 วัน

ดังนั้นจึงใช้ค่าความเข้มข้นที่ 10 เท่าของค่ามาตรฐานหรือ 100 $\mu\text{g/L}$ เป็นค่าความเข้มข้นเริ่มต้นในการ
ทดสอบการดูดซับสารหนูโดยพืชน้ำ

4.3.2. ศึกษาผลของสารหนูต่อการเจริญของพืชน้ำ

นำพืชน้ำทดสอบแต่ละชนิดจากบ่อเพาะเลี้ยงมาชั่งน้ำหนักชนิดละ 105 กรัม แล้วนำพืชน้ำแต่ละชนิด
ใส่ในถังน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารหนูความเข้มข้นเริ่มต้น 100 $\mu\text{g/L}$ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ทำการชั่งน้ำหนักของพืช
น้ำเพื่อวัดการเจริญเติบโตของพืชน้ำ และถ่ายรูปการเปลี่ยนแปลงของพืชน้ำตามเวลาที่กำหนด ผลการทดลอง
แสดงดังภาพ 4-6 ถึง ภาพที่ 4-9

จอกผักกาด

วันที่ 1



บ่อควบคุม



บ่อทดสอบที่ 1



บ่อทดสอบที่ 2



บ่อทดสอบที่ 3

วันที่ 7



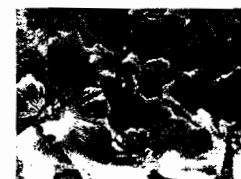
บ่อควบคุม



บ่อทดสอบที่ 1



บ่อทดสอบที่ 2



บ่อทดสอบที่ 3

วันที่ 14



บ่อควบคุม



บ่อทดสอบที่ 1



บ่อทดสอบที่ 2



บ่อทดสอบที่ 3

วันที่ 21



บ่อควบคุม



บ่อทดสอบที่ 1



บ่อทดสอบที่ 2

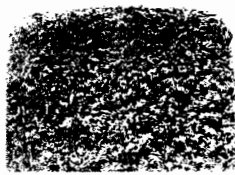


บ่อทดสอบที่ 3

ภาพที่ 4-6: การเจริญเติบโตของจอกผักกาดในน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 100 $\mu\text{g/ml}$ เป็นเวลา 0 - 21 วัน

แหวนแดง

วันที่ 0



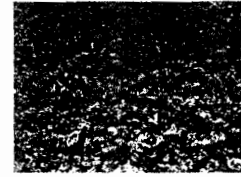
บ่อควบคุม



บ่อทดสอบที่ 1

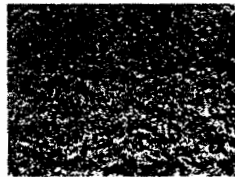


บ่อทดสอบที่ 2

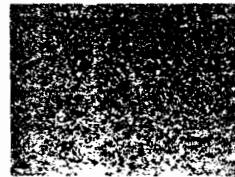


บ่อทดสอบที่ 3

วันที่ 7



บ่อควบคุม



บ่อทดสอบที่ 1

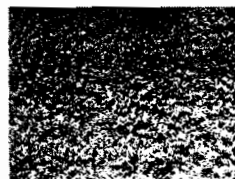


บ่อทดสอบที่ 2

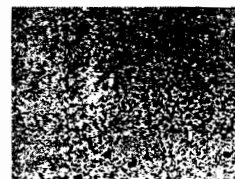


บ่อทดสอบที่ 3

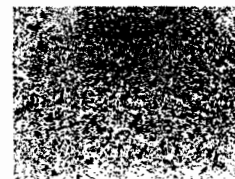
วันที่ 14



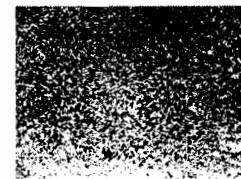
บ่อควบคุม



บ่อทดสอบที่ 1



บ่อทดสอบที่ 2

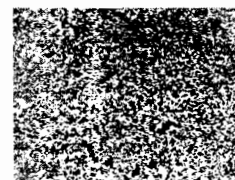


บ่อทดสอบที่ 3

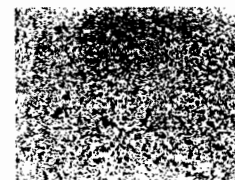
วันที่ 21



บ่อควบคุม



บ่อทดสอบที่ 1



บ่อทดสอบที่ 2



บ่อทดสอบที่ 3

ภาพที่ 4-7: การเจริญเติบโตของแหวนแดงในน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 100 µg/ml เป็นเวลา 0 - 21 วัน

