สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดโครเมียมโดยใช้พืชน้ำ

วิไลวรรณ์ แฉ่งเจริญ
วีระพงษ์ ศรีวรสาร
ศศิธร ชัยอำพล

T107743

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107743
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2553

b 12210193
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chromium Removal by Aquatic Plant Species

Wilaiwan Chaengcharoen

Weerapong Sriworasarn

Sasithorn Chaiampom

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การกำจัดโครเมียมโดยใช้พืชน้ำ
นักศึกษา	วิไลวรรณ์ แฉ่งเจริญ
	วีระพงษ์ ศรีวรสาร
	ศศิธร ชัยอำพล
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
	ดร. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	.....
กรรมการ ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	.....
กรรมการ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	.....
กรรมการ ดร. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช	.....

.....

(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การกำจัดโครเมียมโดยใช้พืชน้ำ
นักศึกษา	วิไลวรรณ์ แฉ่งเจริญ
	วีระพงษ์ ศรีวรสาร
	ศศิธร ชัยอำพล
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดโครเมียมด้วยพืชน้ำ ได้แก่ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก โดยทำการปลูกพืชลงในกะละมังพลาสติกสีดำขนาด 68 นิ้ว กะละมังละ 12 ต้น และเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากโพแทสเซียมไดโครเมต โดยมีความเข้มข้นของโครเมียมที่ใช้คือ 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีชุดควบคุม (ทำเช่นเดียวกันแต่ไม่มีการเติมโครเมียม) ระยะเวลาในการทดลอง 7, 15, 21 และ 30 วัน โดยทำการศึกษาหาปริมาณโครเมียมทั้งหมด ด้วยวิธีย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชั่นสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ และหาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ด้วยวิธีย่อยสลายสภาวะเบส แล้วนำไปวัดความเข้มข้นของสีด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ จากผลการทดลอง พบว่า ที่ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการรอดตายของสาหร่ายหางกระรอกและผักแว่นเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่จอกมีเปอร์เซ็นต์การรอดตายเท่ากับ 66.67 เปอร์เซ็นต์ โดยการสะสมโครเมียมทั้งหมดในพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด ที่ระยะเวลา 21 วันพบว่า จอก ดีที่สุด รองลงมาคือ สาหร่ายหางกระรอก, ผักแว่น ปริมาณการสะสมโครเมียมเท่ากับ 5.991, 0.548 และ 1.317 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ที่ระดับความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์จอกสามารถสะสมโครเมียมได้มากกว่าผักแว่นและสาหร่ายหางกระรอก โดยที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เท่ากับ 0.807, 0.405 และ 0.253 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ที่ระดับความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

คำสำคัญ : โครเมียมทั้งหมด โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ พืชน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Chromium removal by aquatic plant species
Name	Wilaiwan Chaengcharoen
	Weerapong Sriworasran
	Sasithorn Chaiampom
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2005
Special Project Advisor	Asst. Prof. Pitsamai Chairat-utai
Special Project co-advisor	Dr. Pantawat Sampanpanich

ABSTRACT

This special project was studied about the removal of chromium by aquatic plants, *Pistia stratiotes* L., *Marsilea crenata* Presl. and *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle.. The plants were grown in 68 inches black plastic container, each one container have 12 plants. Then add artificially wastewater which was derived from potassium dichromate solution, with concentration 5, 10 and 15 mg/L, respectively. The control sample used the same method of experiment but no chromium added. The period of time used in this experiment were 7, 15, 21 and 30 days, respectively. To determine the amount of total chromium, the plants were taken to digest using microwave digestion and then detected by AAS. Hexavalent chromium was digested under base condition and then detected by spectrophotometer. The results show that at concentration of 15 mg/L., the percent of survived *Marsilea crenata* Presl. and *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle.. are 100 percent while 66.67 percent of *Pistia stratiotes* L. have survived. The best efficiency of total chromium accumulation at then 21 days is *Pistia stratiotes* L., *Marsilea crenata* Presl. and *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. at concentration of 5.991, 0.548 and 1.317 mg/kg dry weight, respectively. At 30 days, the amount of hexavalent chromium are 0.807, 0.405 and 0.253 mg/kg dry weight, respectively at concentration of 15 mg/L.

Key word : total chromium, hexavalent chromium, aquatic plant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์หลายท่าน ขอขอบพระคุณ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ ดร. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อคิดในการดำเนินงานโครงงานพิเศษ ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และ ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ ที่ให้ความรู้ในเรื่องต่างๆ อีกทั้งแนวคิดที่มีประโยชน์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ พี่ปริญญาโท และแม่บ้านประจำห้องปฏิบัติการ ณ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องเบิกอุปกรณ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องอุปกรณ์ต่างๆ

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบใจเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจและให้ความสนับสนุนเรื่อยมา

วิไลวรรณ์ แฉ่งเจริญ
วีระพงษ์ ศรีวรสาร
ศศิธร ชัยอำพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สัญลักษณ์คำย่อ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 พืชที่ใช้ในการศึกษา	3
2.2 โครเมียม	8
2.3 การฟื้นฟูด้วยพืช	14
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย	21
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	21
3.2 พืชที่ใช้ในการทำวิจัย	22
3.3 การเตรียมการทดลอง	22
3.4 การศึกษาเบื้องต้น	24
3.5 การดำเนินการทดลอง	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	28
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก ก. การเตรียมสารละลายโครเมียม	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์	53
ภาคผนวก ค. สารอาหาร	57
ภาคผนวก ง. ตารางแสดงข้อมูลปริมาณโครมียมทั้งหมด และปริมาณโครมียมเฮกซะวาเลนท์ของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก	59
ภาคผนวก จ. ตารางแสดงข้อมูลทั้งหมด	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อจำกัดของวิธี การฟื้นฟูด้วยพืช 17

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามผลการศึกษา 25

ตารางที่ 4.1 ลักษณะอาการของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของจอก 4
รูปที่ 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักแว่น 6
รูปที่ 2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสาหร่ายหางกระรอก 7
รูปที่ 2.4 การละลายของ $Cr(OH)_3$ กับ ค่าพีเอช 9
รูปที่ 2.5 แหล่งกำเนิดโครเมียมในอุตสาหกรรม 11
รูปที่ 3.1 โรงเรือนสำหรับการทดลอง 23
รูปที่ 4.1 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชัน ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ชุดควบคุม (ไม่ใส่พืช) 30
รูปที่ 4.2 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชัน ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ที่เลี้ยงจอก 30
รูปที่ 4.3 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชัน ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ที่เลี้ยงผักแว่น 31
รูปที่ 4.4 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชัน ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ที่เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอก 31
รูปที่ 4.5 พีเอช ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมชุดควบคุม (ไม่ใส่พืช) 32
รูปที่ 4.6 พีเอช ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงจอก 33
รูปที่ 4.7 พีเอช ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงผักแว่น 33
รูปที่ 4.8 พีเอช ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอก 34
รูปที่ 4.9 การนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมชุดควบคุม (ไม่ใส่พืช) 35
รูปที่ 4.10 การนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงจอก 35
รูปที่ 4.11 การนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงผักแว่น 36
รูปที่ 4.12 การนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอก 36
รูปที่ 4.13 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในจอกที่ระยะเวลาต่าง ๆ 37
รูปที่ 4.14 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในน้ำที่ใช้เลี้ยงจอก ที่ระยะเวลาต่าง ๆ 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในผักแว่น ที่ระยะเวลาต่าง ๆ 39

รูปที่ 4.16 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงผักแว่น ที่ระยะเวลาต่าง ๆ 39

รูปที่ 4.17 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในสาหร่ายหางกระรอก ที่ระยะเวลาต่าง ๆ 40

รูปที่ 4.18 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอก ที่ระยะเวลาต่าง ๆ 41

รูปที่ 4.19 การสะสมโครเมียมทั้งหมดของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ 42

รูปที่ 4.20 การสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ 42

รูปที่ 4.21 การสะสมโครเมียมของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ 43

รูปที่ 4.22 การสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ 44

รูปที่ 4.23 การสะสมโครเมียมของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ 45

รูปที่ 4.24 การสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น10 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ 45

รูปที่ 4.25 การสะสมโครเมียมของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น15 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ 46

รูปที่ 4.26 การสะสมโครเมียมของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น15 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์คำย่อ

Cr	=	โครเมียม
Cr(II)	=	โครเมียมไดวาเลนท์
Cr(III)	=	โครเมียมไตรวาเลนท์
Cr(VI)	=	โครเมียมเฮกซะวาเลนท์
Phytoremediation	=	การฟื้นฟูด้วยพืช
K_{ow}	=	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ระหว่างออคตานอลกับน้ำ
XAS	=	เครื่องเอ็กซาเรย์สเปคโตรโฟโตมิเตอร์
AAS	=	เครื่องอะตอมมิคสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
mmol/kg	=	มิลลิโมล์ต่อกิโลกรัม
mg/kg	=	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
%	=	เปอร์เซ็นต์
ORP	=	ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชัน
pH	=	พีเอช
Conductivity	=	สภาพการนำไฟฟ้า
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เป็นอย่างมาก แต่การพัฒนาดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมเท่าที่ควร ส่งผลให้คุณภาพสิ่งแวดล้อมอันได้แก่ คุณภาพน้ำ ดิน อากาศ เสื่อมโทรมลง ปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมนับเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะในการผลิตภาคอุตสาหกรรมได้นำเอาโลหะหนักมาใช้ในปริมาณที่สูง การปล่อยของเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมจึงมีมาก อีกทั้งโลหะหนักเป็นธาตุในกลุ่มทรานซิชัน ซึ่งมีเสถียรภาพสูงย่อยสลายได้ยากในธรรมชาติ สามารถเกิดการสะสมในสิ่งมีชีวิต และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตด้วย

โครเมียมเป็นหนึ่งในจำนวนของโลหะหนักที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมฟอกหนัง น้ำเสียจากอุตสาหกรรมดังกล่าวมีความเข้มข้นของโครเมียมในปริมาณที่สูงมากซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากสารประกอบโครเมียมปนเปื้อนในแหล่งน้ำแล้ว โครเมียมเฮกซะวาเลนท์เป็นโลหะหนักที่มีระดับความเป็นพิษกลุ่มที่ 2 คือ มีความเป็นพิษสูง แม้ใช้ในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ และเป็นสารก่อมะเร็ง โดยได้รับการยืนยันจากคณะกรรมการวิจัยโรคมะเร็งแห่งชาติ (International Agency for Research on Cancer, IARC) ในโครงงานพิเศษนี้ จึงได้มีการศึกษาการกำจัดโครเมียมโดยใช้พืชน้ำเป็นตัวดูดซับโครเมียม โดยพืชน้ำที่ใช้ได้แก่ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ซึ่งเป็นพืชที่แพร่พันธุ์ได้ง่ายมีอยู่ทั่วไป จึงนับว่าเป็นพืชที่น่าสนใจที่ควรจะมีการศึกษาในการดูดซับ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณโครเมียมที่สะสมในพืชน้ำที่ระยะเวลา และความเข้มข้นต่างๆ
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะสมโครเมียมของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์
2. พืชน้ำที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก โดยเก็บพืชที่ขนาดเท่า ๆ กัน ที่ขึ้นอยู่โดยทั่วไปมาขยายพันธุ์ในน้ำประปาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ จากนั้นนำมาทำการทดลองในน้ำเสียสังเคราะห์
3. โครเมียมที่ใช้ในการทดลอง คือ โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ระยะเวลาที่ศึกษา 1 เดือน โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 7, 15, 21 และ 30 วัน
5. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการติดตามผลการศึกษา ได้แก่ ความต่างศักย์ออกซิเดชั่น-รีดักชั่น พีเอช สภาพการนำไฟฟ้า

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถประยุกต์ใช้พืชน้ำในการดูดซับโครเมียม หรือโลหะหนักตัวอื่นๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียบริเวณรอบโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พืชที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 จอก

จอกมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า : *Pistia stratiotes* L.

จัดอยู่ในวงศ์ : Araceae

ชื่อสามัญ : Water lettuce

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของจอก:

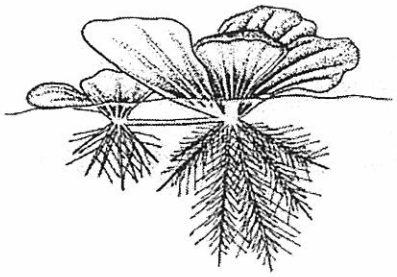
วัชพืชน้ำขนาดเล็ก ลำต้นทอดขนานไปกับผิวน้ำ มีระบบรากแก้วและมีรากฝอยจำนวนมาก อายุยืนหลายปี เจริญเติบโตติดกันเป็นกลุ่มลอยอยู่บนผิวน้ำ ลำต้นมีไหล (stolon) ต้นใหม่เกิดจากโคนต้นและเกิดบนไหล ใบเป็นใบเดี่ยวเกิดบริเวณส่วนโคนของลำต้นเรียงซ้อนกันหลายชั้น ไม่มีก้านใบ รูปร่างใบไม่แน่นอน บางครั้งรูปรี แต่ส่วนมากเป็นรูปสามเหลี่ยมปลายกลีบหยักลอนเป็นคลื่น ฐานใบมนสอบแคบ ขอบใบเรียบสีแดง มีขนขึ้นปกคลุมแผ่นใบทั้งสองด้าน บริเวณฐานใบพองออกมีลักษณะอ่อนนุ่มคล้ายฟองน้ำ ทำให้ลอยน้ำได้ ดอกออกเป็นช่อชนิดสแปดิกซ์ (spadix) ออกดอกตามซอกใบ ก้านช่อดอกสั้น ช่อดอกมีกาบ (spathes) เป็นแผ่นสีเขียวอ่อนหุ้มไว้ ด้านในเรียบ ส่วนทางด้านนอกจะมีขนละเอียดปกคลุม มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันอยู่ในช่อดอกเดียวกัน ดอกตัวผู้อยู่ด้านบน ดอกตัวเมียอยู่ด้านล่าง เป็นดอกที่ไม่มีกลีบเลี้ยงและกลีบดอก ที่โคนของดอกตัวผู้จะมีระยางค์แผ่นสีเขียวเชื่อมติดอยู่เป็นรูปถ้วย มีเกสรตัวผู้ 4-8 อัน ดอกตัวเมียมีระยางค์เป็นแผ่นสีเขียวติดอยู่เหนือรังไข่ ผลเป็นชนิดแบคเคท (bacdate) มีใบประดับหรือกาบ (bract) สีเขียวอ่อนติดอยู่ภายในมีเมล็ดจำนวนมากรูปร่างยาว สีน้ำตาลอ่อน

พบขึ้นตามลำคลอง หนองน้ำ บ่อเลี้ยงปลา นาข้าว และที่มีน้ำขัง ขยายพันธุ์โดยการแตกต้นอ่อน หรือแตกไหลและอาศัยเมล็ด

ประโยชน์จากจอก :

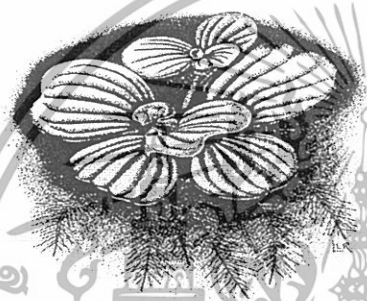
เป็นสมุนไพร ช่วยขับปัสสาวะ รักษาโรคโกโนเรีย ขับเสมหะ แก้บิด หืด ฝี และโรคผิวหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ราก และไหล (stolon)

ขนของกลีบใบ



กลีบใบ

ดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย

รูปที่ 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของจอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ผักแว่น

ผักแว่นมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า : *Marsilea crenata* Presl.

จัดอยู่ในวงศ์ : Marsileaceae

ชื่อสามัญ : Water clover, Clover fern

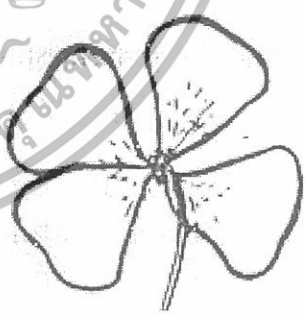
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักแว่น :

ผักแว่น เป็นเฟิร์นน้ำที่พบเห็นได้ทั่วไป ตามริมน้ำ หรือพื้นดินที่มีน้ำขังแฉะ รวมไปถึงตามนาข้าว ที่ชาวนาถือว่าเป็นวัชพืช ลักษณะทั่วไป ลำต้นเหง้า เป็นเส้นกลม เลื้อยยาว ทอดนอนไปตามผิวดิน หรือผิวน้ำ มีขนสีน้ำตาลซีด เหง้าอ่อนมีสีเขียวซีด เมื่อแก่เป็นสีน้ำตาล แตกกิ่งสาขาไม่แน่นอน มีใบออกค่อนข้างถี่ มีระบบรากงอกจากเหง้าเฉพาะบริเวณที่โคนก้านใบ ก้านใบงอกออกจากด้านข้างเหง้า สีฟางอ่อนอมเขียว ถึงสีน้ำตาลเข้ม ก้านใบยาวได้มาก หากต้นจมอยู่ในน้ำ ผิวก้านเกือบเกลี้ยง หรือมีขนเล็กน้อย ใบ เป็นใบประกอบรูปพัด มีใบย่อย 4 ใบ โคนใบย่อยออกจากจุดเดียวกันตัวใบย่อย ไม่มีก้าน เป็นแผ่นกลมหรือรูปลิ่ม ปลายกว้างโค้ง ขอบเรียบ หรือเป็นคลื่น โคนใบรูปลิ่มกว้าง ผิวใบค่อนข้างเกลี้ยง หรือมีขนตอนที่ยังเป็นใบอ่อนถุงใส่สปอร์ เป็นก้อนแข็ง คล้ายเมล็ดถั่ว รูปขอบขนาน ยาว 2-3 ม.ม. ปกคลุมด้วยขน หลุดร่วงง่าย มีก้านสั้น เกิดที่โคนก้านใบผักแว่น มักขึ้นอยู่ตามแหล่งน้ำตื้น ๆ ที่มีดินโคลน และได้รับแสงแดดเต็มที่เกือบตลอดวัน

ประโยชน์จากผักแว่น :

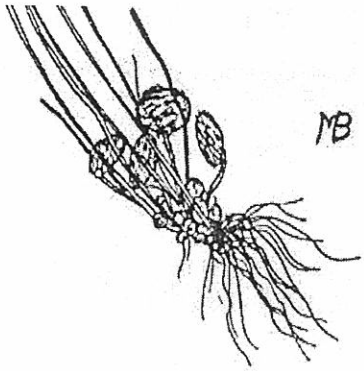
ใบใช้รับประทานเป็นผัก และมีสรรพคุณทางสมุนไพรรักษาโรค

อับสปอร์

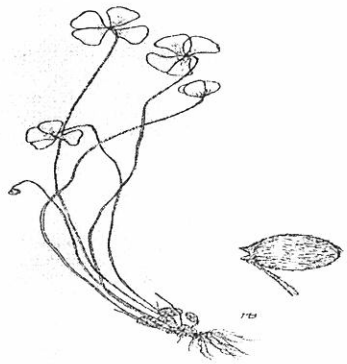


ใบ

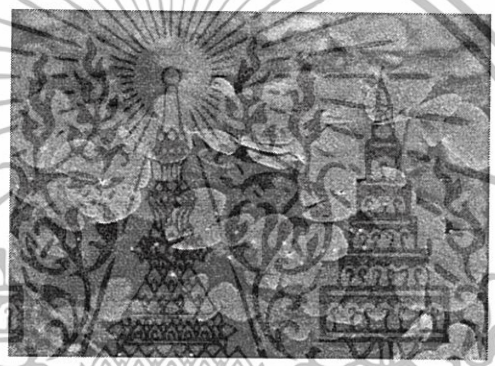
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ราก



ลำต้น



รูปที่ 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักแว่น

2.1.3 สาหร่ายหางกระรอก

สาหร่ายหางกระรอกมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า : *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle.