สาหร่ายหางกระรอก

วันที่ 1



ป๋อควบคุม



ป๋อทดสอบที่ 1



ป๋อทดสอบที่ 2

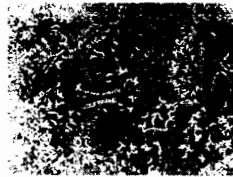


ป๋อทดสอบที่ 3

วันที่ 7



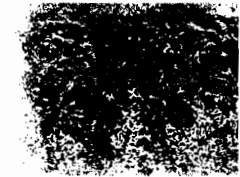
ป๋อควบคุม



ป๋อทดสอบที่ 1

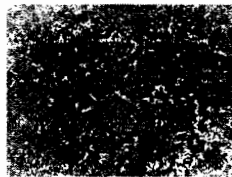


ป๋อทดสอบที่ 2

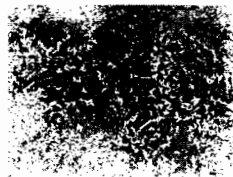


ป๋อทดสอบที่ 3

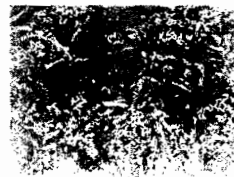
วันที่ 14



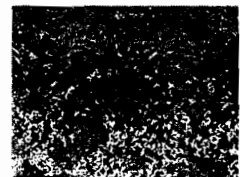
ป๋อควบคุม



ป๋อทดสอบที่ 1



ป๋อทดสอบที่ 2

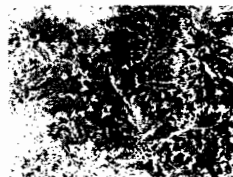


ป๋อทดสอบที่ 3

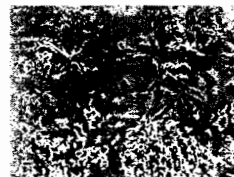
วันที่ 21



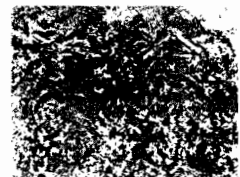
ป๋อควบคุม



ป๋อทดสอบที่ 1



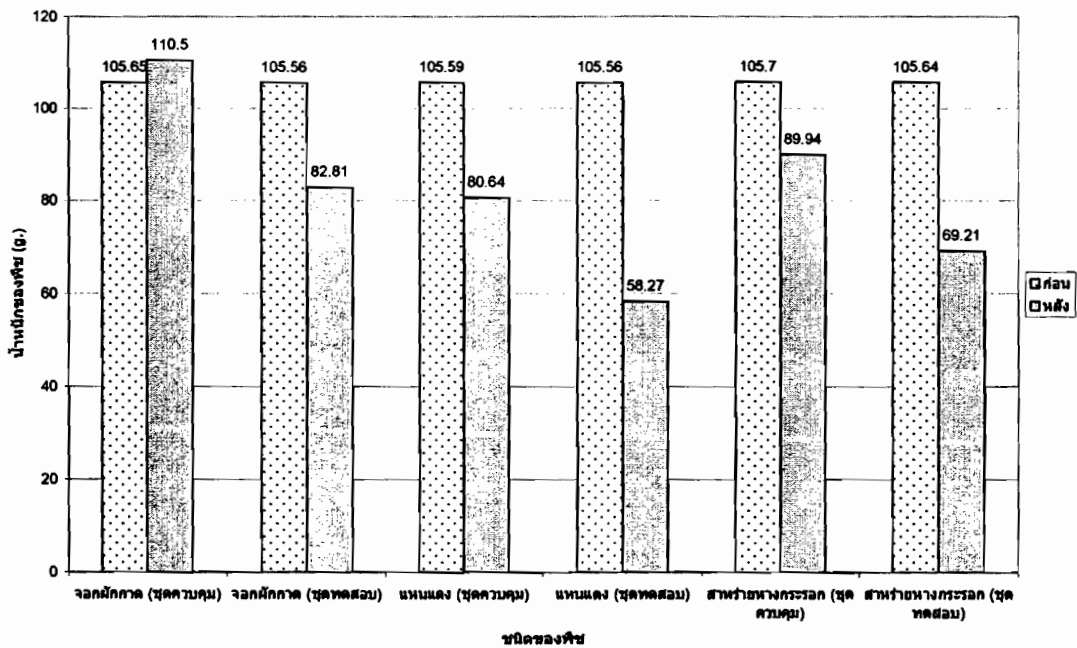
ป๋อทดสอบที่ 2



ป๋อทดสอบที่ 3

ภาพที่ 4-8: การเจริญเติบโตของสาหร่ายหางกระรอกในน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 100 µg/ml เป็นเวลา 0 - 21 วัน

เมื่อทำการชั่งน้ำหนักเพื่อวัดการเจริญเติบโตของพีชน้ำ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพที่



ภาพที่ 4-9: การเจริญเติบโตของพีชน้ำทั้ง 3 ชนิดในน้ำที่มีสารหนูเข้มข้น 100 µg/L เป็นเวลา 0 - 21 วัน

จากภาพที่ 4-9 : พบว่าของพีชน้ำทั้ง 3 ชนิด คือ จอกผักกาด แหนแดง และสาหร่ายหางกระรอก ทั้งชุดควบคุมและชุดทดสอบมีการเจริญที่เปลี่ยนแปลงและแตกต่างกันออกไป โดยพบว่าในพีชทั้ง 3 ชนิดในชุดควบคุมนั้นจอกผักกาดมีการเจริญที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่แหนแดง และสาหร่ายหางกระรอกมีการลดลงของน้ำหนักมวลชีวภาพบางส่วน โดยแหนแดง และสาหร่ายหางกระรอกมีน้ำหนักมวลชีวภาพลดลงเท่ากับ 80.64 และ 89.94 กรัม ตามลำดับ

สำหรับในชุดทดสอบการดูดซับสารหนูพบว่าพบว่ามีพีชน้ำทั้ง 3 ชนิด มีการเจริญที่ลดลงอย่างชัดเจนโดยที่แหนแดงมีการลดลงของน้ำหนักมวลชีวภาพมากที่สุดเท่ากับ 47.29 กรัมในขณะที่สาหร่ายหางกระรอกและจอกผักกาดมีการลดลงของน้ำหนักมวลชีวภาพที่สุดเท่ากับ 36.43 และ 22.75 กรัม ตามลำดับ

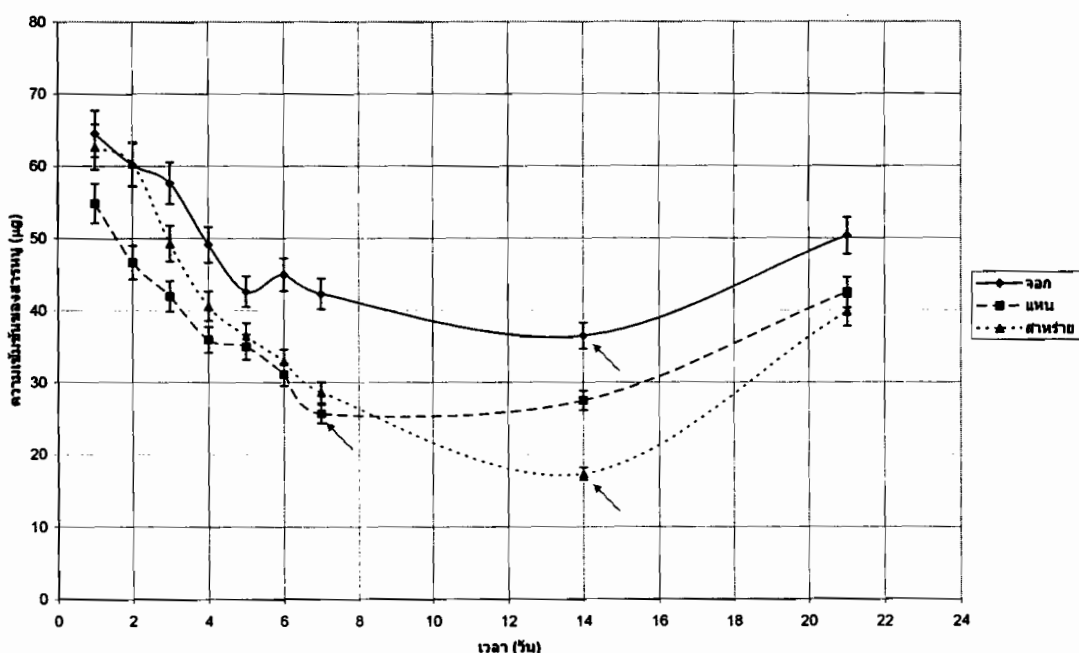
4.6 ศึกษาการลดความเข้มข้นของสารหนูโดยพีชน้ำ

จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่างในวันที่ 0 1 2 3 4 5 6 7 14 และ 21 วัน ตามลำดับ โดยใช้ปิเปตตูดน้ำมาปริมาณ 100 มิลลิลิตรใส่ขวดพลาสติกชนิดโพลีเอธิลีน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ 520 nm และนำการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาความเข้มข้นของสารหนูที่มีในน้ำ สำหรับผลการทดลองทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4-2 และภาพที่ 4-10

ตารางที่ 4-2: ความเข้มข้นของสารหนู ($\mu\text{g/ml}$) ในน้ำหลังจากบำบัดด้วยพีซีซีเป็นระยะเวลา 21 วัน

| ชนิดพีซีซี/ | ความเข้มข้นของสารหนูในน้ำ ($\mu\text{g/ml}$) | | | | | | | | |
|------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 14 | 21 |
| จอกผักกาด | 64.481 | 60.147 | 57.647 | 49.147 | 42.647 | 44.981 | 42.347 | 36.481 | 50.314 |
| แหวนแดง | 54.814 | 46.647 | 41.981 | 35.964 | 34.981 | 31.131 | 25.647 | 27.481 | 42.481 |
| สาหร่ายหางกระรอก | 62.647 | 60.314 | 49.314 | 40.647 | 36.481 | 32.981 | 28.647 | 17.314 | 39.814 |

เมื่อปริมาณของสารหนูในตารางที่ มา plot กราฟแสดงได้ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10: ปริมาณของสารหนูคงเหลือในน้ำเมื่อบำบัดด้วยพีซีซี 3 ชนิด ภายในเวลา 21 วัน

จากผลการทดลองในตารางที่ และ ภาพที่ พบว่าพีซีซีจอกผักกาดและแหวนแดง ชนิดสามารถลดความเข้มข้นหนูได้อย่างรวดเร็วในช่วง 1-7 วันของการทดลอง และสามารถลดความเข้มข้นสารหนูได้มากที่สุดในวันที่ 7 ของการทดลอง (ตำแหน่งที่ลูกศรชี้) ก่อนที่จะมีความสามารถลดลงในช่วง 7 -14 วันของการทดลอง ในขณะที่สาหร่ายหางกระรอกสามารถลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 1-14 ของการทดลอง และสามารถลดความเข้มข้นสารหนูได้มากที่สุดในวันที่ 14 ของการทดลอง (ตำแหน่งที่ลูกศรชี้)

หลังจากวันที่ 14 ของการทดลองพบว่าความสามารถในการลดความเข้มข้นสารหนูของพีซีซีทั้ง 3 ชนิดลดลงจนไม่สามารถลดค่าความเข้มข้นของสารหนูแต่ได้ และได้ปล่อยสารหนูให้ละลายกลับสู่น้ำอีกครั้งหนึ่ง