จัดอยู่ในวงศ์ : Hydrocharitaceae

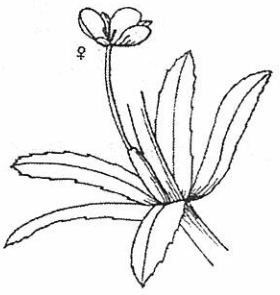
ชื่อสามัญ : Hydrilla

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสาหร่ายหางกระรอก :

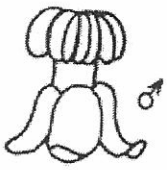
เป็นพืชใต้น้ำมีอายุข้ามปี ชอบขึ้นตามคูน้ำ หนองบึง อ่างเก็บน้ำทั่วไป แพร่ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว มีลำต้นเป็นสายเรียวยาว รากยึดพื้นดิน หรือบางครั้งอาจลอยน้ำ แตกกิ่งก้านมาก ใบเป็นแผ่นบางเรียวยาวขนาดเล็ก ไม่มีก้านใบขอบใบจักเป็นซี่เล็ก ๆ แตกรอบข้อของลำต้นเป็นชั้น ๆ ละ 3-8 ใบ ดอกออกตามซอกใบ ดอกตัวผู้มีก้านดอกสั้น ดอกตัวเมียมีก้านดอกยาว ส่งดอกขึ้นมาบานเหนือน้ำ

ประโยชน์จากสาหร่ายหางกระรอก : ใช้เป็นอาหารปลา และปลูกเป็นไม้ประดับในตู้ปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เกสรตัวเมีย



เกสรตัวผู้

รูปที่ 2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสาหร่ายหางกระรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โครเมียม

โครเมียม (Cr) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 เกิดตามธรรมชาติในรูปของโครไมต์ หรือสินแร่โครม-ไอออน ($FeOCr_2O_3$) มีอยู่ประมาณ 0.037 % ของเปลือกโลก ทั่วทั้งโลกจะมีความเข้มข้นของโครเมียมในดินอยู่ในช่วงตั้งแต่ปริมาณน้อยมาก ๆ จนถึง 2.4 % ขณะที่ความเข้มข้นในบรรยากาศจะมีอยู่ในช่วง 0.001 - 0.007 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เลขออกซิเดชันของโครเมียมมีตั้งแต่ -2 ถึง +6 (ชัยวัฒน์, 2525)

- โครเมียม (-2 ถึง 0) พบมากในคาร์บอนิลและสารประกอบโลหะอินทรีย์
- เฮกซะคาร์บอนิลโครเมียม [$Cr(CO)_6$] มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวคงตัวในอากาศและไม่ละลายน้ำ
- โครเมียมไดวาเลนท์ [Cr(II)] เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงและถูกออกซิไดส์เป็นโครเมียมไตรวาเลนท์ [Cr(III)] โดยอากาศ
- โครเมียมไตรวาเลนท์ เป็นวาเลนซี่ที่เสถียรเป็นรูปที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ในสภาวะกรด $[Cr(H_2O_2)_6]^{3+}$ และในสภาวะด่าง $[Cr(OH)(H_2O)_5]^{2+}$
- โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ พบมากในธรรมชาติพอ ๆ กับ โครเมียมไตรวาเลนท์ แต่พบในรูปของสารประกอบที่มีออกซิเจน ตัวอย่างเช่น
  - โครเมียม (VI) ออกไซด์ (กรดโครมิก : CrO_3)
  - โครเมียมคลอไรด์ (CrO_2Cl_2)
  - คลอโรโครเมต (CrO_3Cl)
  - โครเมต (CrO_4^{2-})
  - ไดโครเมต ($Cr_2O_7^{2-}$)

เมื่อไดโครเมตละลายน้ำ จะได้โครเมตดังสมการ

$$Cr_2O_7^{2-} + H_2O \rightleftharpoons CrO_4^{2-} + 2H^+$$

โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงมาก ภายใต้สภาวะกรด (พีเอช 0)

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้มีการนำโครเมียมมาใช้อย่างกว้างขวาง เป็นเวลากว่า 10 ปี เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก รงควัตถุ สีทา สีย้อม สารยืดอายุไม้ สารป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ การชุบโครเมียมและการฟอกหนัง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเติม

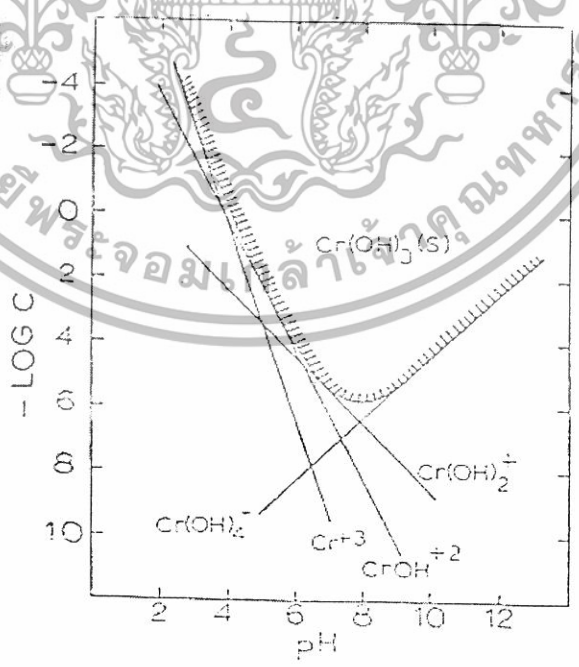
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบโครเมียมลงในน้ำหล่อลื่นเย็น เพื่อป้องกันการกัดกร่อน อุตสาหกรรมการชุบเพลทโลหะและ การประดิษฐ์ส่วนประกอบรถยนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการนำโลหะมาชุบโครเมียมมากที่สุดและมีความเป็นไปได้ว่าในระยะยาวจะมีการสะสมและกระจายตัวของโครเมียมในระบบนิเวศเพิ่มมากขึ้น

ธาตุโครเมียมจะไม่พบในสถานะอิสระในธรรมชาติ แร่โลหะที่พบบ่อย คือ โครไมต์ ($FeOCr_2O_3$) ซึ่งใช้ในการผลิตโซเดียมไดโครเมต เป็นสารเคมีขั้นปฐมภูมิของสารประกอบโครเมียมตัวอื่น ๆ ในอุตสาหกรรม เช่นการฟอกหนัง การผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมสิ่งทอ สารกัดกร่อนโลหะ เป็นต้น โรงงานต่าง ๆ จะปล่อยน้ำทิ้งที่มีโครเมียมเจือปนอยู่ในรูปโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ซึ่งในสภาวะธรรมชาติโครเมียมไตรวาเลนท์จะเสถียรกว่าโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในสภาวะเป็นกรด และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์จะเสถียรขึ้นที่พีเอชมากกว่า 12

ความสามารถในการออกซิไดส์ของโครเมียมไตรวาเลนท์ไปเป็นโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และอัตราส่วนที่มีแต่ละชนิดของโครเมียมไตรวาเลนท์ ตามธรรมดาแล้วจะตกตะกอนภายใต้สภาวะธรรมชาติ หรือภายใต้สภาวะเบสเล็กน้อย คือ ประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 8.5 โดยประมาณการละลายของโครเมียมไฮดรอกไซด์นี้จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพีเอช การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายจะเพิ่มค่าพีเอช เนื่องจากสูตรของ $Cr(OH)_4^-$ และชนิดของ Hydrolysis อื่น

การเคลื่อนย้ายระหว่างโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เป็นระบบ Oxidation และ Reduction ดังกราฟรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การละลายของ $Cr(OH)_3$ กับ ค่าพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ปฏิกิริยารีดักชันสามารถทำให้โครเมียมเฮกซะวาเลนท์เปลี่ยนอยู่ในรูปโครเมียมไตรวาเลนท์ในสารละลายกรดได้ (pH 2-3)

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

ในการมีอยู่ของ Fe^{2+} จะพบ Cr^{6+} ถูกรีดิวซ์ที่พีเอช 6.5-8.5

$$3Fe^{2+} + CrO_4^{2-} + 7H_2 \longrightarrow 3Fe(OH)_3 + Cr(OH)_2^+ + 3H^+$$

จึงชี้ให้เห็นว่าการลดลงของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ อาจเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าจะเกิดปฏิกิริยากับซัลไฟด์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (ซึ่งเกิดจากการสลายของสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียซัลเฟตรีดักชันหรือโดยการปล่อยของเสียอุตสาหกรรมที่แน่นอน) การผลิตโครเมียมไตรวาเลนท์ โดยปฏิกิริยานี้ น่าจะเป็นไปได้ที่จะถูกดูดซึมโดยตะกอนและถูกกำจัดออกจากสารละลาย

ปฏิกิริยา Oxidation ของโครเมียมไตรวาเลนท์ ที่พีเอช 6.5-8.5

$$2Cr(OH)_2^+ + 1.5O_2 + H_2 \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 6H^+$$

อย่างไรก็ตามโครเมียมอาจเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาอื่น ๆ เช่น การดูดซับอนุภาค เป็นต้น (Paul and Cart, 1996)

2.2.1 แหล่งกำเนิดโครเมียม

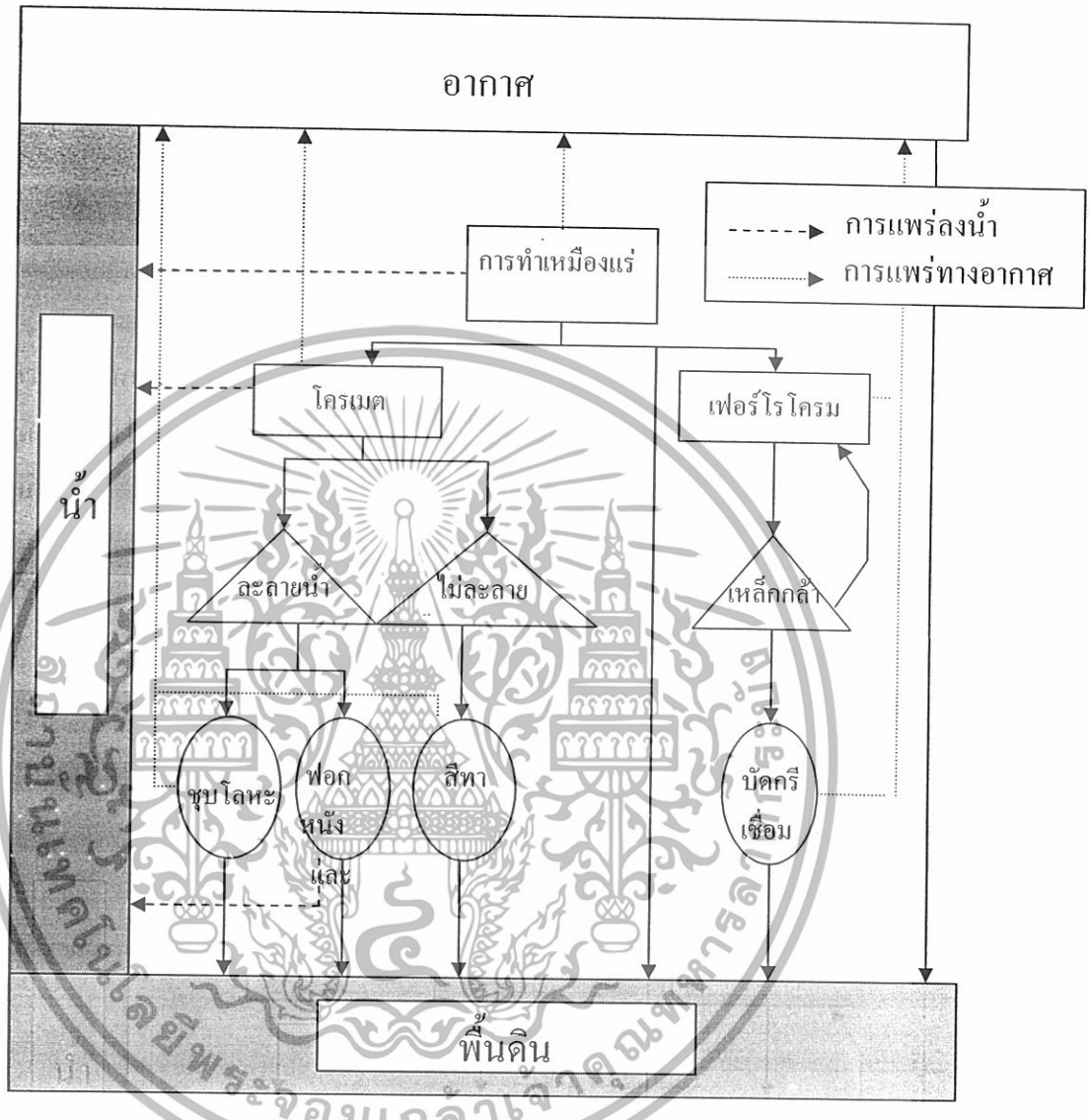
ปกติในธรรมชาติจะพบแหล่งกำเนิดโครเมียมไตรวาเลนท์มาก แต่โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ นั้นมักเกิดจากกิจกรรมอุตสาหกรรม เช่นจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่จะมีการปล่อยโครไมต์ในรูปโครม-ไอออน ($FeO.Cr_2O_3$) บางครั้งก็ออกมาในรูปแร่โครไมต์โดยตรง

โซเดียมโครเมต (Na_2CrO_4) เป็นผลผลิตที่มาจากการเผาโครไมต์กับโซเดียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งในปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่ในการลดปริมาณแคลเซียมออกไซด์ในกระบวนการผลิตแคลเซียมโครเมต ($CaCrO_4$) ที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา สารประกอบไดโครเมต (เช่น $Na_2Cr_2O_7$, $K_2Cr_2O_7$) โครมิกออกไซด์ (CrO_3) กรดโครมิก ($H_2Cr_2O_7$) และออกไซด์ของโครเมียม ล้วนได้มาจากรูปของโซเดียมโครเมต

แร่โครไมต์สามารถถูกกำจัดได้หลายวิธีเหมือนกับการกำจัดอะลูมิเนียม คาร์บอน และซิลิคอน แร่โครไมต์ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตโครเมียมอัลลอยด์ และโครม-อัลลัม (chrome alum หรือ $NH_4Cr(SO_4)_2 .12H_2O$) และ 70% ของปริมาณโครเมียมที่ใช้ทั้งหมด นำมาผลิตโลหะอัลลอยด์ที่ใช้ในงานสแตนเลส เหล็กทนความร้อน และงานเชื่อม ซึ่งโครเมียมจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมเหล็กอัลลอยด์จะมีเลขออกซิเดชันเป็นศูนย์ จึงไม่มีอันตราย แต่ปัจจุบันมีการนำสแตนเลสกลับมาใช้ใหม่ ช่วยลดการเกิดโครเมียมเฮกซะวาเลนท์จากกระบวนการผลิตโลหะอัลลอยด์ได้มาก



รูปที่ 2.5 แหล่งกำเนิดโครเมียมในอุตสาหกรรม

จากรูปที่ 2.5 แหล่งกำเนิดโครเมียมเริ่มจากการทำเหมืองแร่ นำแร่แปรรูปเป็นเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมชุบโลหะ ฟอกหนัง สีทา การเชื่อมหรือเคลือบด้วยโครเมียม ซึ่งกิจกรรมจากอุตสาหกรรมเหล่านี้ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของโครเมียมออกสู่สิ่งแวดล้อมในวงกว้างทั้งในน้ำ ในดิน และในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความเป็นพิษของโครเมียมต่อพืช

สารประกอบโครเมียมมีความเป็นพิษสูง และเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช ที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ของโครเมียมจะไม่ส่งผลต่อพืชบางชนิด ที่ปริมาณ 100 ไมโครเมตรต่อกิโลกรัมโครเมียมมีความเป็นพิษสูงสุด โดยพิษของโครเมียมขึ้นอยู่กับวาเลนซี่ โครเมียมเฮกซะวาเลนท์มีความเป็นพิษสูง และ mobile ง่าย ขณะที่โครเมียมไตรวาเลนท์มีความเป็นพิษน้อยกว่า เนื่องจากโครเมียมเป็นพิษและไม่ใช่แร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืช พืชจึงไม่มีกลไกเฉพาะที่ทำหน้าที่ดูดซับโครเมียม ดังนั้นการดูดซับโครเมียมจึงผ่านตัวพาที่ใช้ดูดซับโลหะที่จำเป็นต่อพืชในการสันดาป ความเป็นพิษของโครเมียมขึ้นอยู่กับอนุพันธุ์ของโลหะซึ่งจะบอกถึงการดูดซับ การลำเลียง และการสะสมของโครเมียม วิถีของการส่งผ่าน โครเมียมเฮกซะวาเลนท์เป็นกลไกแบบแอคทีฟซึ่งเกี่ยวพันกับตัวพาที่ทำหน้าที่ลำเลียงแอนไอออนที่จำเป็นต่อพืช เช่น ซัลเฟต เหล็ก ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส แอนไอออนพวกนี้จะแข่งขันกับโครเมียม เพื่อแย่งกันจับกับตัวพา ส่วนของพืชที่ดูดซับโครเมียมไว้ได้มากสุดคือ บริเวณราก และส่วนที่ดูดซับโครเมียมไว้ได้น้อยสุดคือ บริเวณอวัยวะที่ทำหน้าที่สืบพันธุ์ เหตุผลที่พืชมีการดูดซับโครเมียมไว้ได้มากที่บริเวณราก เนื่องมาจากโครเมียมจะถูกตรึงไว้ในแวคคิวโอที่เซลล์ของราก

2.2.3 บุคคลที่ได้รับอันตรายจากโครเมียม

ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการชุบโครเมียมและขัดเงาโลหะที่ชุบโครเมียม สีที่มีส่วนประกอบของโครเมียม โรงงานฟอกหนังซึ่งมีการใช้สารประกอบโครเมียม การล้างอัดรูปซึ่งมีการใช้สารประกอบโครเมียม และประชาชนที่อยู่ใกล้โรงงานดังกล่าวจะได้รับผลกระทบเนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานเหล่านี้จะมีส่วนผสมของโครเมียม ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ และถ้าประชาชนใช้น้ำจากแหล่งน้ำเหล่านั้นก็จะเป็นอันตรายต่อร่างกายได้

2.2.4 อันตรายที่เกิดจากโครเมียม

โครเมียมที่มีอยู่สถานะทั่วไปในธรรมชาติ คือ โครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ กรณีของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ จะมีความเป็นพิษมากกว่าโครเมียมไตรวาเลนท์ประมาณ 100 เท่า โลหะโครเมียมบริสุทธิ์จะไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เกลือที่ละลายน้ำของโครเมียมไตรวาเลนท์ทั้งออกไซด์และฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำจะไม่เป็นพิษ

1. แผลจากโครเมียมเกิดจากการสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มเป็นรอยถลอกที่ผิวหนังและจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บตามข้อที่นิ้วมือหรือหลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลม ขอบค่อนข้างเรียบ บุ๋มลึกลงไป ปกติมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรหรือเล็กกว่า ซึ่งจะมองดูคล้ายถูกเจาะด้วยตะปู ถึงแม้ว่าแผลนี้จะไม่เจ็บปวดแต่จะคันมากในเวลากลางคืน ต่อไปแผลอาจเกิดการติดเชื้อขึ้น และอาจทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียง ซึ่งอาจทำให้ต้องตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิ้วทิ้ง ฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิกอาจตกลงบนหนังตาหรือที่ปลายจมูกซึ่งอาจเกิดแผลขึ้นได้เช่นเดียวกัน

2. ผิวหนังอักเสบ บริเวณที่อาจเกิดการอักเสบ ได้แก่ มือ แขน ขา ใบหน้า และหน้าอก อาจเกิดเมื่อมีคนงานมาทำงานแล้วประมาณ 6 เดือน ในรายที่รุนแรงใบหน้าจะมีสีแดงเข้มและบวม ส่วนที่อักเสบจะคันมาก และอาจเจ็บแสบด้วย

3. ผนังกั้นในจมูกถูกเจาะทะลุ คนที่ทำงานเกี่ยวกับโครเมียมจะได้รับควันกรดโครมิกหรือฝุ่นละออง เป็นประจำจะทำให้ผนังกั้นในรูจมูกถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุนี้คนงานจะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใด จะรู้สึกตัวก็ต่อเมื่อมีเสียงอู้อี้ หรือดั้งจมูกแบนลง

4. มะเร็งปอด อาจเกิดกับคนงานที่สูดเอาโครเมียมเข้าสู่ร่างกายอยู่เป็นประจำ และเป็นเวลานาน ซึ่งอาจเป็นอันตรายอย่างมากแก่ชีวิต

2.2.5 การกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

การกำจัดโครเมียมออกจากน้ำโดยวิธีทางเคมีและทางฟิสิกส์ มีหลายเทคนิคที่นำมาประยุกต์ เพื่อใช้กำจัดโครเมียมออกจากน้ำดังนี้

1. การรีดักชั่น

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งเทคนิคการบำบัดโดยวิธีนี้คือ จะต้องปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็น 3.0 หรือต่ำกว่าด้วยกรดซัลฟิวริก แล้วเปลี่ยนโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ไปเป็นโครเมียมไตรวาเลนท์ โดยใช้สารเคมี (Reducing Agent) ยกตัวอย่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมไบซัลไฟต์ หรือ เฟอรัสซัลเฟต แล้วกำจัดโครเมียมไตรวาเลนท์ออกไป โดยทำให้ตกตะกอนด้วยปูนขาว การรีดิวส์โครเมียมเฮกซะวาเลนท์นี้จะไม่ได้ผล 100 % โดยจำนวนของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ที่ไม่ถูกรีดิวส์จะขึ้นกับเวลาที่ทำปฏิกิริยา พีเอช ความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีที่ใช้ ปกติสารที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

2. การแลกเปลี่ยนประจุ

การแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange) ในการกำจัดโครเมียมไตรวาเลนท์ และจะใช้การแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion Exchange) ในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ เพราะน้ำเสียในอุตสาหกรรมมักจะพบโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในรูปของโครเมต เมื่อเรซินที่แลกเปลี่ยนประจุลบอิ่มตัวก็จะทำรีเจนเนอเรท (ปกติใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์) เพื่อจะเอาโครเมตออกมา โซเดียมโครเมตอาจนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เพื่อนำกรดโครมิกกลับมาใช้ใหม่หรือไม่ก็นำไปกำจัดโดยรีดิวส์ให้เป็นโครเมียมไตรวาเลนท์ แล้วตกตะกอนด้วยปูนขาว วิธีบำบัดวิธีนี้ ทำให้สามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นการลดต้นทุนทางเศรษฐกิจ

3. การระเหย

นำน้ำที่มีโครเมียมปนเปื้อนมาผ่านกระบวนการระเหยเอาน้ำออก จากนั้นน้ำเอาไอน้ำไปผ่านการหล่อเย็นเพื่อนำไปใช้ได้อีก วิธีนี้นิยมใช้กับการบำบัดน้ำหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตกตะกอนด้วยสารเคมี

ตกตะกอนโครเมียมไตรวาเลนท์โดยใช้สารเคมี เช่น แบเรียมคาร์บอเนต ปูนขาว และโซดาไฟ ตะกอนที่ได้นำไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบ

5. การสกัดด้วยตัวทำละลาย

นำน้ำที่ผ่านการใช้แล้วที่มีโครมิกเป็นองค์ประกอบ มาทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อแยกเอากรดโครมิกออกจากสารอื่นและสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ตัวทำละลายที่ใช้ ได้แก่ อะซีโตน

6. รีเวิร์สออสโมซิส

นำน้ำเสียที่มีโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ มาผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นขึ้นก่อน แล้วจึงนำน้ำไปผ่านกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิส ทำให้ได้น้ำอ่อนที่มีไอออนของโครเมตซึ่งสามารถนำไปหมุนเวียนใช้ใหม่ได้

2.3 การฟื้นฟูด้วยพืช

การฟื้นฟูด้วยพืชเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่เพิ่งนำมาใช้ใน ค.ศ. 1991 โดยใช้พืชช่วยดูดซับหรือเปลี่ยนรูปมลพิษที่มีอยู่ในดิน น้ำ น้ำใต้ดิน หรือแม้แต่ในอากาศ หรืออาจเป็นการใช้สารที่พืชปล่อยออกมาจากรากช่วยกระตุ้นจุลินทรีย์ที่อยู่ในรากให้ช่วยย่อยสลายมลพิษ ทั้งนี้มลพิษในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อย (hydrophobic organic compounds) สารพิษเหล่านี้จะสะสมในพืชโดยอาศัยกระบวนการดูดซับ และปลดปล่อย (sorption and desorption) สารพิษที่เกิดขึ้นภายในพืช สำหรับระยะแรกที่เป็นกระบวนการดูดซับนั้นจะใช้เวลารวดเร็วตั้งแต่เป็นนาทีถึงเป็นชั่วโมงเท่านั้น ส่วนระยะที่สองเป็นระยะปลดปล่อยที่ใช้เวลาค่อนข้างนาน คืออาจเป็นสัปดาห์หรือเป็นปี สำหรับกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งสองระยะนั้นปรากฏว่าระยะที่ 2 มีความสำคัญมากกว่าระยะแรก เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อยนี้มีคุณสมบัติที่คงทนในธรรมชาตินาน ดังนั้นถ้ากระบวนการดูดซับและปลดปล่อยใช้เวลานานก็จะทำให้ปริมาณสารสามารถสะสมในสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้นและอยู่ได้นานขึ้นด้วย

การดูดซับสารพิษของพืชนั้นจะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสาร ชนิดของพืช และองค์ประกอบของดิน เนื่องจากในปัจจุบันพืชชั้นสูงมีจำนวนมากกว่า 250,000 ชนิดและมีสารพิษอยู่มากกว่า 1,000 ชนิดที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม กลไกการดูดซับในพืชแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน ในงานวิจัยของ Chiou และคณะ (2001) ได้กล่าวถึงการรับสารพิษจากดินไว้ใน Partition –Limit Model ว่า สารจะมีการแพร่อยู่ระหว่าง ดินกับน้ำในดิน (partition) อย่างสมดุล สารที่อยู่ในดินจะแพร่ไปอยู่ในน้ำในดินแล้วจึงถูกดูดซับเข้าไปในราก จากนั้นสารจึงเคลื่อนที่จากรากไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นโดยลำเลียงผ่านท่อขนส่งน้ำและอาหารของพืช (xylem และ phloem) และอาศัยกระบวนการคายน้ำของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการดูดซับสารต่าง ๆ นั้นคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารจะมีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ระหว่างออคตานอลกับน้ำ (octanol/water partition coefficient)

สัมประสิทธิ์การแพร่ระหว่างออคตานอลกับน้ำ (octanol/water partition coefficient, K_{ow}) เป็นค่าที่บอกความสามารถของสารว่าละลายในไขมันได้ดีเพียงใด ถ้าค่านี้สูงสารนั้นจะละลายในไขมันได้ดีมาก และด้วยเหตุที่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยเซลล์เมมเบรนที่มีชั้นไขมันเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นสารที่มีค่า K_{ow} สูงจะถูกดูดซึมเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้มาก การศึกษาของ Briggs และคณะ (1982) ของ Ryan และคณะ (1988) และของ Wenzel และคณะ (1999) ได้รายงานว่าการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ในพืชจะขึ้นกับคุณสมบัติในการละลายในไขมันของสาร โดยเฉพาะสารที่มีค่า log K_{ow} ระหว่าง 0.5 ถึง 3 ส่วนการเคลื่อนที่ของสารภายในพืชนั้น Paterson และคณะ (1990) ได้กล่าวว่า สารที่มีค่า log K_{ow} มากกว่า 1.8 จะเคลื่อนที่จากรากไปสู่ลำต้นได้น้อยลง และส่วนใหญ่จะถูกเก็บสะสมในราก

กลไกการดูดซับ

การฟื้นฟูโดยใช้พืชหรือวิธี phytoremediation นั้นเป็นการนำความรู้เกี่ยวกับกลไกการดูดซับธาตุอาหารของพืชมาใช้ดังนี้คือ

1. ธาตุอาหารที่พืชต้องการ คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ดังนั้นการปลูกพืชในน้ำหรือในพื้นที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง พืชจะช่วยดูดซับธาตุอาหารทั้งสองไว้ ทำให้พืชเติบโตได้เร็วขึ้น ขณะเดียวกันน้ำและดินบริเวณนั้นก็จะมีธาตุอาหารทั้งสองปนเปื้อนน้อยลง
2. การที่พืชช่วยรับโลหะและสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ต้องการเข้าไป สารที่รับเข้าไปจะสามารถเกาะกับเนื้อเยื่อของพืชได้ ทำให้สารถูกกำจัดออกจากดินและน้ำใต้ดิน เช่น การดูดซับโลหะกับสารอินทรีย์ (organic matter) จากดินหรือจากน้ำแล้วเข้าสู่กระบวนการสร้างลิกนิน (Lignification) ในพืช ทำให้สารที่เปลี่ยนรูปนั้นสามารถเกาะกับเนื้อเยื่อของพืช และสะสมในพืชได้
3. รากของพืชช่วยทำให้สภาพแวดล้อมในบริเวณรากมีความเหมาะสำหรับจุลินทรีย์ที่จะแพร่พันธุ์หรือเจริญเติบโต เช่น รากปล่อยสารซึ่งอาจเป็นสารประกอบฟีโนลิค กรดออร์แกนนิค แอลกอฮอล์ หรือโปรตีนเพื่อให้เชื้อราหรือจุลินทรีย์ที่อยู่ในบริเวณใกล้ ๆ พืชนั้นเจริญเติบโตได้ดีขึ้น รวมทั้งทำให้กระบวนการย่อยสลายต่าง ๆ เกิดได้ดีขึ้นด้วย
4. พืชจะสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาโดยกระบวนการคายน้ำของพืช (transpiration process) ทำให้น้ำที่มีสารปนเปื้อนถูกดูดซับไว้ในพืช ขณะเดียวกันก็ทำให้การเคลื่อนที่ของสารพิษในชั้นน้ำใต้ดินถูกจำกัด การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าพืชที่ใช้น้ำมากและเจริญเติบโตเร็ว (phreatophytic trees) จะช่วยสูบน้ำขึ้นมาได้ โดยเฉพาะพืชที่มีความยาวราก 0.7 เมตร หรือมากกว่า เช่น ต้นวิลโลว์ เพียงต้นเดียว สามารถดูดน้ำใต้ดินขึ้นมาและคายออกมาได้มากกว่า 189,000 ลิตร ต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พืชช่วยเปลี่ยนรูปของสารให้กลายเป็นสารใหม่และปล่อยออกสู่อากาศ โดยสารบางชนิดเข้าสะสมในพืชจะถูกย่อยสลายจากกระบวนการเมตาบอลิซึม หรือถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำแล้วปล่อยไปในอากาศ

จากความรู้พื้นฐานดังกล่าวจึงได้นำการฟื้นฟูด้วยพืชมาใช้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้ คือ

Rhizofiltration คือ การใช้รากพืชดูดซึมสารพิษ เช่น โลหะหนัก ทำให้ปริมาณโลหะหนักในรากเข้มข้น หรือมีการสะสมมากขึ้น

Phytoextraction คือ การสะสมหรือเก็บกักสารปนเปื้อนไว้ในเนื้อเยื่อพืชที่เก็บเกี่ยวได้ ทั้งในส่วนของรากและต้น

Phytotransformation คือ พืชช่วยย่อยสลายสารปนเปื้อนที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง และนำสารโมเลกุลเล็กนั้นไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อ

Phtostimulation คือ การที่รากพืชปล่อยเอนไซม์ออกมากระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในบริเวณนั้นทำให้สารถูกย่อยสลาย

Phytostabilization คือ การใช้พืชดูดซับหรือตกตะกอนสารปนเปื้อนโดยเฉพาะโลหะหนักเอาไว้ และทำให้สารที่อยู่ในดินนั้นเคลื่อนที่ช้าลง หรือเป็นการป้องกันไม่ให้สารเคลื่อนที่ลงสู่น้ำใต้ดินได้

ปัจจุบันมีการทดลองการดูดซับสารพิษโดยใช้รากหรือลำต้นใต้ดินอยู่มากมาย เช่น การใช้หญ้าตระกูลcanadian wildrye ดูดซับสาร trimitortoluene (TNT) และ 2,2',5 5' tetrabromobiphenyl (PPB) ในดิน) การดูดซับโลหะหนัก (As Pb Cd Cu Hg Ni Zn) และ PAHs ที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน โดยผัก (แครอท มันฝรั่ง สควอส) และผลไม้ชนิดต่าง ๆ (ลูกแพร์ แอปเปิล ลูกพลับ) เป็นต้น

นอกจากการศึกษากลไกการดูดซับมลพิษโดยพืชชนิดต่าง ๆ แล้ว การเลือกใช้พืชชนิดใดย่อมต้องคำนึงถึงการเจริญเติบโตของพืชตามปกติด้วย ในการประเมินความเหมาะสมของพืชที่ใช้ควรมีการเทียบกับประสิทธิภาพในการดูดซับมลพิษไปพร้อม ๆ กับการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชที่ทดลองปลูกในดินที่มีและไม่มีมลพิษด้วย บางครั้งดินที่มีสารปนเปื้อนอยู่บ้างกลับช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดี Alkorta and Garbisu (2001) กล่าวว่า พืชที่ระบบรากแข็งแรงและทนทาน รวมทั้งมีลำต้นที่เจริญเติบโตได้ดีจะสามารถทนต่อพิษได้มากกว่าพืชที่รากไม่แข็งแรงและเติบโตช้า พืชที่เติบโตเร็วจะทำให้ปริมาณสารที่สะสมในพืชสูงขึ้นช้ากว่ามวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณการสะสมต่อหน่วยมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นช้าและไม่เป็นอันตรายต่อพืช

พฤติกรรมของสารเริ่มต้นและสารเมตาบอไลท์ (metabolite) เป็นประเด็นที่ต้องพิจารณาด้วย สารที่ถูกลำเลียงไปที่ลำต้นอาจระเหยออกสู่อากาศ สลายตัวไปหรือเปลี่ยนสภาพกลายเป็นสารตัวใหม่และกลายเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อเยื่อพืชที่ไม่แพร่ออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกต่อไป การเปลี่ยนแปลงหรือความเป็นไปเหล่านี้ล้วนมีผลทางอ้อมต่อมลพิษในดิน เช่น การคายน้ำของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ต้นอัลฟาฟ่าช่วยเพิ่มอัตราการระเหยน้ำจากดิน ทำให้สามารถลดระยะเวลาที่ต้องใช้ในการกำจัด Methyl Tertiary-Butyl Ether (MTBE) จากน้ำใต้ดิน และต้นอัลฟาฟ่าช่วยย่อยสลายสาร MTBE

จากความรู้ที่กล่าวแล้วนี้ทำให้สามารถสรุปคุณสมบัติที่พืชควรมี เพื่อใช้ในการฟื้นฟู คือ พืชนั้นควรสามารถสะสมสารได้มาก และทนทานต่อสารพิษปริมาณสูง ๆ ได้ดี ผู้ดำเนินการควรเลือกพืชที่เจริญเติบโตเร็ว และสร้างมวลชีวภาพได้มาก มีรากยาวหนาแน่น และสามารถเพิ่มความหนาแน่นได้เร็ว และที่สำคัญต้องไม่เป็นอาหารสัตว์มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการปนเปื้อนในห่วงโซ่อาหาร

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อจำกัดของวิธี การฟื้นฟูด้วยพืช

ข้อดี	ข้อจำกัด
1. ใช้กับบริเวณที่มีสารปนเปื้อนได้ทันที	1. ใช้ระยะเวลาในการฟื้นฟูนาน
2. ใช้ได้โดยไม่จำกัด	2. จำกัดเฉพาะส่วนของน้ำใต้ดิน ดิน หรือ ตะกอนดิน
3. ขึ้นกับแสงแดด	3. ขึ้นกับสภาพภูมิอากาศและวงจรน้ำ เช่น ภาวะ
4. เสียค่าใช้จ่ายเพียง 10 -20% ของวิธีการอื่น	ที่แห้งแล้ง น้ำท่วม และขึ้นกับอัตรา
5. เร็วกว่ากระบวนการที่เกิดเองตามธรรมชาติ	เจริญเติบโตของพืช
6. การปล่อยออกสู่น้ำและอากาศไม่มาก	4. ในกรณีที่สารปนเปื้อนมีความเข้มข้นสูงมาก
7. อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ	อาจเป็นพิษต่อพืชหรือสัตว์ที่กินพืชนั้นเข้า
8. เป็นที่ยอมรับของสาธารณชน	ไปหรือ อาจเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร