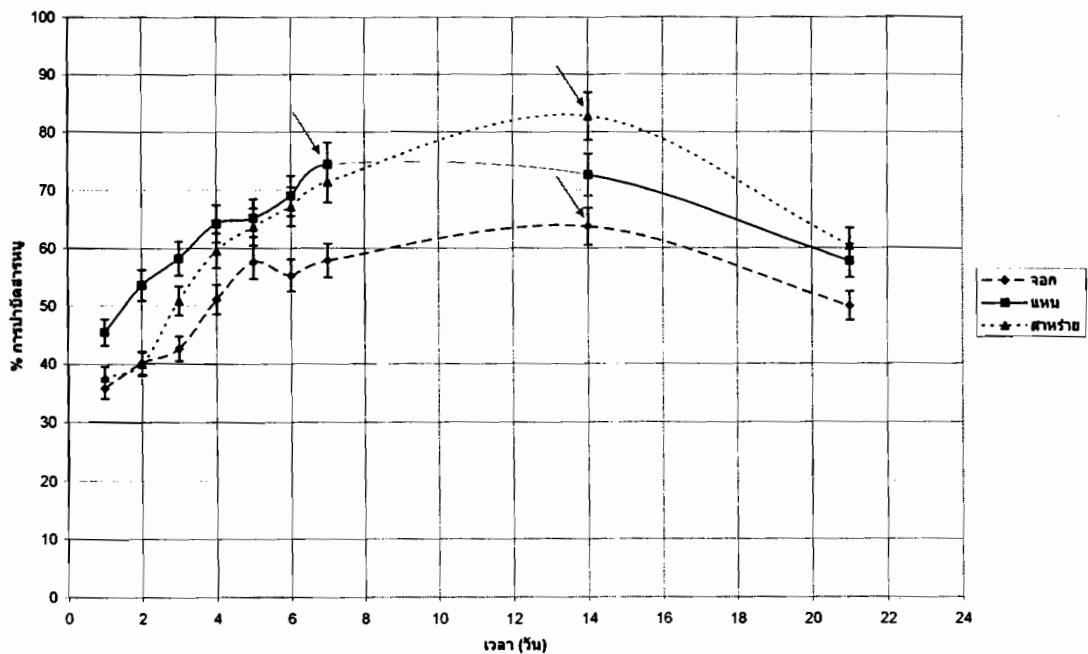
จึงทำให้ค่าความเข้มข้นของสาหร่ายมีค่าสูงขึ้นโดยดังแสดงในตาราง 4-2 และภาพที่ 4-10 ซึ่งการลดลงของความสามารถในการลดความเข้มข้นสาหร่ายของพีชน้ำนั้นอาจเกิดขึ้นจากการที่ผิวชีวมวลของพีชน้ำอิมมัวทำให้ไม่สามารถดูดซับสาหร่ายได้อีก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gong, et.al 2005 ที่การลดความเข้มข้นของตะกัวในน้ำด้วยสาหร่าย *Spirulina munima* และการเพิ่มขึ้นของสาหร่ายในช่วงหลังของการทดลองอาจเกิดจากการตายของพีชน้ำหลังจากทำการดูดซับสาหร่ายเข้าสู่เซลล์ในปริมาณมากเกินไป ซึ่งเมื่อพีชน้ำตายจึงเกิดการปล่อยสาหร่ายกลับมาสู่น้ำจึงทำให้มีค่าความเข้มข้นของสาหร่ายเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการทดลอง

4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสาหร่ายโดยพีชน้ำ

นำค่าที่ได้จากตารางที่ มาทำการหาประสิทธิภาพการดูดซับสาหร่ายจากสูตร

ร้อยละการลดปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น = $(\text{ความเข้มข้นของปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นของปริมาณสาหร่ายที่เหลือ}) / \text{ความเข้มข้นของปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น} \times 100$

ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-11



ภาพที่ 4-11: ปริมาณของสาหร่ายคงเหลือในน้ำเมื่อบำบัดด้วยพีชน้ำ 3 ชนิด ภายในเวลา 21 วัน

จากภาพที่ 4-11 พบว่าประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นสาหร่ายของพีชทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการทดลอง โดยที่แหนแดงเป็นพีชน้ำชนิดแรกที่ทำให้ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสาหร่ายได้ดีกว่า

พีชน้ำชนิดอื่นในช่วงเวลา 7 วันแรก โดยให้ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 74.47% (ตำแหน่งที่ ลูกศรชี้)

ในขณะที่สาหร่ายหางกระรอกและจอกผักกาดมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นสาหร่ายเท่ากับ 71.48% และ 51.85 % ตามลำดับ แต่เมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้นพบว่าแหนแดงมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสาหร่ายค่อนข้างคงที่ (72.64%) ในขณะที่สาหร่ายหางกระรอก และจอกผักกาดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ 82.76% และ 63.89 % ในวันที่ 14 (ตำแหน่งที่ลูกศรชี้) ก่อนที่ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสาหร่ายพีชน้ำทั้ง 3 ชนิดจะลดลงตามลำดับจนถึงวันที่ 21 ดังแสดงในภาพที่ 4-11

จากผลการทดลองพบว่าพีชทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการลดความเข้มข้นของสาหร่ายในน้ำได้ตั้งแต่ 60 – 80 % โดยพีชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพและช่วงเวลาในการลดความเข้มข้นของสาหร่ายในน้ำที่แตกต่างกันออกไป แหนแดงเป็นพีชน้ำชนิดแรกที่ให้ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสาหร่ายได้ดีที่สุดในช่วงเวลา 7 วันแรก โดยมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นสูงถึง 74.47% ในขณะที่สาหร่ายหางกระรอกและจอกผักกาดมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นเท่ากับ 71.48 และ 51.85 % ตามลำดับ แต่เมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้น (14-21 วัน) พบว่าแหนแดงมีประสิทธิภาพลดลง ในขณะที่สาหร่ายหางกระรอกและจอกผักกาดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ 82.76 และ 63.89 % ในวันที่ 14 ซึ่งเมื่อนำค่าความสามารถมาเรียงลำดับก็จะสามารถเรียงได้ดังนี้