107743

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิมพ์จันทร์ จินตนาวงศ์ และวรนิจ ไกรพินิจ (2545) ทำการศึกษาการสะสมโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ได้แก่ หญ้าแพรก หญ้าแฝก และหญ้าข้าวนก โดยทำการปลูกพืชลงในกระถางพลาสติกสีดำขนาด 12 นิ้ว ดินที่ใช้เก็บจากบริเวณจังหวัดสมุทรปราการ บรรจุใส่กระถางละ 5 กิโลกรัม นำมาเติมสารละลายโครเมียมที่เตรียมจากโพแทสเซียมไดโครเมต โดยทำการศึกษาที่ความเข้มข้น 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก และมีชุดควบคุม (ทำเช่นเดียวกันแต่ไม่มีการเติมโครเมียม) ระยะเวลาในการทดลอง 90 วัน และทำการเก็บตัวอย่างพืช ดิน และน้ำ มาวิเคราะห์ทุกๆ 30, 60 และ90 วัน จากผลการทดลองพบว่า หญ้าแพรกที่ปลูกในดินที่มีโครเมียม 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก สามารถสะสมโครเมียมได้ 2.55 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 90 วัน ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่น ส่วนในหญ้าแฝก ที่เวลา 60 วัน เมื่อปลูกลงในดินที่มีโครเมียม 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก พบว่า สามารถสะสมโครเมียมได้ถึง 0.35 เปอร์เซ็นต์ และหญ้าข้าวนกที่เวลา 30 วัน เมื่อปลูกในดินที่มีโครเมียม 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก พบว่าสามารถสะสมโครเมียมได้ดีที่สุด และเมื่อคำนวณหาปริมาณการสะสมโครเมียมต่อน้ำหนักแห้งของพืช พบว่า ปริมาณโครเมียมในต้นหญ้าแพรก เท่ากับ 2546.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณโครเมียมในต้นหญ้าแฝก เท่ากับ 44.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และปริมาณโครเมียมในต้นหญ้าข้าวนก เท่ากับ 78.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

พรสุดา ชุนห์ลือชานนท์ และสุวภัทร์ อภัยสุวรรณ (2545) ทำการศึกษาการสะสมโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ ต้นก้างปลา ต้นขลู่ และผักขม โดยทำการปลูกพืชลงในกระถางพลาสติกสีดำขนาด 12 นิ้ว ดินที่ใช้เก็บจากบริเวณจังหวัดสมุทรปราการ บรรจุใส่กระถางละ 5 กิโลกรัม นำมาเติมสารละลายโครเมียมที่เตรียมจากโพแทสเซียมไดโครเมต โดยมีความเข้มข้นของโครเมียมที่ใช้คือ ต้นก้างปลา ศึกษาที่ความเข้มข้น 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ต้นขลู่ ศึกษาที่ความเข้มข้น 100, 150, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ผักขม ศึกษาที่ความเข้มข้น 50, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก และมีชุดควบคุม (ทำเช่นเดียวกันแต่ไม่มีการเติมโครเมียม) ระยะเวลาในการทดลอง 90 วัน จากผลการทดลองพบว่า ต้นก้างปลาที่ปลูกในดินที่มีโครเมียม 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก สามารถสะสมโครเมียมได้ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 90 วัน ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่น ส่วนในต้นขลู่ พบว่า สามารถสะสมโครเมียมได้ถึง 0.82 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 30 วัน เมื่อปลูกในดินที่มีโครเมียม 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก แต่ในผักขมสามารถสะสะโครเมียมน้อยกว่า 0.007 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 90 วัน เมื่อปลูกในดินที่มีโครเมียมที่ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก และเมื่อคำนวณหาปริมาณการสะสมโครเมียมต่อน้ำหนักแห้งของพืช พบว่า ปริมาณโคร์เมียมใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นก้างปลาเท่ากับ 240.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณโครเมียมในต้นขลู่เท่ากับ 322.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และในผักขมมีปริมาณโครเมียมเท่ากับ 15.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

C. Mel Lyte. et al., (1998) ได้ทำการศึกษาในเรื่องการลดรูปจาก โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ไปเป็นโครเมียมไตรวาเลนท์ โดยใช้พืช wetland โดยทำการเพาะเลี้ยงผักตบชวาในสารอาหารและทำการเติมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง x-ray spectrophotometer ผลที่ได้พบว่ามีการสะสมของโครเมียมไตรวาเลนท์ซึ่งเป็นรูปที่มีความเป็นพิษต่ำในรากและหน่อ และพบการลดรูปจากโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ไปเป็นโครเมียมไตรวาเลนซ์ในรากฝอยและเคลื่อนย้ายต่อไปยังใบ เมื่อทำการศึกษาโครงสร้างโดยละเอียดของโครเมียมในใบและก้านใบเทียบกับโครเมียมในราก โดยใช้เครื่อง X-ray Absorption Spectrophotometer (XAS) พบว่ามีความแตกต่างกันในรากโครเมียมไตรวาเลนซ์จะถูกไฮเดรตด้วยน้ำ แต่ในก้านใบและใบโครเมียมไตรวาเลนท์ บางส่วนจะอยู่ในรูปออกซาเลทลิแกนด์ (oxalate ligand) ดังนั้นการลดพิษของโครเมียมโดยผักตบชวาขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับของราก

M.V. Aldich et al., (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับ และการลดรูปจากโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ไปเป็นโครเมียมไตรวาเลนซ์โดยใช้ฟักพันธุ์ต้นเตี้ย เพื่อศึกษาลักษณะความเป็นไปได้ในการกำจัดโครเมียมจากสิ่งแวดล้อม แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกทำการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชในวุ้นและมีการเติมโครเมียมลงไป โดยใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 75 และ 125 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีการสะสมอยู่ที่ใต้ใบ ในส่วนที่สอง ทำการศึกษาชนิดของลิแกนด์โครเมียม ในการดูดซับโครเมียมด้วยวุ้น ซึ่งใช้เครื่อง X-ray Absorption Spectrophotometer (XAS) ในการสรุปกลไกในการดูดซับโครเมียมที่อยู่ในเนื้อเยื่อของฟักพันธุ์ต้นเตี้ย ผลของ X-ray Absorption Spectrophotometer (XAS) สำหรับการศึกษาจะแสดงให้เห็นในรากของฟักพันธุ์ต้นเตี้ย การวิเคราะห์ข้อมูลของเนื้อเยื่อพืชสามารถแสดงให้เห็นว่าพืชสามารถรีดิวซ์โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ไปเป็นโครเมียมไตรวาเลนท์

R. Bennicelli et al., (2004) การศึกษาความสามารถของเฟิร์นน้ำ (Azolla) *caroliniana* ในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนปรอทและโครเมียม โดยการศึกษาจะเป็นการทดสอบเลี้ยงเฟิร์นน้ำ (Azolla) *caroliniana* ในน้ำที่มีการปนเปื้อน Hg^{2+} Cr^{3+} และ Cr^{6+} อยู่ด้วยเป็นเวลา 12 วัน โดยสารแต่ละชนิดจะมีความเข้มข้นปนเปื้อนอยู่ 3 ระดับ 0.1 , 0.5 และ 1.0 mg/dm^{-3} และวิเคราะห์หา Cr^{3+} และ Cr^{6+} ในน้ำและต้นเฟิร์น ด้วยเทคนิค (ICP-AES) ส่วนการวิเคราะห์หา Hg^{2+} ในน้ำและต้นเฟิร์น ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yahua Chen , Zhenguo Shen and Xiangdong Li (2004) การศึกษาถึงประสิทธิภาพของหญ้าแฝกในการฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก โดยแบ่งเป็น 3 ตอน ตอนที่ 1 ศึกษาการดูดซับและลำเลียงตะกั่วในหญ้าแฝกโดยใช้ดินที่ปนเปื้อนตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0 , 500 , 2500 , 5000 mg/kg นำแต่ละความเข้มข้นมาบำบัดด้วยอีดีทีเอเข้มข้น 0 , 0.5 , 2.5 และ 5.0 mmol/kg ตามลำดับ เป็นเวลา 14 วัน นำตัวอย่างรากและหน่อมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-AES พบว่าหญ้าแฝกสามารถทนตะกั่วความเข้มข้นสูงถึง 5,000 mg/kgในดินได้และอัตราการเคลื่อนที่ของตะกั่วจากรากไปยังหน่อสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอีดีทีเอสูงขึ้น ตอนที่ 2 ศึกษาผลของอีดีทีเอต่อการชะโลหะหนักในคอลัมน์ดินและปลูกต้นทานตะวัน โดยศึกษาโลหะหนัก 4 ชนิด คือ ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม พบว่าโลหะหนักที่เคลื่อนตัวได้ดีที่สุดคือ แคดเมียม ตามด้วย ทองแดง สังกะสีและตะกั่ว ตามลำดับ และตอนที่ 3 ศึกษาความคงตัวของโลหะหนักในคอลัมน์ดินและปลูกหญ้าแฝก โดยใช้ดินที่ไม่ปนเปื้อนโลหะหนัก พบว่าดินในคอลัมน์ที่ปลูกหญ้าแฝกสามารถดูดซับ ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และแคดเมียมไว้ได้ถึง 98%, 54%, 41% และ 88% ตาม ลำดับ แสดงให้เห็นว่าหญ้าแฝกสามารถลดโอกาสการเคลื่อนตัวของโลหะหนักลงไปปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

1. สารโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท Merck, USA
2. กรดไนตริกเข้มข้น 65% (w/w) (HNO_3)เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท Merck, USA
3. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% (w/w) (HCl) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท Merck, USA
4. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท Merck, USA
5. ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท Merck, USA
6. สารละลายอะซีโตน {$(CH_3)_2CO$} เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท J.T. Daker
7. สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท Merck, USA
8. สารโซเดียมคาร์โบเนต (Na_2CO_3) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท Merck, USA
9. สารแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท Carlo Erba
10. สารไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนออโธฟอสเฟต แอนไฮดรัส (K_2HPO_4) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท BDH Chemicals Ltd.,Poole England
11. สารโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) บริษัท Carlo Erba

3.1.2 อุปกรณ์

1. ชุดย่อยสลาย (High Performance microwave digestion unit) ของบริษัท Milestone microwave laboratory systems รุ่น MPR-300/12s
2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น AAnalyst800
3. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ของบริษัท Phamacia Biotech
4. เครื่องเขย่าสาร (Shaker)
5. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ของบริษัท GFL รุ่น 1086
6. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ Denver instrument model 250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เครื่องวัดศักยภาพออกซิเดชั่น – รีดักชั่น รุ่น 654 pH meter
8. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า รุ่น inoLab level 2
9. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าอย่างละเอียด ยี่ห้อ Precisa 205A
10. ตู้อบ (Oven)
11. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
12. กระดาษกรอง Advantec เบอร์ 41
13. ปิเปต (Pipet) ขนาด 1, 5, 10 และ 50 มิลลิลิตร
14. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100, 150, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
15. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
16. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 25, 50, 100, 250 และ 500 มิลลิลิตร
17. พาราฟิน
18. ปั๊มอากาศ และหัวฟู่เติมอากาศ
19. ครก
20. ตะแกรง
21. กะละมังพลาสติกสีดำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 68 เซนติเมตร จำนวน 12 ใบ

3.2 พืชที่ใช้ในการทำวิจัย

1. จอก *Pistia stratiotes* L.
2. ผักแว่น *Marsilea crenata* Presl.
3. สาหร่ายหางกระรอก *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle.

3.3 การเตรียมการทดลอง

3.3.1 การเตรียมพืช

1. นำพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก มาล้างน้ำทำความสะอาดให้เรียบร้อย

2. เลี้ยงในน้ำประปาที่ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 1-2 วันเพื่อให้คลอรีนอิสระระเหยให้หมด เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้พืชปรับตัวและแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมอุปกรณ์

1. นำกะละมังพลาสติกสีดำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 68 เซนติเมตร มาล้างน้ำทำความสะอาดให้เรียบร้อย

2. จากนั้นใส่กรดไนตริกเข้มข้น 10% ลงในกะละมังพลาสติกแช่ทิ้งไว้ 1 คืน แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง

สำหรับขวดพลาสติกและเครื่องแก้วเตรียมเช่นเดียวกันกับกะละมังดังวิธีข้างต้น

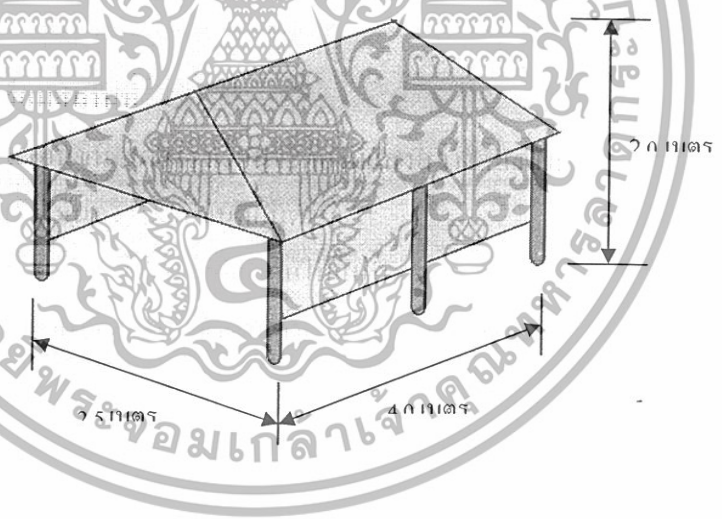
3.3.3 การเตรียมสถานที่

ได้ทำเป็นโรงเรือนขึ้น โดยโรงเรือนจะต้องมีแสงสว่างส่องผ่านอย่างเพียงพอ มีหลังคากันน้ำฝน และโครงสร้างมั่นคง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ขุดดินฝังเสาเหล็กลงไป แล้วกลบดินให้แน่น

2. ติดโครงหลังคากับเสา แล้วขึงผ้าพลาสติกกับโครงหลังคา ซึ่งจะสามารถกันฝนได้และมีแสงส่องผ่านเพียงพอต่อพืช

3. ติดผ้าพลาสติกใสกับเสาด้านข้างของโรงเรือน



รูปที่ 3.1 โรงเรือนสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดสอบสารอาหารน้ำ

1. เพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของพืช จะมีการเติมสารอาหารน้ำ คือ สารละลาย Coic-Lesaint มีสัดส่วนของ N:P:K เท่ากับ 1:0.4:1.2 โดยนำมาผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1:198

2. เติมสารอาหารใส่ลงในน้ำที่มีสารละลายโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ที่ความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 และ1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สังเกตอาการพืชเป็นระยะเวลา 7 วัน

จากการสังเกตไม่มีตะกอนเกิดขึ้นที่ทุกระดับความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ดังนั้นสำหรับ สารละลายอาหารนี้สามารถนำไปใช้ในการทดลองได้โดยที่จะไม่มีผลหรือปฏิกิริยากับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์

3.4 การศึกษาเบื้องต้น

1. นำพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก เลี้ยงในน้ำประปาที่ใส่สารอาหารน้ำในสัดส่วน 1:1:198 (โดยน้ำประปาจะตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 1-2 วัน เพื่อให้คลอรีนอิสระระเหยให้หมด) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้พืชปรับตัวและแข็งแรง

2. เมื่อพืชแข็งแรงดีแล้ว เติมสารละลายโครเมียมที่ความเข้มข้น 0 , 5 , 10 , 15 , 50 , 100 , 200 , 300 , 400 , 500 , 600 , 700 , 800 , 900 และ1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สังเกตอาการเป็นระยะเวลา 7 วัน

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าระดับความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ที่สูงกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้และตายทุกความเข้มข้นในช่วงระยะเวลาสังเกตการ 7 วัน จึงทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้นโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ที่ 5, 10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.5 การดำเนินการทดลอง

3.5.1 การเตรียมชุดการทดลอง

1. นำกะละมังพลาสติกสีดำที่เตรียมไว้ ใส่น้ำลงไปในกะละมังๆละ 10 ลิตร เมื่อเริ่มทำการทดลองจะมีการพ่นอากาศลงในน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนตลอดเวลา

2. คัดเลือกพืชมาเลี้ยงในกะละมัง จำนวน12 ต้นต่อ 1 กะละมัง โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกดังนี้

- จอก คัดจำนวนใบ ลำต้นและขนาดความสูงแต่ละต้นเท่าๆกัน
- ผักแว่น คัดจำนวนใบ ลำต้นและขนาดความสูงแต่ละต้นเท่าๆกัน
- สาหร่ายหางกระรอก ลำต้นและขนาดความสูงแต่ละต้นเท่าๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์

การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นพืช และลักษณะทางเคมีของน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามผลการศึกษา

พารามิเตอร์	เครื่องมือ/วิธีการวิเคราะห์
ลักษณะทางเคมีของน้ำ	
- พีเอช (pH)	พีเอชมิเตอร์
- ความต่างศักย์ออกซิเดชั่น – รีดักชั่น	พีเอชมิเตอร์ และ ขั้วแพลตทินัม
- สภาพนำไฟฟ้า	เครื่องวัดค่าสภาพนำไฟฟ้า
- ของแข็งละลายน้ำ	เครื่องวัดค่าสภาพนำไฟฟ้า
- ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์	การย่อยสลายในสภาวะเบส วิธีเทียบสีไดฟีนิลคาร์บาไซด์
- ปริมาณโครเมียมทั้งหมด	อะตอมมิกสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
ต้นพืช	
- การเจริญเติบโตของพืช	อัตราการรอดตาย
- ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์	การย่อยสลายในสภาวะเบส วิธีเทียบสีไดฟีนิลคาร์บาไซด์
- ปริมาณโครเมียมทั้งหมด	อะตอมมิกสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

3.5.3 การทดลอง

1. นำต้นจอก 12 ต้น ใส่ลงกะละมังที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 0, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแต่ละกะละมังมีปริมาตรสารละลาย 10 ลิตร

2. ติดตั้งตัวพ่นอากาศทุกกะละมัง

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีของน้ำ โดยตรวจวัดทุกๆ 3 วันและเติมสารอาหารน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

4. หลังจากทำการทดลองไปได้ระยะเวลา 7 วัน ให้ดึงต้นจอกออกมา 3 ต้น และเก็บน้ำในกะละมัง 100 มิลลิลิตร เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ และปริมาณโครเมียมทั้งหมด สำหรับที่ระยะเวลา 15, 21 และ 30 วัน ทำการปฏิบัติเช่นเดียวกัน

5. ทำการทดลองตาม ข้อ 1 – 4 โดยเปลี่ยนพืชเป็นผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การเก็บตัวอย่างพืช และน้ำ

1. พืช

- เก็บพืช 3 ต้น ต่อ 1 กะละมัง
- นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น
- นำมาทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง(air dry)เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักรวมของต้นพืช
- นำมาตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน และชั่งหาน้ำหนักเปียก (wet weight) ของพืช
- นำมาบดให้ละเอียด และเก็บใส่ถุงพลาสติกแบบซิป

2. น้ำ

- เก็บน้ำมา 100 มิลลิลิตร ต่อ 1 กะละมัง
- ใส่ขวดพลาสติก
- แช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.5.5 การวิเคราะห์

1. พืช

นำพืชที่บดละเอียดแล้ว มาวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งหมด (Total Chromium), โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ (Cr^{6+}) และเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1.1 นำพืชไปทำการย่อยด้วยชุดย่อยสลาย (High Performance microwave digestion unit) เพื่อหาปริมาณโครเมียมทั้งหมด ตามวิธีมาตรฐาน USEPA Method 3052 (ภาคผนวก ข.) หลังจากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 357 นาโนเมตร

1.2 การวิเคราะห์หาโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ก็จะนำพืชที่บดแล้วมาวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน USEPA Method 3060A (ภาคผนวก ข.) หลังจากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

1.3 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นมีวิธีดัง ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. น้ำ

นำน้ำที่เก็บมา แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> นำน้ำไปวิเคราะห์โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ตามวิธีมาตรฐาน USEPA Method 7196A (ภาคผนวก ข.) หลังจากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

<u>ส่วนที่ 2</u> เติมกรดไนตริกเพื่อรักษาสภาพให้ค่าพีเอชน้อยกว่า 2 นำไปทำการย่อยด้วยชุดย่อยสลาย เพื่อหาปริมาณโครเมียมทั้งหมด ตามวิธีมาตรฐาน USEPA Method 3052 (ภาคผนวก ข.) หลังจากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 357 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ลักษณะการเจริญเติบโตของ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก

4.1.1 ลักษณะอาการของพืช

จากการศึกษาการสะสมปริมาณโครเมียมในพืชน้ำ ได้แก่ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก สามารถบอกแนวโน้ม ของโครเมียมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ว่า ชุดควบคุม (พืชที่ไม่ใส่สารละลายโครเมียม) สามารถเจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่ชุดทดลองที่มีสารละลายโครเมียมที่ระดับความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก มีการเจริญเติบโตลดลงเล็กน้อย โดยพืชมีอาการขอบใบเหลืองเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมเป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่า พืชมีการเจริญเติบโตลดลงมากขึ้น พร้อมกับมีอาการขอบใบเหลืองมากขึ้น และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมเป็น 15 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่า พืชมีการเจริญเติบโตลดลงมากที่สุด แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมสูงๆ มีผลต่อการทำให้พืชชะงักหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละชนิดที่แตกต่างกันไปตามคุณลักษณะของชนิดพืชนั้นๆ

4.1.2 อัตราการรอด

จากการสังเกตอาการของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด คือ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก เป็นเวลา 30 วัน พบว่า จอกมีจำนวนต้นที่ตาย 4 ต้น จากจำนวนต้นทั้งหมด 12 ต้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนต้นจอกตาย 1 ต้น และที่ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม 15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนต้นที่ตาย 3 ต้น ส่วนผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกไม่พบจำนวนต้นที่ตาย ในทุกระดับความเข้มข้น จึงกล่าวได้ว่าผักแว่นและสาหร่ายหางกระรอกมีอัตราการรอดตายสูงกว่าจอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะอาการของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก

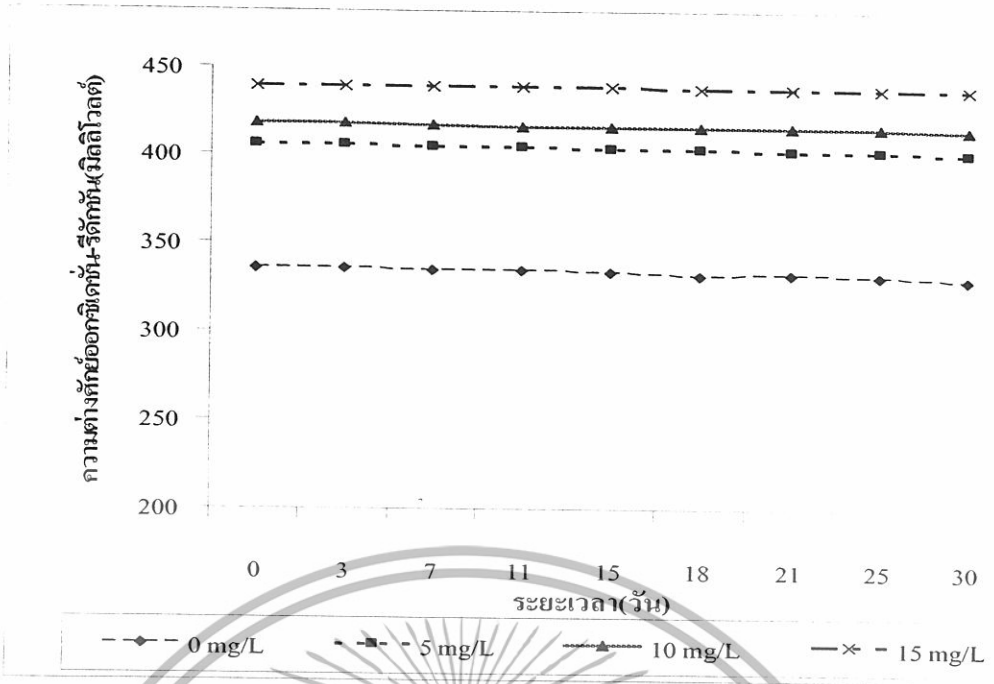
พืชที่ใช้ศึกษา	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ลักษณะอาการ
จอก	0	ใบมีสีเขียวสด รากสมบูรณ์ดี
	5	ขอบใบเริ่มเหลือง
	10	ขอบใบเหลืองมากขึ้น
	15	ใบเหลืองลอกเป็นแผ่นบาง รากเปื่อยและหลุดร่วง
ผักแว่น	0	ใบ ลำต้นมีสีเขียวสด รากสมบูรณ์ดี
	5	ใบ ลำต้นมีสีเขียว รากสมบูรณ์ดี
	10	ใบเริ่มเหลือง ลำต้นมีสีเขียว
	15	ขอบใบเหลือง
สาหร่ายหางกระรอก	0	ใบ ลำต้นมีสีเขียวสด รากสมบูรณ์ดี
	5	ใบ ลำต้นมีสีเขียว รากสมบูรณ์ดี
	10	ใบเริ่มเหลือง ลำต้นมีสีเขียว
	15	ใบเริ่มสีซีดลง ราก และโคนต้นเริ่มเหลืองและเน่า

4.2 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำ

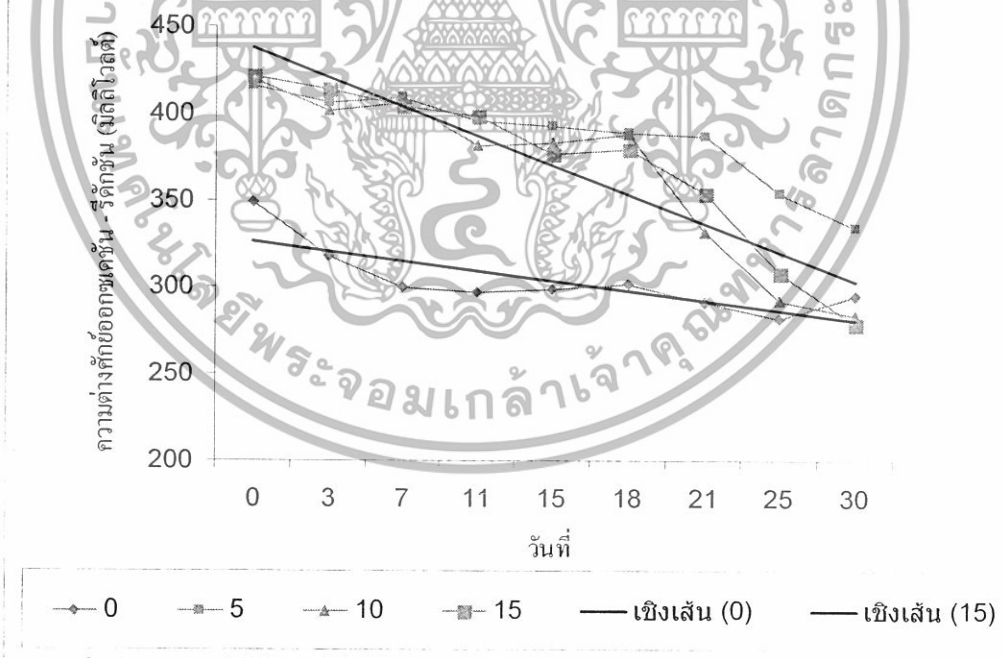
4.2.1 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชัน (ORP)

จากการทดลองเลี้ยงพืชน้ำทั้งสามชนิด คือ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำทั้งสามชนิด และน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมชุดควบคุม (ไม่ใส่พืช) เป็นระยะเวลาทุกๆ 3 วัน พบว่า ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมชุดควบคุมมีค่าคงที่ในช่วงระยะเวลา 30วัน ที่ทำการทดลอง ดังกราฟรูปที่ 4.1 ส่วนความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำทั้งสามชนิดพบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือมีแนวโน้มลดลงในทุกระดับความเข้มข้น (0, 5, 10, 15 มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อระยะเวลาผ่านไปนานขึ้น แสดงดังกราฟรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการลดลงของปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำทั้งสามชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

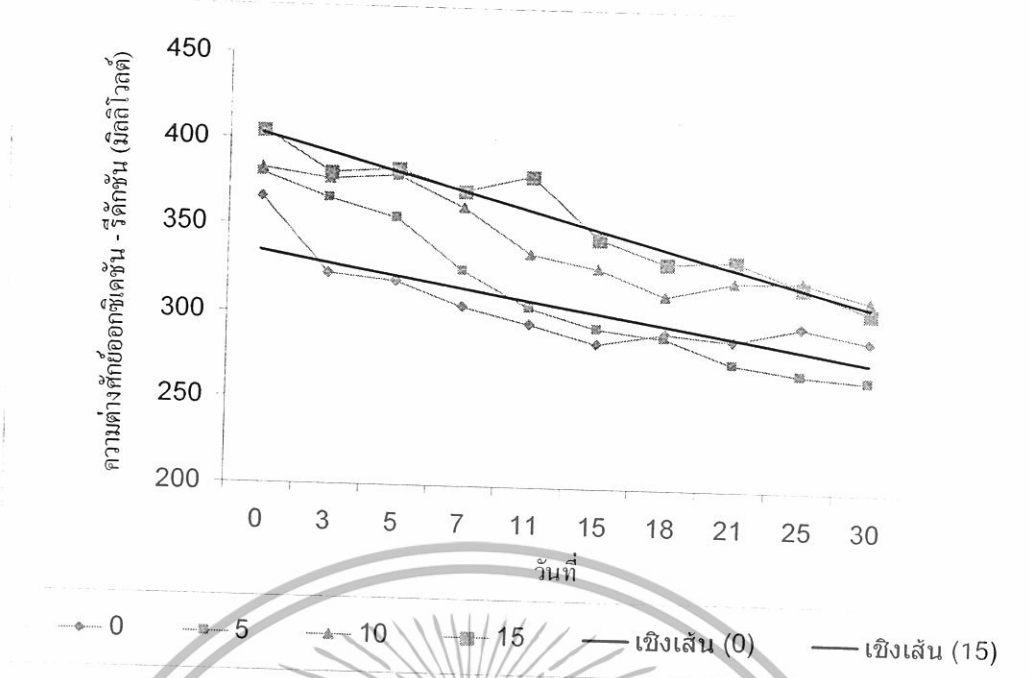


รูปที่ 4.1 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ชุดควบคุม (ไม่ใส่พืช)

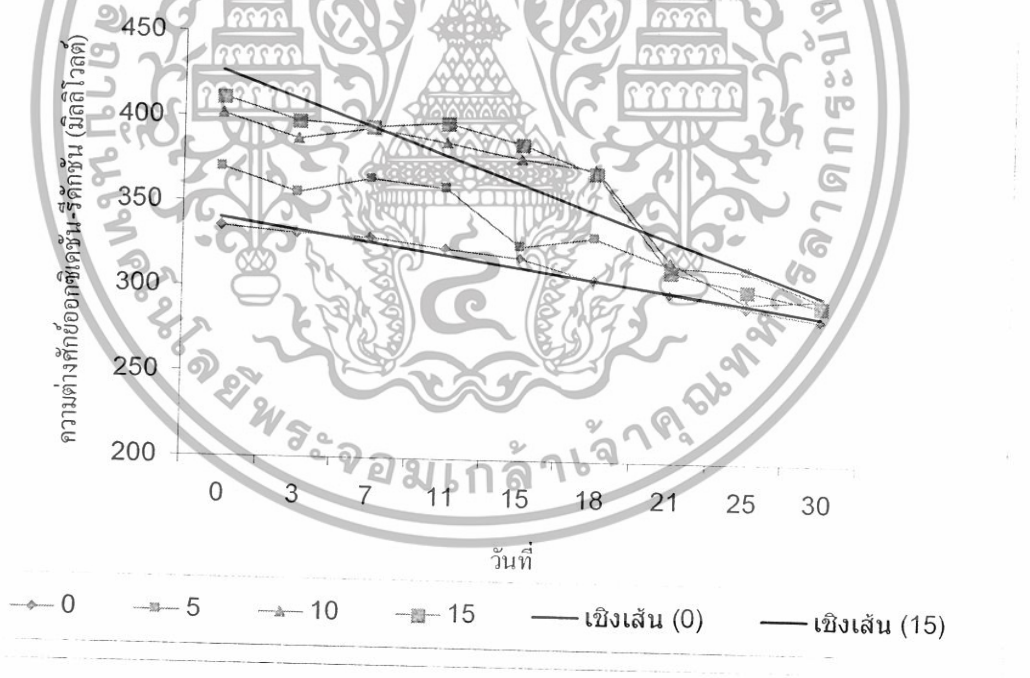


รูปที่ 4.2 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ที่เลี้ยงจอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงผักแว่น

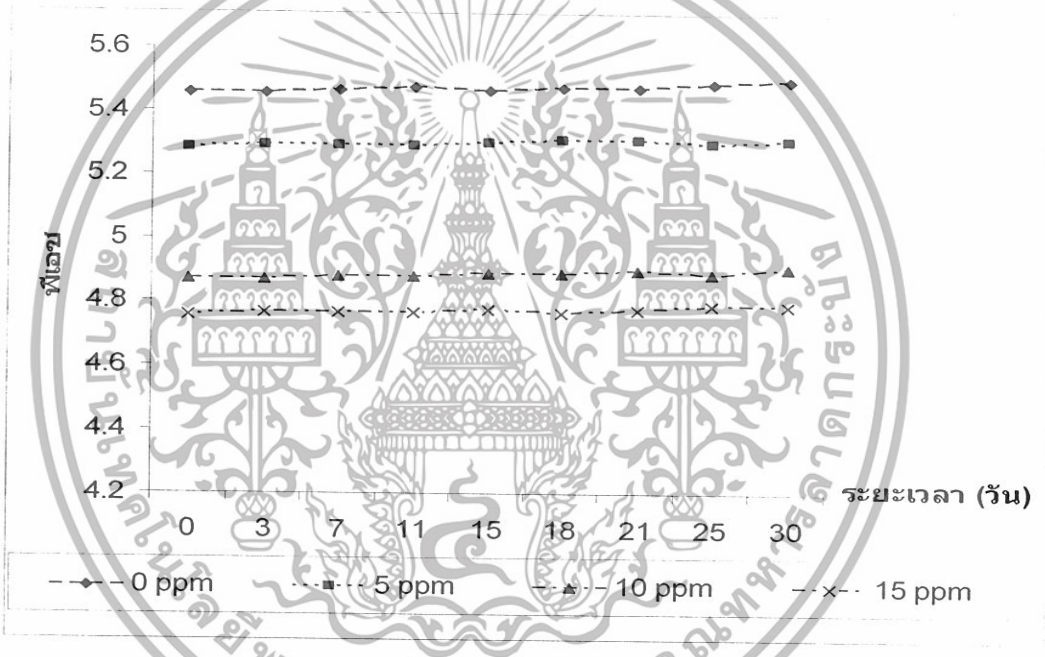


รูปที่ 4.4 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชันของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

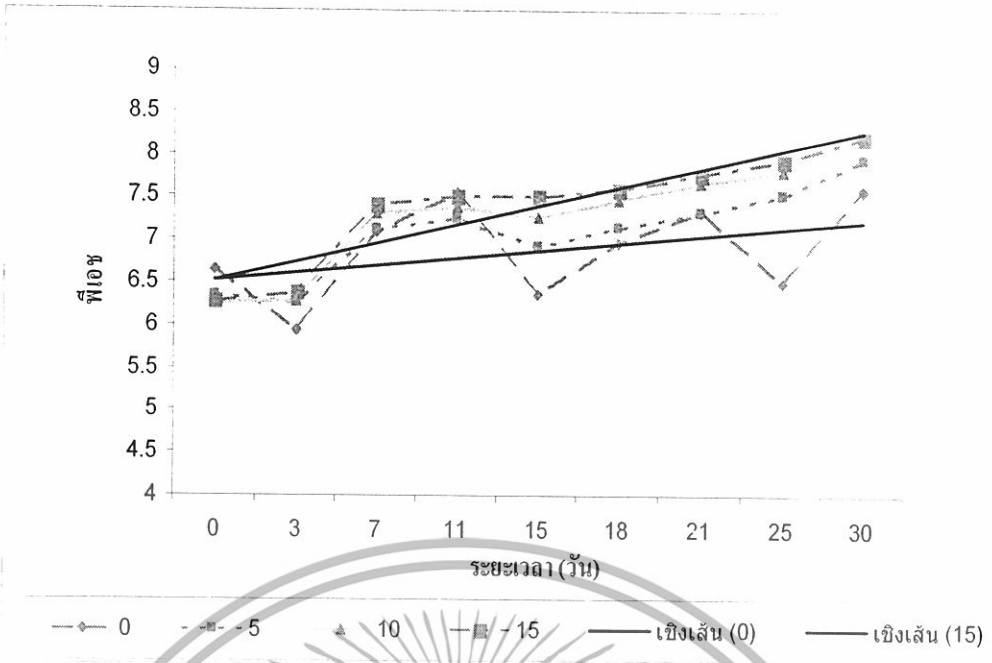
4.3.2 พีเอช (pH)

จากการทดลองเลี้ยงพืชน้ำทั้งสามชนิด คือ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำทั้งสามชนิด และน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมชุดควบคุม (ไม่ใส่พืช) เป็นระยะเวลาทุกๆ 3 วันพบว่า พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในช่วงระยะเวลา 30วัน ที่ทำการทดลอง ดังกราฟรูปที่ 4.5 ส่วนค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำทั้งสามชนิด พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกระดับความเข้มข้น (0, 5, 10, 15 มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อระยะเวลาผ่านไปนานขึ้น ดังกราฟรูปที่ 4.6, 4.7 และ4.8 ทั้งนี้เนื่องมาจากโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในสภาวะปกติมีความเป็นกรด เมื่อปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ลดลงจึงทำให้พีเอชเพิ่มขึ้น