ในเวลา 7 วัน ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นสาหร่าย: แหนแดง > สาหร่ายหางกระรอก > จอกผักกาด

ในเวลา 14 วัน ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นสาหร่าย: สาหร่ายหางกระรอก > แหนแดง > จอกผักกาด

แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเลยเวลาช่วงที่พีชมีประสิทธิภาพสูงสุดแล้ว พบว่าความเข้มข้นของสาหร่าย

ในน้ำเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกิดจาก 4 สาเหตุด้วยกันคือ

- ผิวเซลล์ของพีชน้ำอ้อมตัวด้วยสาหร่าย เซลล์จึงไม่สามารถดูดซับเพิ่มได้อีกแต่เกิดการย้อนกลับของ

ปฏิกิริยาจึงทำให้เกิดการละลายกลับของสาหร่าย

- เนื่องจากความเป็นพิษของสาหร่ายเพื่อเข้าสู่เซลล์ของพีชน้ำ ดังนั้นพีชน้ำพยายามกำจัดสาหร่ายที่มี

ความเข้มข้นสูงออกจากเซลล์ จึงส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสาหร่ายในน้ำ

- การสูญเสียความสามารถในการดูดซับของผิวชีวมวลเนื่องจากพิษของสารหนู ทำให้ผิวชีวมวลไม่สามารถดูดซับสารหนูจึงปล่อยให้สารหนูละลายกลับในน้ำ

- พิษน้ำทั้ง 3 ชนิดตายด้วยความเป็นพิษของสารหนู ทำให้เกิดการปล่อยสารหนูที่เก็บกักภายในส่วนต่างๆของพืชกลับสู่น้ำอีกครั้งซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของมวลชีวภาพพืชหลังการทดลอง (ซึ่งน่าจะเกิดจากตายหรือแตกสลายของเซลล์พืช)

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับภาพรวม การสรุป-วิจารณ์ผลการทดลอง รวมทั้งข้อเสนอแนะ ของงานวิจัย แสดงดังบทที่ 5

บทที่ 5 สรุป วิจัยรณัผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจัยรณัผลการทดลอง

จากคัดเลือกพืชน้ำที่เหมาะสมในบำบัดสารหนูในน้ำนั้นนั้นพิจารณาจากข้อเด่นดังต่อไปนี้

- เป็นพืชพื้นถิ่น
- มีความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่
- มีความยาวของรากที่เหมาะสม
- ความยาก- ง่ายในการเก็บกวาดออกจากแหล่งน้ำ

พบว่าพืชน้ำที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกันได้แก่ จอกผักกาด แหนแดง และสาหร่ายหางกระรอก การเปรียบเทียบคุณสมบัติของพืชน้ำพบว่าจอกผักกาดมีคุณสมบัติเด่นคือมีขนาดใหญ่ มีรากยาว ซึ่งน่าจะทำให้เกิดการดูดซับสารหนูในน้ำได้ดีกว่าพืชน้ำอื่นๆและสามารถเก็บกวาดจากแหล่งน้ำง่าย ในขณะที่แหนแดง มีขนาดเล็ก รากสั้น แต่มีจุดเด่นในด้านการกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่น้ำได้ดีกว่าจอกผักกาด สำหรับสาหร่ายหางกระรอกมีข้อเด่น คือ ทุกส่วนของพืชอยู่ในน้ำซึ่งอาจทำให้สามารถดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำได้ แต่มีข้อเสียคือเก็บกวาดจากแหล่งน้ำยากและเมื่อใช้ในสภาวะแวดล้อมจริงอาจไม่สามารถเจริญแข่งกับพืชท้องถิ่นที่เจริญครอบคลุมส่วนบนของผิวน้ำได้

จากผลการทดลองหาผลของความเข้มข้นต่อการเจริญของพืชน้ำโดยจอกผักกาดพบว่า ความเข้มข้นที่สามารถใช้ในการทดลองคือ 100 $\mu\text{g/L}$ หรือ 10 เท่าของค่ามาตรฐานของสารหนูในน้ำ เพราะเมื่อเพิ่มค่าความเข้มข้นของสารหนูเป็น 20 เท่า (200 $\mu\text{g/L}$) พบว่าจอกผักกาดแสดงอาการเหี่ยว ใบสีเหลือง เน่า และตายภายใน 7 วัน

จากผลความสามารถในการลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่าพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำได้ตั้งแต่ 60 – 80 % โดยพืชน้ำแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพและช่วงเวลาในการลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำที่แตกต่างกันออกไป แหนแดงเป็นพืชน้ำชนิดแรกที่ทำให้ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสารหนูได้ดีที่สุดในช่วงเวลา 7 วันแรก โดยมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นสูงถึง 74.47% ในขณะที่สาหร่ายหางกระรอกและจอกผักกาดมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นเท่ากับ 71.48 และ 51.85 % ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำค่าความสามารถมาเรียงลำดับก็จะสามารถเรียงได้ดังนี้ ในเวลา 7 วัน ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นสารหนู: แหนแดง > สาหร่ายหางกระรอก > จอกผักกาด