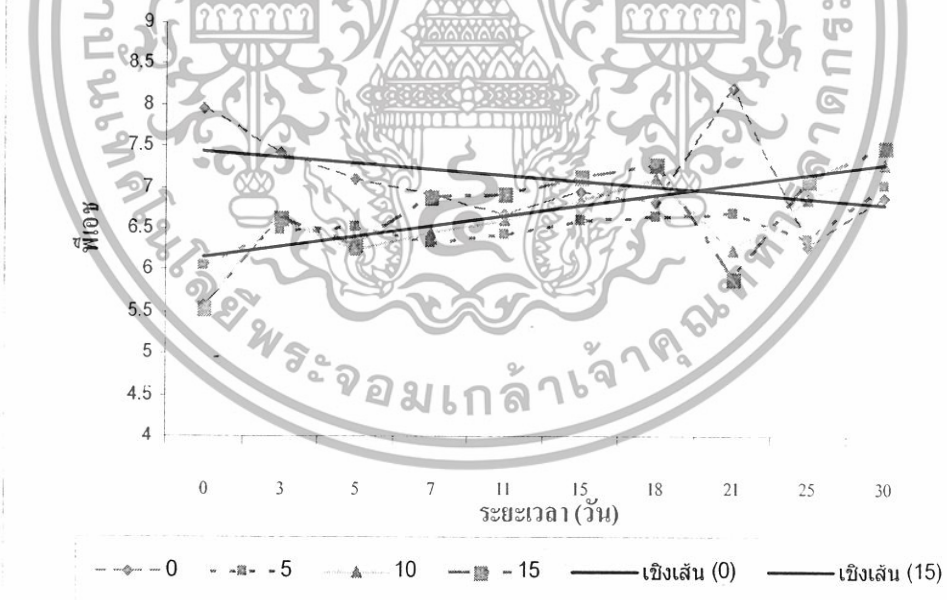


รูปที่ 4.5 พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมชุดควบคุม (ไม่ใส่พืช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

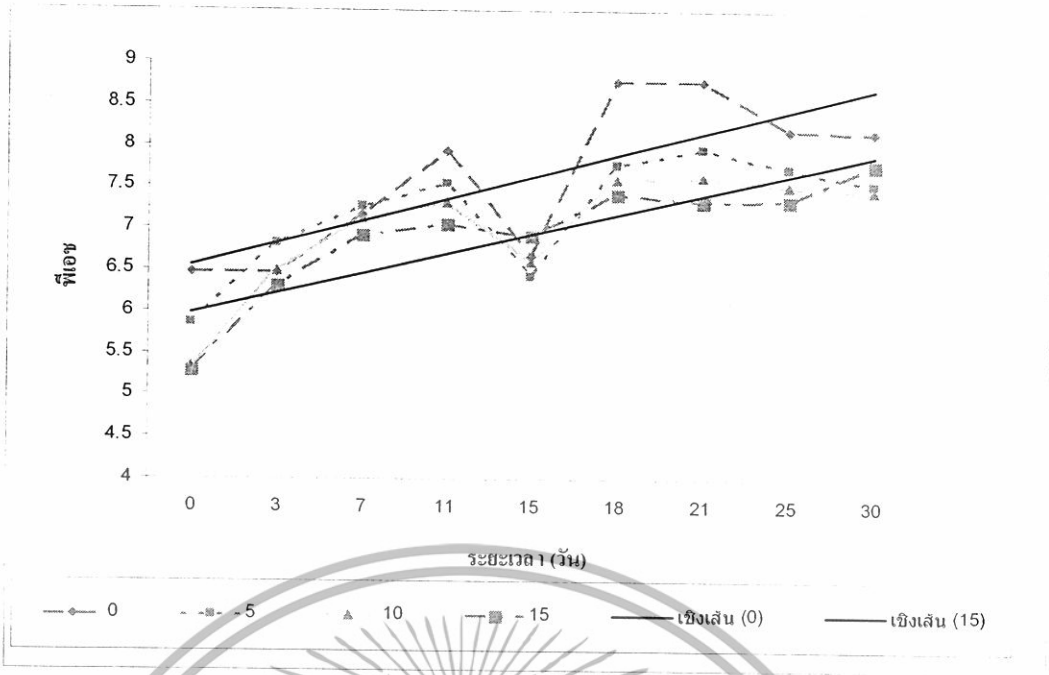


รูปที่ 4.6 พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงจอก



รูปที่ 4.7 พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงผักแว่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

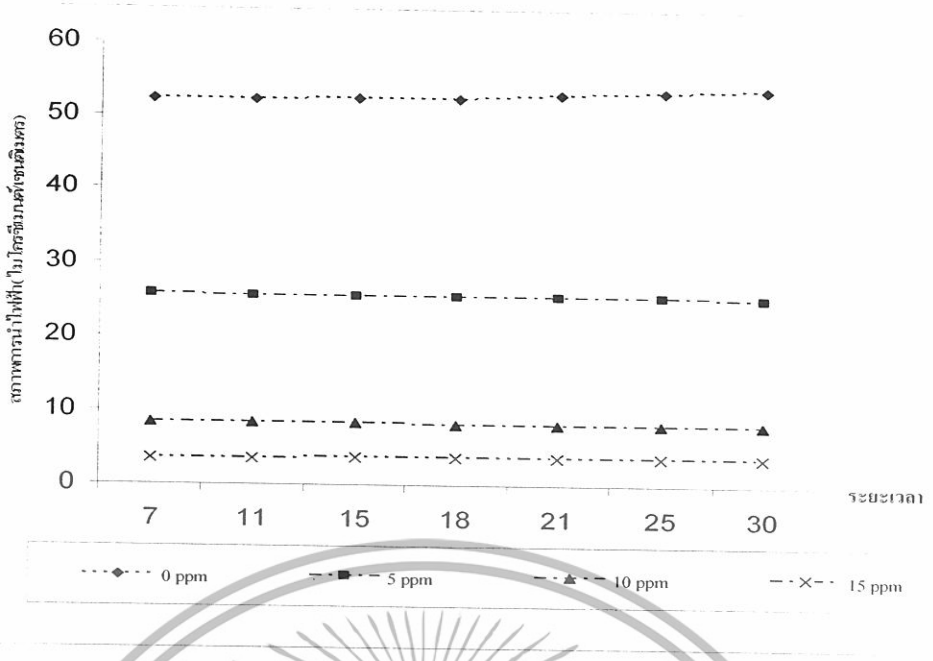


รูปที่ 4.8 พีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอก

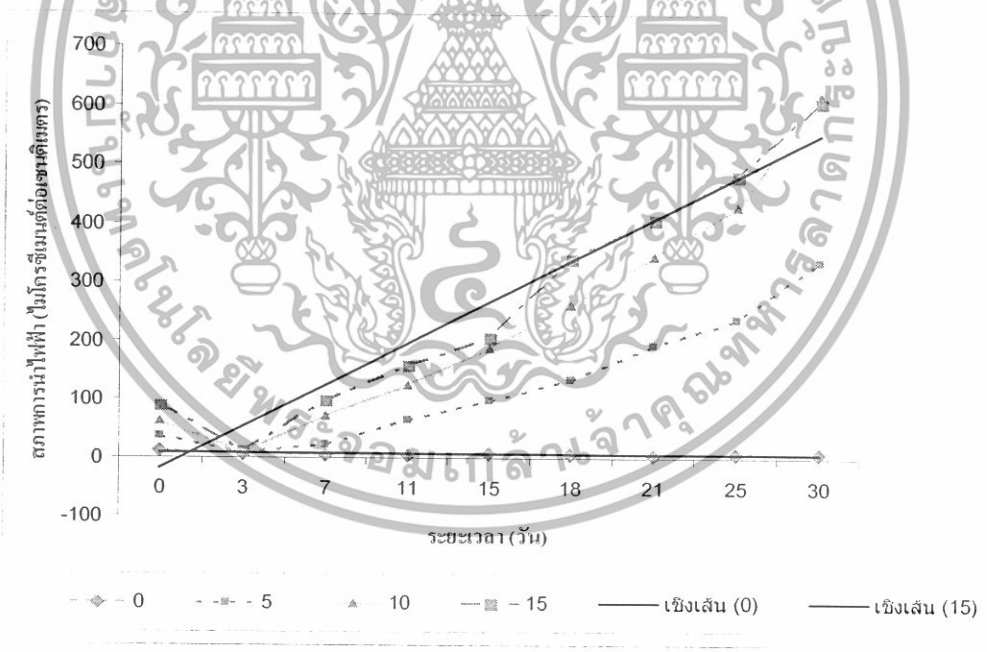
4.3.3 สภาพการนำไฟฟ้า

จากการทดลองเลี้ยงพืชน้ำทั้งสามชนิด คือ จอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำทั้งสองชนิด และน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมชุดควบคุม (ไม่ใส่พืช) เป็นระยะเวลาทุกๆ 3 วันพบว่า สภาพการนำไฟฟ้าน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมชุดควบคุมมีค่าคงที่ ในช่วงระยะเวลา 30วัน ที่ทำการทดลอง ดังกราฟรูปที่ 4.9 ส่วนค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำทั้งสามชนิดพบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกระดับความเข้มข้น (0, 5, 10, 15 มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อระยะเวลาผ่านไปนานขึ้น ดังกราฟรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 เนื่องมาจากค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีความสอดคล้องกับค่าพีเอช เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นจึงส่งผลให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูง ขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

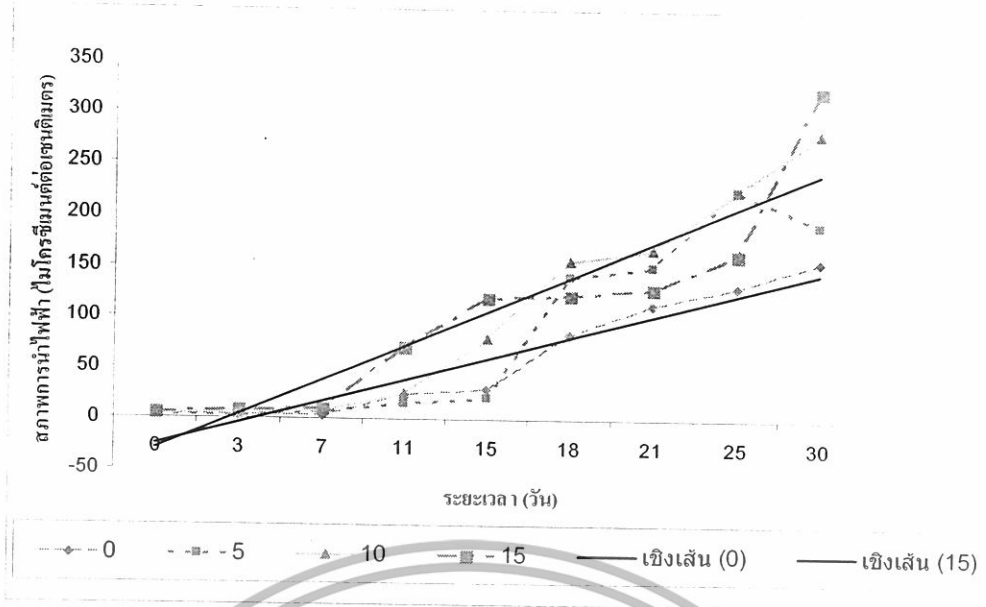


รูปที่ 4.9 สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมชุดควบคุม (ไม่ใส่พืช)

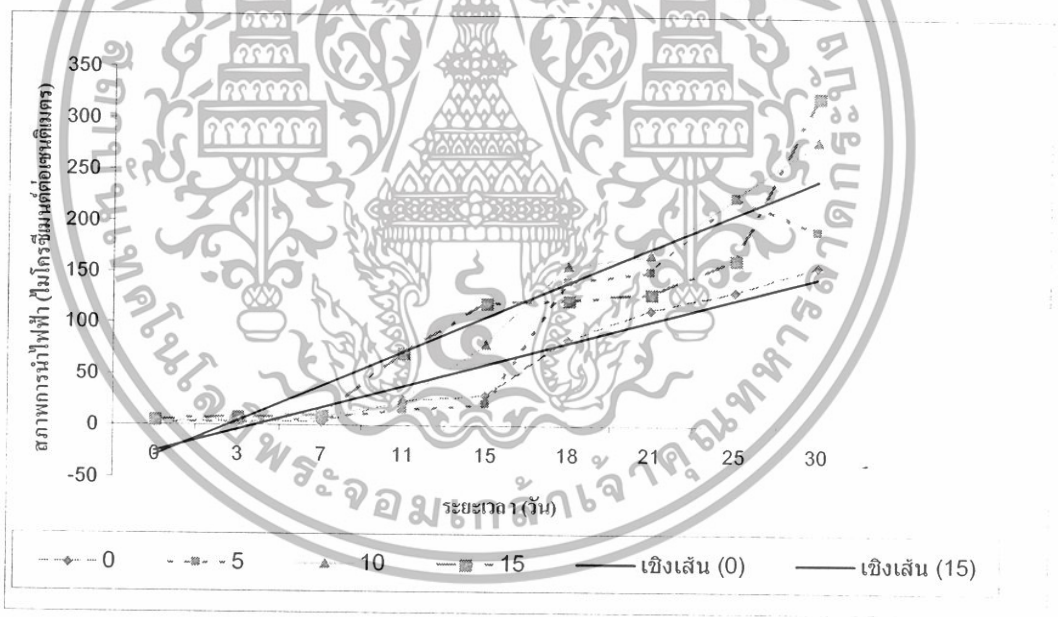


รูปที่ 4.10 สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงจอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงผักแว่น



รูปที่ 4.12 สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมที่เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอก

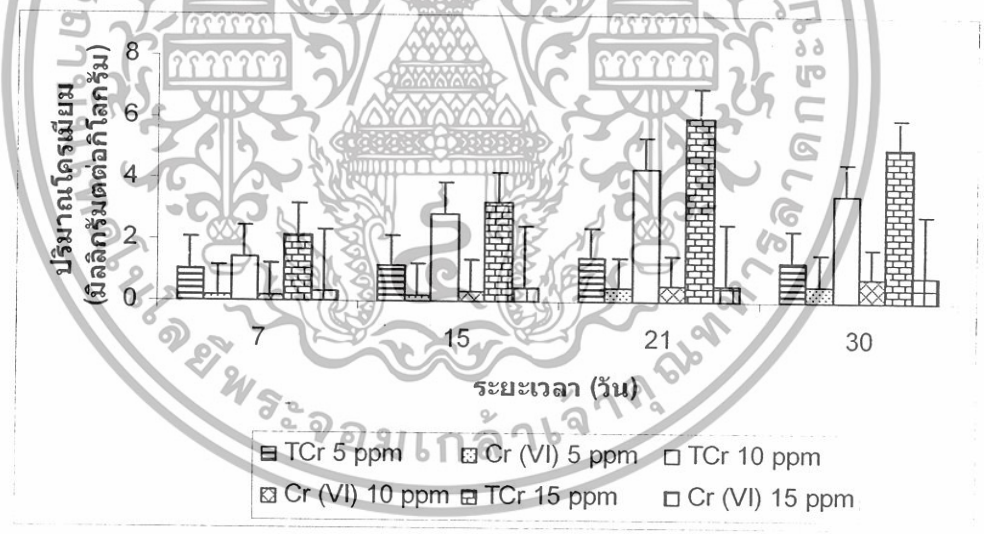
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาปริมาณโครเมียมในพืช และในน้ำ

4.3.1 จอก

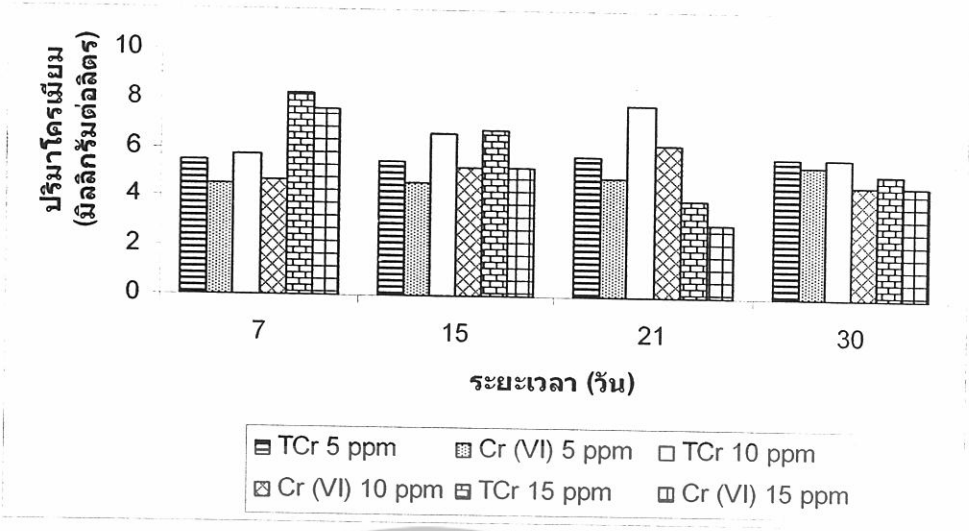
เมื่อนำจอกมาเลี้ยงในกะละมังที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดควบคุมที่ไม่มีโครเมียม ที่ระยะเวลา 7, 15, 21 และ 30 วัน ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 พบว่าปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดในจอกเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 21 วัน มีปริมาณการสะสมสูงสุดเท่ากับ 5.991 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ที่ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นที่ระยะเวลา 30 วัน จอกมีปริมาณการสะสมโครเมียมลดลง เนื่องจากต้นจอกตายทำให้มวลชีวภาพลดลง ปริมาณโครเมียมจึงลดลงตามไปด้วย ส่วนปริมาณการสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในจอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา และความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นที่ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 30 วัน จอกมีปริมาณโครเมียมสูงสุดเท่ากับ 0.807 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง เนื่องจากจอกมีลักษณะโครงสร้างเป็นพืชอวบน้ำ และมีจำนวนรากมากทำให้สามารถดูดซับโครเมียมได้มากเช่นกัน

ส่วนปริมาณโครเมียมทั้งหมดและปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในน้ำที่ใช้เลี้ยงจอก พบว่ามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากต้นจอกมีการดูดซับขึ้นไป



รูปที่ 4.13 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในจอกที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



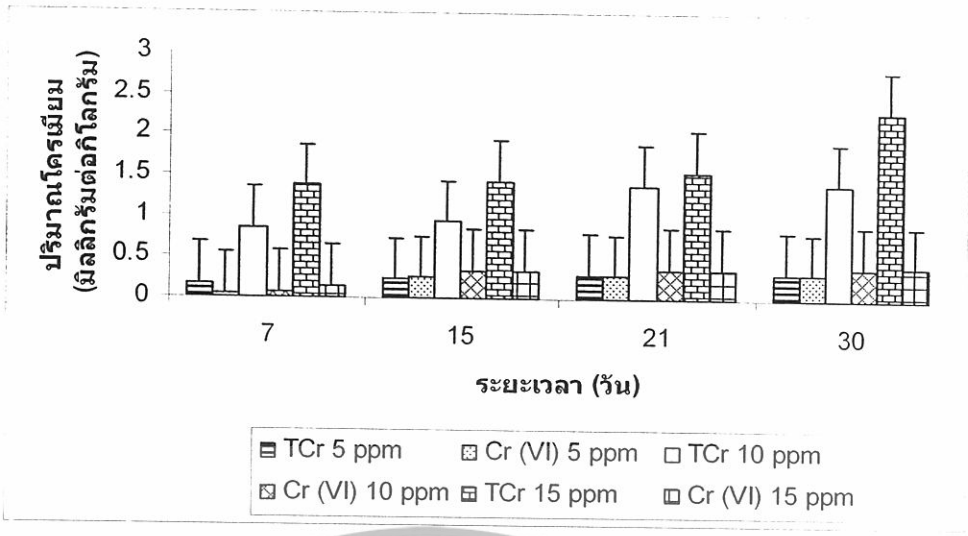
รูปที่ 4.14 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในน้ำที่ใช้เลี้ยงจอก ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

4.3.2 ผักแว่น

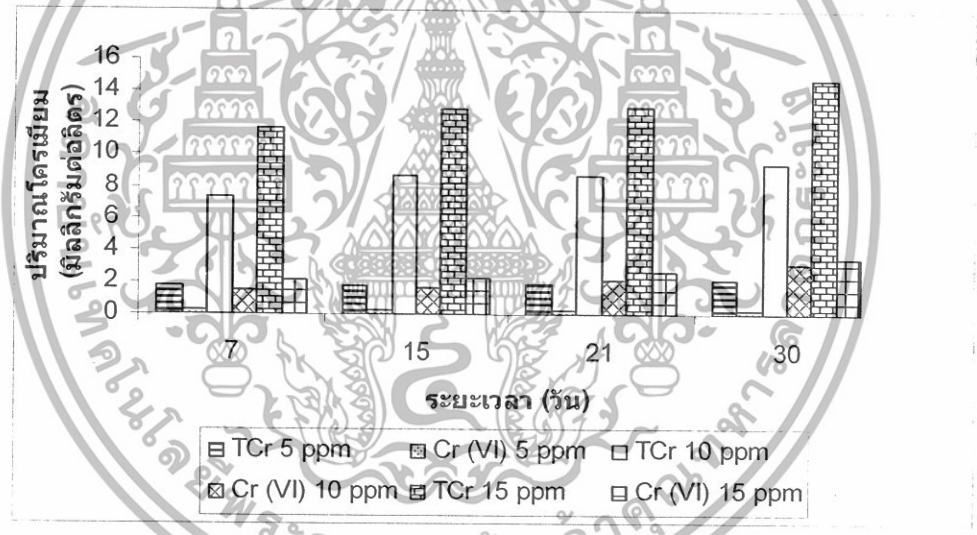
เมื่อนำผักแว่นมาเลี้ยงในกะละมังที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดควบคุมที่ไม่มีโครเมียม ที่ระยะเวลา 7, 15, 21 และ 30 วัน ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 พบว่าผักแว่นมีปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดและโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในพืชเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยที่ระยะเวลา 30 วัน พืชมีปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดและโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เท่ากับ 2.296 และ 0.405 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงแนวโน้มของผักแว่นว่ามีความสามารถในการเจริญเติบโตในสภาวะที่มีความเข้มข้นของโครเมียมสูงขึ้นได้

ส่วนน้ำที่ใช้เลี้ยงผักแว่นมีปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดและโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากผักแว่นมีลักษณะโครงสร้างที่มีจำนวนรากน้อยทำให้ผักแว่นดูดซับโครเมียมขึ้นไปได้น้อย ปริมาณโครเมียมในน้ำจึงมีมากกว่าในพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในผักแว่น ที่ระยะเวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4.16 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในน้ำที่ใช้เลี้ยงผักแว่น ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

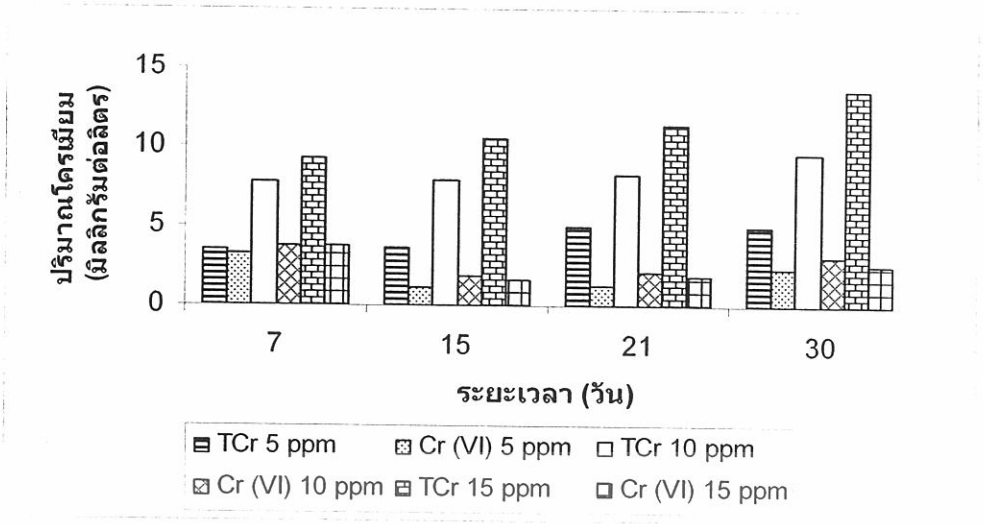
4.3.3 สาหร่ายหางกระรอก

เมื่อนำสาหร่ายหางกระรอกมาเลี้ยงในกะละมังที่มีความเข้มข้นของโครเมียม 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดควบคุมที่ไม่มีโครเมียม ที่ระยะเวลา 7, 15, 21 และ 30 วัน ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าสาหร่ายหางกระรอกมีปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดและโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในพืชเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 30 วัน พืชมีปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดและโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เท่ากับ 2.262 และ 0.253 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ ทำให้ทราบถึงแนวโน้มของสาหร่ายหางกระรอกว่ามีความสามารถในการเจริญเติบโตในสภาวะที่มีความเข้มข้นของโครเมียมสูงขึ้นได้

ในขณะที่ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดและโครมียมเฮกซะวาเลนท์ในน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสาหร่ายหางกระรอกเป็นพืชที่มีลักษณะโครงสร้างที่มีรากน้อย ทำให้ปริมาณการสะสมในสาหร่ายหางกระรอกมีน้อยกว่าในน้ำ

รูปที่ 4.17 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในสาหร่ายหางกระรอก ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ปริมาณการสะสมโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอก ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

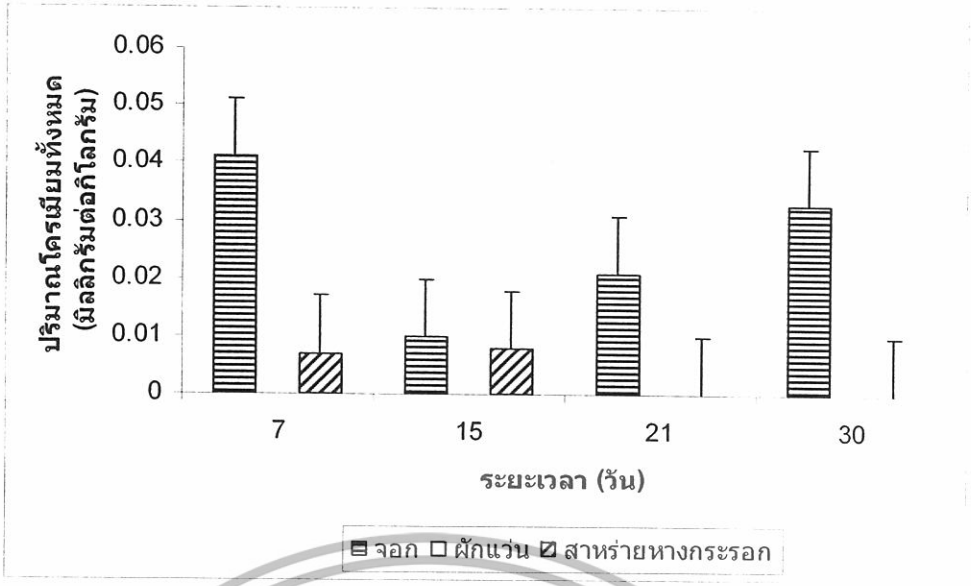
4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะสมโครเมียมในพืชทั้ง 3 ชนิด

4.4.1 ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมทั้งหมดในพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด แสดงผลดังรูปที่ 4:19 พบว่า จอกมีปริมาณการสะสมโครเมียมมากกว่าสาหร่ายหางกระรอก โดยที่ระยะเวลา 7 วัน ปริมาณโครเมียมในจอกและสาหร่ายหางกระรอกเท่ากับ 0.041 และ 0.007 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ในผักแว่นไม่พบปริมาณโครเมียม

ในขณะที่ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด แสดงผลดังรูปที่ 4.20 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณโครเมียมทั้งหมด ดังนั้นโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เท่ากับ 0.001 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ในจอกและสาหร่ายหางกระรอก ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 7 วัน ในขณะที่ผักแว่นไม่มีปริมาณโครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การสะสมโครเมียมทั้งหมดของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ

รูปที่ 4.20 การสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

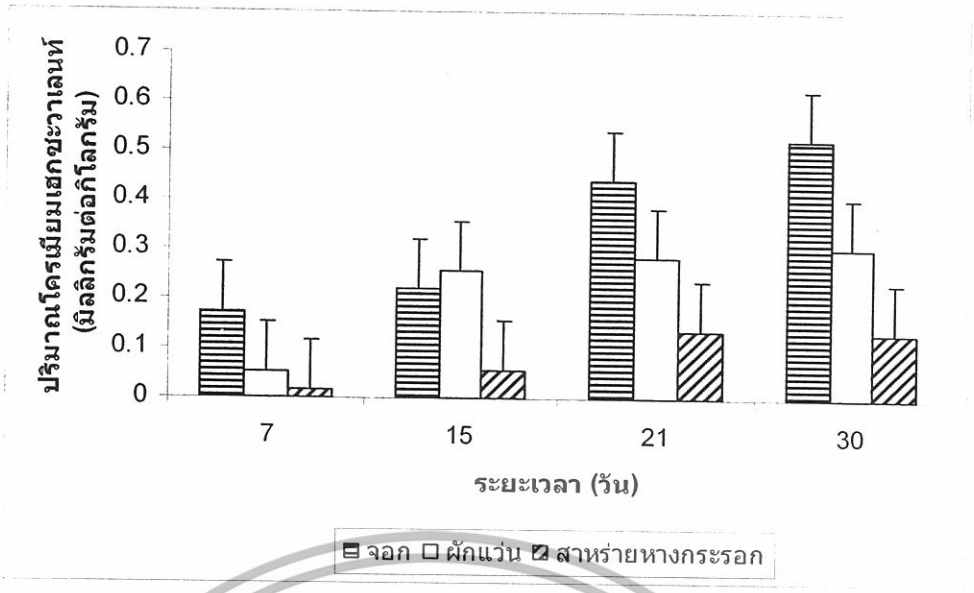
4.4.2 ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาประสิทธิภาพการสะสมโครเมียมทั้งหมดของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดแสดงผลดังรูปที่ 4.21 พบว่าจอกสะสมโครเมียมได้มากกว่าสาหร่ายหางกระรอก และผักแว่น โดยที่ระยะเวลา 21 วัน ปริมาณโครเมียมทั้งหมดในจอก สาหร่ายหางกระรอก และผักแว่น เท่ากับ 1.410, 0.486 และ0.302 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ส่วนปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด แสดงผลดังกราฟรูปที่ 4.22 ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลา 21 วัน ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ที่สะสมในจอกสูงกว่าผักแว่นและสาหร่ายหางกระรอก โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.442, 0.283 และ 0.137 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

รูปที่ 4.21 การสะสมโครเมียมของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



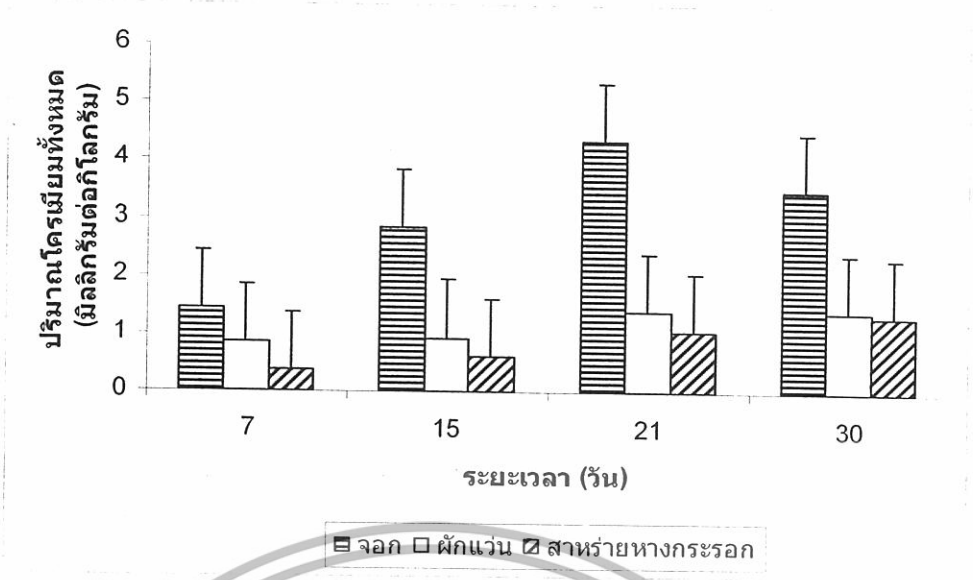
รูปที่ 4.22 การสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ

4.4.3 ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาประสิทธิภาพการสะสมโครเมียมทั้งหมดของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดแสดงผลดังรูปที่ 4.23 โดยเมื่อความเข้มข้นโครเมียมเพิ่มขึ้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พืชน้ำทั้ง 3 ชนิด ยังสามารถเจริญเติบโตได้ แต่ที่ระยะเวลา 21 วัน จอกเริ่มแสดงอาการเหี่ยวบ้าง ทำให้ปริมาณโครเมียมในจอกที่ 30 วันน้อยกว่าที่ 21 วัน ขณะที่สาหร่ายหางกระรอกและผักแว่นเจริญเติบโตได้ดีที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีปริมาณการสะสมโครเมียมเท่ากับ 4.341, 1.391 และ 1.048 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ในจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกตามลำดับ

การสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ของพืชน้ำ 3 ชนิด แสดงผลดังรูปที่ 4.24 ที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 21 วัน มีค่าเท่ากับ 0.458, 0.365 และ 0.144 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ในจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ตามลำดับ ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกับที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ ปริมาณในจอกจะสูงกว่า ในผักแว่นและสาหร่ายหางกระรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 การสะสมโครเมียมของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ

รูปที่ 4.24 การสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกที่ความเข้มข้น10 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

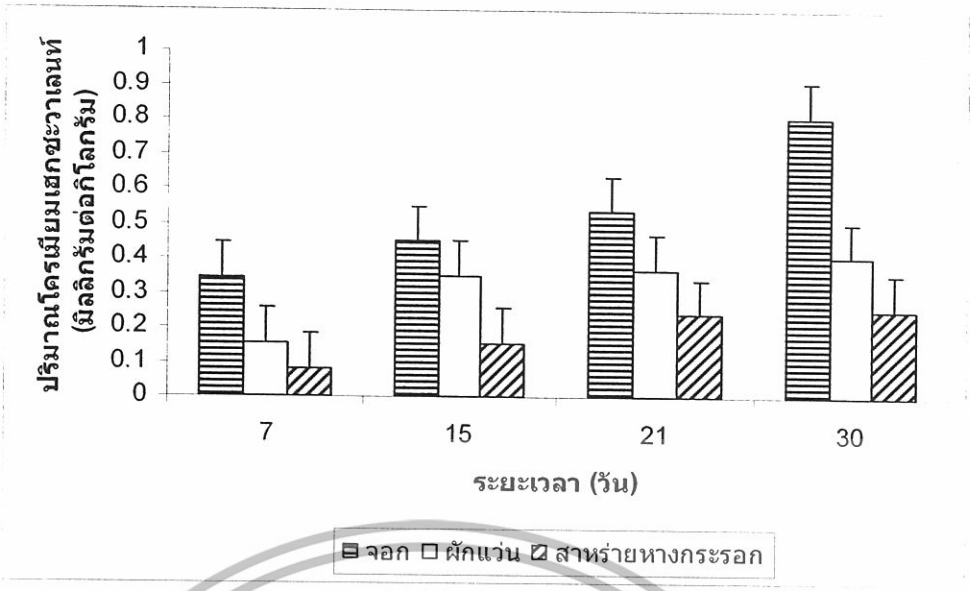
4.4.4 ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาประสิทธิภาพการสะสมโครเมียมทั้งหมดของพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดแสดงผลดังรูปที่ 4.25 โดยที่ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร พืชน้ำทั้ง 3 ชนิด เจริญเติบโตได้ช้าลง โดยเฉพาะจอก รากและใบเปื่อย หลุดร่วง และตายตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น ปริมาณโครเมียมในจอกที่ 21 วัน จึงสูงกว่าที่ 30 วัน ขณะที่ผักแว่นและสาหร่ายหางกระรอกเจริญเติบโตได้ที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณการสะสมโครเมียมเท่ากับ 5.991, 0.548 และ 1.317 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ในจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก ที่ระยะเวลา 21 วัน ตามลำดับ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ของพืชทั้ง 3 ชนิด แสดงผลดังรูปที่ 4.26 พบว่าที่ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัม ปริมาณการสะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนท์มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเข้มข้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ระยะเวลา 21 วัน ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในจอกสูงกว่าผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกมีค่าเท่ากับ 0.537, 0.367 และ 0.238 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

รูปที่ 4.25 การสะสมโครเมียมของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกที่ความเข้มข้น15 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 การสะสมโครเมียมของจอก ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอกที่ความเข้มข้น15 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการกำจัดโครเมียมออกจากพืชน้ำโดยใช้ จอก ผักแว่น และ สาหร่ายหางกระรอก ในสารละลายโครเมียมที่มีความเข้มข้น 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 7, 15, 21 และ 30 วัน ดึงต้นพืชมา 3 ต้น และเก็บน้ำมา 100 มิลลิลิตรเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่า ผักแว่นมีการเจริญเติบโตดีที่สุด หลังจาก 30 วันไปแล้วยังสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้อีก รองลงมาคือ สาหร่ายหางกระรอกและจอก ตามลำดับ

2. อัตราการรอดตาย พบว่า จากจำนวนต้นทั้งหมด 12 ต้น สาหร่ายหางกระรอกและผักแว่นไม่มีจำนวนต้นพืชตาย ส่วนจอกมีจำนวนต้นพืชตาย 4 ต้น

3. ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน พีเอช และสภาพการนำไฟฟ้า โดยเก็บน้ำในกะละมังที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า การเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในน้ำตั้งแต่วันที่ 1 ถึง วันที่ 30 มีค่าลดลงในทุกระดับความเข้มข้น ขณะที่ค่าพีเอช และสภาพการนำไฟฟ้าในน้ำที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำทั้ง 3 ชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 วัน ในทุกระดับความเข้มข้น

4. พืชน้ำทั้ง 3 ชนิดที่ทำการศึกษาพบว่า จอกมีการสะสมโครเมียมทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือ ผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก โดยจอกมีค่าเท่ากับ 0.021, 1.410, 4.341 และ 5.991 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 21 วัน ในขณะที่ผักแว่นมีค่าเท่ากับ 0, 0.302, 1.391 และ 0.548มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง สาหร่ายหางกระรอกมีค่าเท่ากับ 0, 0.486, 1.048 และ 1.317 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 21 วัน

5. ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในจอกสูงกว่าผักแว่น และสาหร่ายหางกระรอก โดยที่ระยะเวลา 21 วัน ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในจอกเท่ากับ 0.013, 0.442, 0.458 และ0.537 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ผักแว่นมีค่าเท่ากับ 0, 0.283, 0.3650 และ 0.367 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนสาหร่ายหางกระรอกมีค่าเท่ากับ 0, 0.137, 0.144 และ 0.238 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปริมาณโครเมียมทั้งหมดในน้ำที่ใช้เลี้ยงจอก เท่ากับ 0.090, 5.732, 7.840 และ 3.925 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำทีใช้เลี้ยงผักแว่นเท่ากับ 0.053, 1.874, 14.508 และ 21.078 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำทีใช้เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอกเท่ากับ 0.020, 8.953, 6.198 และ 11.370 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 21 วัน ในขณะที่ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในน้ำที่ใช้เลี้ยงจอกมีปริมาณโครเมียมเท่ากับ 0.000, 4.815, 6.236 และ 2.951 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำทีใช้เลี้ยงผักแว่นเท่ากับ 0.000, 0.251, 2.083 และ 2.571 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำทีใช้เลี้ยงสาหร่ายหางกระรอกเท่ากับ 0.000, 1.301, 2.071 และ 2.566 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 21 วัน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการนำจอกและสาหร่ายหางกระรอกมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
2. ควรมีการศึกษาความสามารถในการสะสมโครเมียมในพืชน้ำกลุ่มที่นิยมนำมาบริโภค เช่น ผักกระเฉด ซึ่งเป็นพืชที่มีลักษณะดูดน้ำได้ดี
3. ในการศึกษาควรมีปริมาณการสุ่มตัวอย่างมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525. **สารานุกรม.** กรุงเทพฯ: โอเดียนส์.