แต่เมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้นพบว่าประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสารหนูของแหวนแดง ลดลงในขณะที่สาหร่ายหางกระรอก และจอกผักกาดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ 82.76 และ 63.89 % ในวันที่ 14 ซึ่งเมื่อนำค่าความสามารถมาเรียงลำดับก็จะสามารถเรียงได้ดังนี้

ในเวลา 14 วัน ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นสารหนู: สาหร่ายหางกระรอก > แหวนแดง > จอกผักกาด

ดังนั้นจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของพืชทั้ง 3 ชนิดพบว่าจอกผักกาดที่มีรากยาว และมีขนาดใหญ่ นั้นไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้จอกผักกาดสามารถดูดซับโลหะหนักในแหล่งน้ำได้ดีกว่าแหวนแดงและสาหร่ายหางกระรอก และพบว่าสาหร่ายหางกระรอกที่มีข้อเด่น คือ ทุกส่วนของพืชอยู่ในน้ำนั้นสามารถดูดสารหนูได้ดีที่สุดตามที่ตั้งข้อสังเกตไว้ในตอนแรก

ในส่วนของผลการลดลงของชีวมวลในระหว่างการเพาะเลี้ยงและการทดสอบพบว่าจอกผักกาดเป็นพืชชนิดเดียวที่มีการลดลงของชีวมวลน้อยที่สุด ในขณะที่แหวนแดงมีการลดลงของชีวมวลมากที่สุด ทั้งนี้อาจเกิดจากความสามารถในการทนต่อความเป็นพิษของสารหนูในพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากันนั่นเอง

จากผลการทดลองที่พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิด จะปล่อยสารหนูกลับสู่น้ำอีกครั้งหลังจากผ่านระยะเวลาที่พืช น้ำสามารถลดความเข้มข้นของสารหนูได้สูงสุด ซึ่งส่งผลให้ความเข้มข้นของสารหนูกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถบ่งชี้ให้เห็นว่าพืชทั้ง 3 ชนิดใช้กระบวนการดูดซับในการลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำ ทั้งนี้ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ปริมาณสารหนูในน้ำที่มีนั้นสามารถเพิ่มกลับมาอีกครั้งหนึ่งบ่งชี้ว่าสารหนูไม่ได้เปลี่ยนรูปหรือถูกนำไปใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึมของพืชเลย ดังนั้นการปล่อยสารหนูกลับสู่น้ำอีกครั้ง หลังจากผ่านระยะเวลาหนึ่งสามารถอธิบายได้ ใน 4 แนวทางด้วยกันคือ

- ผิวนเซลล์ของพืชน้ำอ้อมตัวด้วยสารหนู เซลล์จึงไม่สามารถดูดซับเพิ่มได้อีกแต่เกิดการย้อนกลับของปฏิกิริยาจึงทำให้เกิดการละลายกลับของสารหนู

- เนื่องจากความเป็นพิษของสารหนูเพื่อเข้าสู่เซลล์ของพืชน้ำ ดังนั้นพืชน้ำพยายามกำจัดสารหนูที่มีความเข้มข้นสูงออกจากเซลล์ จึงส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสารหนูในน้ำ

- การสูญเสียความสามารถในการดูดซับของผิวชีวมวลเนื่องจากพิษของสารหนู ทำให้ผิวชีวมวลไม่สามารถดูดซับสารหนูจึงปล่อยให้สารหนูละลายกลับในน้ำ

- พีชน้ำทั้ง 3 ชนิดตายเนื่องจากความเป็นพิษของสารหนู ทำให้เกิดการปล่อยสารหนูที่เก็บกักภายใน ส่วนต่างๆของพืชกลับสู่น้ำอีกครั้งซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของมวลชีวภาพพืชหลังการทดลอง (ซึ่งน่าจะเกิด จากตายหรือแตกสลายของเซลล์พืช)

ซึ่งทั้ง 4 แนวทางนี้สามารถทำการตรวจสอบได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณของสารหนูในพืชตามระยะเวลาการ ทดลอง แต่เนื่องจากงบประมาณและเวลาที่จำกัดงานวิจัยนี้จึงไม่ได้ทำการตรวจสอบแนวทางทั้ง 4 ที่กล่าวมาใน ข้างต้น

จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

- พีชน้ำทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำ
- สำหรับกรณีที่ต้องการลดค่าความเข้มข้นของสารหนูในแหล่งน้ำให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐาน กำหนดจำเป็นต้องใช้การปริมาณพีชน้ำที่มากขึ้นหรือ ใช้พีชน้ำลดความเข้มข้นของสารหนูมากกว่า 1 ครั้งขึ้นไป

- การลดความเข้มข้นของสารหนูในน้ำโดยพืชทดสอบทั้ง 3 ชนิดนี้ เกิดจากกระบวนการดูดซับทาง ชีวภาพ

- ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ให้การดูดซับสารหนูสูงสุดของพีชน้ำแตกต่างกันออกไปโดยในการบำบัดที่ 7 วันควรใช้แหนแดง หรือสาหร่ายหางกระรอกในการดูดซับสารหนู และในการบำบัดที่ 14 วัน ควรใช้สาหร่ายหาง กระรอกในการดูดซับสารหนู

- เมื่อพ้นระยะที่ให้การดูดซับสูงสุดของพีชน้ำแต่ละชนิดจะต้องรีบเก็บพีชน้ำออกทันทีเพื่อป้องกันการ ปล่อยสารหนูกลับสู่น้ำอีกครั้งหนึ่ง

แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ยังไม่สามารถสรุปผลได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อ การดูดซับสารหนูซึ่งได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังแสดงในงานวิจัยของ ปัทมาภรณ์ 2549, Goyal, et.al 2003, Vilar et.al. 2005 ที่พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่งผลต่อประจุบนผนังเซลล์สามารถทำให้เกิดส่งเสริม หรือยับยั้ง การเกาะติดที่ของโลหะหนักกับผนังเซลล์ได้ ดังรายงานผลวิจัยของ Hansen et.al , 2006 ทำการทดลองผลของ ค่าความเป็นกรด-ด่างต่อความสามารถในการดูดซับสารหนูด้วยสาหร่าย *Lessonia nigrescens* พบว่าค่าความ เป็นกรด-ด่างที่ 2.5 จะให้การดูดซับสารหนูสูงสุด ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 6.5 จะให้ค่าการดูดซับต่ำ ที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรทำการวิจัยเพื่อหาข้อสรุปสำหรับ 4 แนวทางในปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของสารหนูในน้ำหลังจากการดูดซับสูงสุดของพีชน้ำ
- ควรทำวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการดูดซับของเซลล์พีชน้ำที่มีชีวิตและเซลล์ไม่มีชีวิต
- ควรทำวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีอื่นๆที่อาจส่งผลต่อการดูดซับของพีชน้ำต่อสารหนู
- ควรหาวิธีการกำจัดที่เหมาะสมให้กับพีชน้ำหลังการดูดซับสารหนู

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01-03.html และ http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01-03.html (accessed date 02/10/2005)
2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2549. ระบบบำบัดมลพิษน้ำ. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. น. 5 – 66.
3. กำแพง วัฒนเสน วรวิมล โลหะวิจารณ์ และไตรภพ ผ่องสุวรรณ 2542 การใช้วิธีทางธรณีฟิสิกส์หาโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในพื้นที่ที่ปนเปื้อนสารหนู อำเภอรัตนัญญ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช รายงานวิจัยกองทุน มอ.เพื่อวิจัยและพัฒนาภาคใต้ ประจำปี 2542-2543. 102 น.
4. ชัยวัฒน์ อาจแก้ว 2547 การดูดซับสารหนูโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 83 น.
5. ประกรณ์ เลิศสุวรรณไพศาล 2545 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์โดยใช้พืชท้องถิ่น (กรณีศึกษา : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม) รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม 85 น.
6. ประนิดดา เจริญราช. 2548. การบำบัดน้ำทิ้งจากการฟอกย้อมไหมโดยใช้บึงประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. น. 8 - 71
7. ปัทมาภรณ์ อักษรชู 2549 การคัดเลือกแบคทีเรียและสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารหนูด้วยวิธีทางชีวภาพวิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 120 น.
8. มัลลิกา ปัญญาคะโป. 2542. เอกสารประกอบวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม "ของเสียอันตราย", คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. น.2 – 17
9. ยุทธนา ศิลปรัศมี และ อำพร ณ นิโรจน์ 2548 ผลสัมฤทธิ์ของการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการแก้ปัญหาโรคพิษสารหนู อำเภอรัตนัญญ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช พศ. 2548 รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) 89 น.
10. วราภรณ์ อุษฉาย. 2551. การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช: phytoremediation. วารสารวิชาการราชภัฏ ตะวันตก. 3(1): 134-145

11. วิชานันท์ บำรุงธรรม 2545 การดึงดูดสารหนูที่ปนเปื้อนในดินโดยเหือกและบอน วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 71 น.
12. วิไลวรรณ พุทธพฤษ์ ณรงค์ ภามรภูศิริกุล พโยม เสนอินทร์ และอุไรวรรณ หมัดอำดัม 2545 การเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารหนูในน้ำบริโภคของตำบลร่อนพิบูลล์ รายงานวิจัยสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข โรงพยาบาลร่อนพิบูลย์ 2545 42 น.
13. สุชาติ สุธธิพิบูลย์. 2547. ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและอาร์เซนิกในน้ำเสียด้วยถ่านกระดุก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. น. 4 -147
14. สุวลีย์ ตันชววัฒน์ 2539 การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อประเมินหาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคพิษสารหนูเรื้อรัง กรณีศึกษา: อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช นครศรีธรรมราช.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม.มหาวิทยาลัยมหิดล 145 น.
15. Alkorta, I., Hernandez-Allicab, J., Garbisub, C. 2004 Plants against the global epidemic of arsenic poisoning. Environment International. 30, 949 – 951
16. American Public Health Association ,American Water Works Association and water Pollution Control Federation (APHA,AWWA and WPCF).1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th.Editor 1998 (Arsine) Silver Diethyldithiocarbamate
17. Barman, S.R. 1983 Environmental reaction and analysis methods. Elsevier Science Publishing Company, Inc., Netherland. 286 pp.
18. Denga, H., Ye, Z.H., Wonga, M.H. 2004. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China Environmental Pollution. 132, 29-40
19. Eccles, H. 1999 Treatment of metal-contaminated wastes:why select a biological process? Trends in Biotechnology 17: 462-465 washington D.C.
20. Fritioff, A., and Greger, M., 2005. Uptake and distribution of Zn, Cu, Cd, and Pb in an aquatic plant Potamogeton natans. Chemosphere. 63, 220 –227

21. Gong R, Ding Y, Liu H, Chen Q. and Liu Z. 2005. Lead biosorption and desorption by intact and pretreated *Spirulina maxima* biomass. *Chemosphere*. 2005 Jan;58(1):125-30.
22. Goyal., N., Jain., S.C and Banerjee., U.C. 2003 Comparative studies on the microbial adsorption of heavy metals. *Advances in Environmental Research* 7, 311-319
23. Hansen. H.K., Riberio, A. and Mateus, A. 2006 Biosorption of arsenic(V) with *Lessonia nigrescens*, *Minerals Engineering*, Vol.19 No.5, 486-490
24. Liu, Y., Changb, X., Guoa, Y., Menga, S. 2006. Biosorption and preconcentration of lead and cadmium on waste Chinese herb Pang Da Ha. *Journal of Hazardous Materials*. 135 :389 – 394
25. Mant, M., Costa, S., Williams and J., Tambourgi, E. 2005. Phytoremediation of chromium by model constructed wetland, *Bioresource Technology*. 97, 1767–1772
26. Mohan, D., and Pittman C.U. 2007 Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents—A critical review., *Journal of Hazardous Materials* 142, 1–53
27. Mondal, P., Majumder, C.B., Mohanty, B. 2006. Laboratory based approaches for arsenic remediation from contaminated water: *Journal of Hazardous Materials*.137, 464 – 479
28. Rotkittikhun, P., Kruatrachue, M., Chaiyarat, R., Ngernsansaruay,C., Pokethitiyook, P., Paijitprapaporn A., Baker, A.J.M. 2005. Uptake and accumulation of lead by plants from the Bo Ngam lead mine area in Thailand. Mahidol University International College, Bangkok, *Environmental Pollution*. 114, 681 - 688 (in Thai)
29. Suwanmanee, A. 1991 A distribution of Arsenic in environmental, Ron Phibun district, Na Khon Si Thummarat province. Master thesis, Prince of Songkla University, Thailand (in Thai), 153p.
30. Stowell R.R.; Ludwig J. G. and Tchobanoglous G. 1998. Concepts in Aquatic Treatment System Design” *Journal of Environmental Engineering Division, Society of Civil Engineer*, (Fall;98); 9;9-940.
31. Tambamrung,w. 2002. Phytoextraction of Arsenic from Contaminate Soil by *Colocasia esculenta* and Wild Taro.Thasis, Chulalongkorn University

32. US.EPA. 2000 Introduction to Phytoremediation EPA/600/R-99/107 U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 104 pp
33. Vilar, V.J.P, Botelho, C M. Boaventura B A, 2005. Influence of. pH, ionic strength and temperature on lead biosorption by. Gelidium and agar extraction algal waste., Journal of Environmental Sciences 2010, 22(3) 367–373
34. Visoottivisetha, P., Francesconib, K., Sridokchana, W. 2001. The potential of Thai indigenous plant species for the phytoremediation of arsenic contaminated land. Mahidol University ,Bangkok. Environmental Pollution 118, 453–461 (in Thai)

ภาคผนวก

1. acetate buffer พีเอช 5.5

ผสม sodium acetate ที่มีความเข้มข้น 0.2 โมล ปริมาณ 428 มิลลิลิตรกับ acetic acid ที่มีความเข้มข้น 0.2 โมล ปริมาณ 72 มิลลิลิตร

2. sodium acetate 0.2 โมล

ชั่ง sodium acetate มา 16.46 กรัม ละลายลงในน้ำ DI ให้ได้ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร

3. acetic acid 0.2 โมล

ชั่ง acetic acid มา 11.5 กรัม แล้วเติมน้ำให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

4. สารละลาย 1% Sodium borohydride

ชั่ง sodium hydroxide 0.4 กรัม เติมน้ำให้ครบ 400 มิลลิลิตร ผสมกับ Sodium borohydride 0.4 กรัม แล้ว

เขย่าให้สารละลายผสมเข้ากันดี ให้เตรียม 1% Sodium borohydride ใหม่ทุกครั้งก่อนทำการทดลอง

5. สารละลาย Lead acetate

ชั่ง Lead acetate มา 10 กรัม ผสมกับน้ำให้ได้ 100 มิลลิลิตร

6. silver diethyldithiocarbamate

ดูด morpholine มา 1 มิลลิลิตร ผสมกับ Chloroform 70 มิลลิลิตร

ใส่ silver diethyldithiocarbamate 0.30 กรัม เขย่าใน flask ที่ปิดฝา จนละลายดี แล้วนำมาละลายกับ

chloroform ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดสีชาปิดฝาและเก็บไว้ในตู้เย็น

7. สารมาตรฐาน

7.1 สารละลายมาตรฐานอ้างอิงสารหนู 1000 mg/L Mrack

7.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานสารหนูที่ความเข้มข้น 0, - 70 $\mu\text{g/L}$ เพื่อใช้ทำ standard curve โดยปิเปต

สารละลายมาตรฐาน สารหนู 100 $\mu\text{g/L}$ มา 10 30 50 และ 70 ml ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml

แล้วปรับปริมาตรครบ 100 ml ด้วย DI water

7.3 นำไปวัดค่าความเข้มข้นของสารหนูตามวิธีการ Silver Diethyldithiocarbamate Method

กราฟสารละลายมาตรฐานของสารหนูเพื่อเตรียมวิเคราะห์สารหนูโดยใช้วิธี Silver Diethyldithiocarbamate Method