พรชุดา ชุนห์ลือชานนท์ และ สุรภัทร์ อภัยสุวรรณ. 2545. **การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงคู่.** สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พิมพ์จันทร์ จินตนาวงศ์ และ วรนิจ ไกรพินิจ. 2545. **การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงเดี่ยว.** สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มลิวรรณ บุณเสนอ. 2548. **พืชกับการฟื้นฟูคุณภาพดิน.** วารสารสิ่งแวดล้อม ปีที่ 9 ฉบับที่ 4 ต.ค. – ธ.ค. 2548

Arun K. Shanker; et. al. 2005. **Chromium toxicity in plants.** Environment International. 31: 739 – 753.

C. Mel Lyte; et. al. 1998. **Reduction of Cr(VI) to Cr(III) by Wetland Plants: Potential for In Situ Heavy Metal Detoxification.** Eniviron. Sci. Technol. (32): 3087 – 3093.

Judith S. Weis and Peddrick Weis. 2004. **Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration.** Environment International. 30: 685 - 700.

M.V. Aldrich; et. al. 2003. **Uptake and Reduction of Cr(VI) to Cr(III) by Mespuite (Prosopis spp.): Chromate-Plant Interaction in Hydroponics and Solid Media Studied Using XAS.** Eniviron. Sci. Technol. 37(9): 1859 - 1864.

Paul R. Wittbrodt and Cart D. Palmer. 1996. **Humic Substance.** Eniviron. Sci. Technol. 30(8): 2470 - 2477.

http://aquat1.ifas.ufl.edu/hydver11.jpg

http://aquat1.ifas.ufl.edu/marsilea.html

http://aquat1.ifas.ufl.edu/pistia2.jpg

http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK24/chapter2/t24-2-l2.htm

http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/weeds/hydrilla.html

http://www.epa.gov/tioclu-in.org

http://www.fernsiam.com/FernWorld/Taxonomy/Marsileaceae/

http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt017.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt017.html

http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt029.html

http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt062.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525. **สารานุกรม.** กรุงเทพฯ: โอเดียนส์.

พรชุดา ชุนห์ลือชานนท์ และ สุรภัทร์ อภัยสุวรรณ. 2545. **การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงคู่.** สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พิมพ์จันทร์ จินตนาวงศ์ และ วรนิจ ไกรพินิจ. 2545. **การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงเดี่ยว.** สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มลิวรรณ บุณเสนอ. 2548. **พืชกับการฟื้นฟูคุณภาพดิน.** วารสารสิ่งแวดล้อม ปีที่ 9 ฉบับที่ 4 ต.ค. – ธ.ค. 2548

Arun K. Shanker; et. al. 2005. **Chromium toxicity in plants.** Environment International. 31: 739 – 753.

C. Mel Lyte; et. al. 1998. **Reduction of Cr(VI) to Cr(III) by Wetland Plants: Potential for In Situ Heavy Metal Detoxification.** Eniviron. Sci. Technol. (32): 3087 – 3093.

Judith S. Weis and Peddrick Weis. 2004. **Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration.** Environment International. 30: 685 - 700.

M.V. Aldrich; et. al. 2003. **Uptake and Reduction of Cr(VI) to Cr(III) by Mespuite (Prosopis spp.): Chromate-Plant Interaction in Hydroponics and Solid Media Studied Using XAS.** Eniviron. Sci. Technol. 37(9): 1859 - 1864.

Paul R. Wittbrodt and Cart D. Palmer. 1996. **Humic Substance.** Eniviron. Sci. Technol. 30(8): 2470 - 2477.

http://aquat1.ifas.ufl.edu/hydver11.jpg

http://aquat1.ifas.ufl.edu/marsilea.html

http://aquat1.ifas.ufl.edu/pistia2.jpg

http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK24/chapter2/t24-2-l2.htm

http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/weeds/hydrilla.html

http://www.epa.gov/tioclu-in.org

http://www.fernsiam.com/FernWorld/Taxonomy/Marsileaceae/

http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt017.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt017.html

http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt029.html

http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt062.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การเตรียมสารละลายโครเมียมที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

- คำนวณหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)

น้ำหนักโมเลกุลของ $K_2Cr_2O_7$ เท่ากับ 294

โดยมี

K	2	อะตอม	=	2 x 39	=	78
Cr	2	อะตอม	=	2 x 52	=	104
O	7	อะตอม	=	7 x 16	=	112

Cr 104 กรัม อยู่ใน $K_2Cr_2O_7$ 294 กรัม

Cr 5×10^{-3} กรัม อยู่ใน $K_2Cr_2O_7$ $\frac{294 \times 5 \times 10^{-3}}{104} = 0.0141$ กรัม

จะได้ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ 0.0141 กรัม ละลายลงในน้ำ 1 ลิตร

- คำนวณหาสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้เติมลงในน้ำ 10 ลิตรต่อ 1 กะละมังให้มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากน้ำ 1 ลิตร มี Cr 0.0141 กรัม

ถ้าน้ำ 10 ลิตร มี Cr $\frac{10 \times 0.0141}{1} = 0.141$ กรัม

จะได้ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ 0. 141 กรัม ละลายลงในน้ำ 10 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ [Hexavalent Chromium, (VI)]

1. ตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ตามวิธีมาตรฐาน USEPA Method 7196A

1. นำสารละลายตัวอย่างน้ำมา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนถึง 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2. ปีเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมออก 5 มิลลิลิตร แล้วเติมไดฟีนิลคาร์บาไซด์ 2 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน

3. ปรับพีเอชของสารละลายที่เตรียมให้ได้ 2 $\pm$ 0.5 ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10%

4. ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

5. นำไปวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

2. ตัวอย่างพืช

การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ตามวิธีมาตรฐาน USEPA Method 3060A

1. นำตัวอย่างพืชมา 0.25 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. ใส่สารละลายที่ผสมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และใส่สารแมกนีเซียมคลอไรด์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และสารละลายผสมโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตโพแทส เซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ปิดปากด้วยฝาฟอยล์

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า เป็นเวลา 5 นาที

4. นำไปใส่อ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ 95 องศาเซลเซียล เขย่าตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

5. ตั้งทิ้งให้เย็น

6. นำมากรองแบบลดความดัน

7. ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนถึง 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

8. ปีเปตสารละลายออกมา 5 มิลลิลิตร

9. นำไปทำต่อตามวิธีวิเคราะห์ของน้ำ ตั้งแต่ข้อ 2 – 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งหมด (Total Chromium)

ทำการย่อยตามวิธีมาตรฐาน USEPA Method 3052

1. ตัวอย่างน้ำ

1. นำตัวอย่างน้ำ จำนวน 45 มิลลิลิตรใส่ลงใน TFM vessel ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. ใส่ TFM vessel ลงใน HTC Safety Shield

3. เติมกรดไนตริก 65%จำนวน 5 มิลลิลิตร ถ้าส่วนของตัวอย่างเกาะอยู่ที่ผิวของ vessel ทำการหยดกรด ลงไปบริเวณนั้น

4. ปิด vessel และใส่เข้าไปใน ส่วนที่ใช้หมุน (rotor seqment) ทำการหมุนล็อคให้แน่น

5. ใส่ (seqment) ส่วนที่ใช้ประกอบเครื่อง เข้าไปในเครื่อง Microwave และต่อเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ

6. ทำการเปิดเครื่องให้เครื่องทำตามโปรแกรมที่ตั้งไว้จนเสร็จสมบูรณ์

7. นำ seqment มาทำให้เย็นโดยอากาศ/น้ำ กระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิเกือบเท่าอุณหภูมิห้อง

8. เปิด vessel ทำการกรอง และถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

9. ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายตัวอย่างน้ำ

10. นำสารละลายตัวอย่างน้ำที่ได้มาหาปริมาณโครเมียมทั้งหมดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) ที่ความยาวคลื่น 357 นาโนเมตร รายงานผลปริมาณโครเมียมทั้งหมดในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

โปรแกรม Microwave

Step	Time	Temperature	Microwave Power
1.	10 minutes	160°C	Up to 1000 watt
2.	10 minutes	165°C	Up to 1000 watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวอย่างพืช

1. นำตัวอย่างพืชมา 0.25 กรัม ใส่ลงใน TFM vessel ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. ใส่ TFM vessel ลงใน HTC Safety Shield

3. เติมกรดไนตริก 65% จำนวน 9 มิลลิลิตร ถ้าส่วนของตัวอย่างเกาะอยู่ที่ผิวของ vessel ทำการหยดกรดลงไปบริเวณนั้น

4. ทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำตามขั้นตอนข้อ 4 - 10

โปรแกรม Microwave

Step	Time	Temperature	Microwave Power
1.	5 minutes	180°C	Up to 1000 walt
2.	10 minutes	180°C	Up to 1000 walt

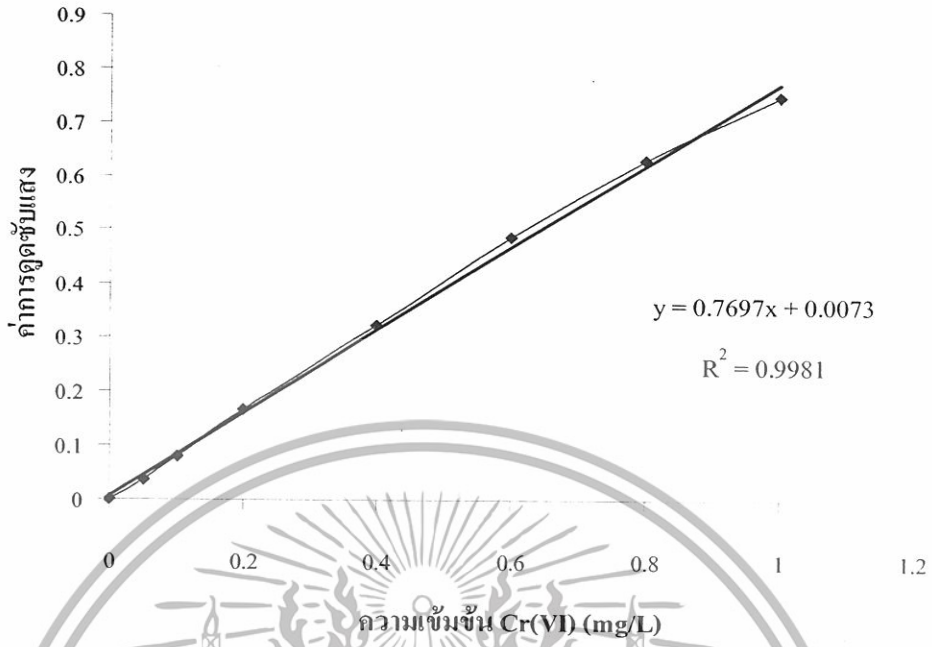
การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

นำน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพืชที่ได้ชั่งน้ำหนักมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นจาก

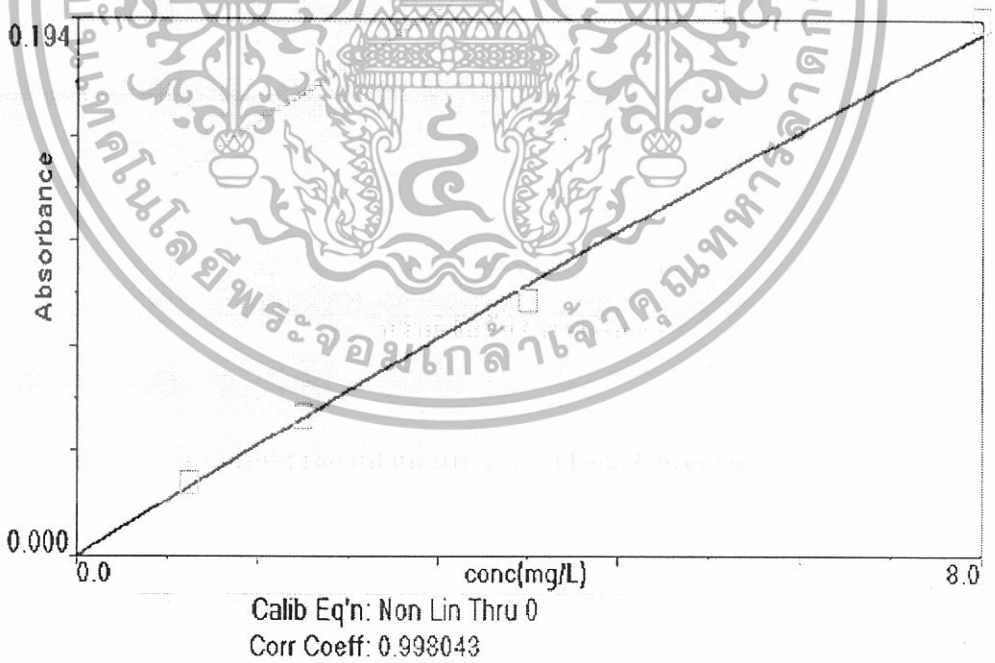
$$\text{สูตร} \quad \frac{(\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักสด}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงของโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ (Hexavalent Chromium)



กราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงของโครเมียมทั้งหมด (Total Chromium)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชโดยทั่วไปในบ้านเราจะเตรียมตามสูตรต่าง ๆ ซึ่งจะต้องเตรียมจากน้ำที่ค่อนข้างบริสุทธิ์มีสารต่าง ๆ ละลายเจือปนอยู่น้อย เช่น น้ำฝน น้ำกรองแต่ถ้าในระบบการปลูกพืชเพื่อ เป็นการค้าจำเป็นจะต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำในท้องถิ่น เช่น น้ำประปา น้ำบาดาล หรือจากแม่น้ำลำธาร (ที่ผ่านการกรองเอาสารแขวนลอยต่าง ๆ ออกไปแล้ว) ซึ่งน้ำเหล่านี้จะมีพวกแร่ธาตุต่าง ๆ ละลายอยู่ไม่มากก็น้อย ถึงแม้ว่าเราสามารถจะกรองธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ออกได้แต่ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงวิธีการหนึ่งที่สามารถนำน้ำเหล่า นี้มาใช้ได้โดยตรงโดยการคำนวณปริมาณสารอาหารและกรดที่จะใส่ลงในน้ำ เพื่อเพิ่มเติมธาตุอาหารและปรับค่า pH ให้ได้ตามความต้องการของเรา

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร ก่อนอื่นต้องทราบถึง

1. ค่า pH และ ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในสารละลายที่เราต้องการ
2. ค่า pH และ ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารดั่งเดิมในน้ำที่เราจะใช้เตรียม (ค่าวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ)
3. ชนิดของกรดและปุ๋ยที่จะใช้เตรียม (คำนึงถึงราคาและความยากง่ายในการจัดหาและเก็บรักษา)

องค์ประกอบของสารละลายสูตร "Coic-Lesant"

เช่นต้องการเตรียมสารละลายตามสูตรของ"Coic-Lesant"ซึ่งองค์ประกอบของสารละลายนี้จะได้จากการศึกษาทางสรีระวิทยาและองค์ประกอบของพืชโดยจัดแบ่งชนิดสารละลายเป็นกลุ่มๆตามปริมาณความเข้มข้น ของไนโตรเจน และค่า pH ของสารละลาย ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสูตรสารละลายที่มีความเข้มข้นของ ไนโตรเจน(N)=14.4 me/l และค่า pH=5.8 เท่านั้นซึ่งเป็นสารละลายที่เหมาะกับพืชผักและไม้ดอกไม้ประดับทั่วๆ ไปองค์ประกอบของสารละลาย "Coic-Lesaint" แสดงใน ตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของสารละลาย "Coic-Lesaint" pH 5.8

อิออน	ความเข้มข้น(me/l)	ธาตุ	ปริมาณธาตุหรือออกไซด์ (mg/l)
NO^{3-}	12.2	N	170.8
NH^{4+}	2.2	N	30.8
HPO_4= หรือ($H_2PO_4^-$)	2.2 หรือ (1.1)	P	34.1 (P_2O_5 = 78.1)
K^+	5.2	K	202.8 (K_2O = 244.4)
Ca^{++}	6.2	Ca	124.0 (CaO = 173.6)
Mg^{++}	1.5-3	Mg	18-36 (MgO = 30-60)
SO_4	1.5	S	24.0
อัตราส่วนของ N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 0.4 : 1.2			
อัตราส่วนร้อยละของ K : Ca : Mg = 39.6 : 47.6 : 12.8			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ตารางแสดงข้อมูลปริมาณโครมียมทั้งหมด และปริมาณโครมียมเฮกซะวาเลนท์ของจอก

ปริมาณโครเมียม			ในพืช (mg/kg)		ในน้ำ (mg/L)	
ความเข้มข้น (mg/L)	ระยะเวลา (วัน)		TCr	Cr (VI)	TCr	Cr (VI)
0	7	average	0.041	0.001	0.043	0.000
		SD	0.018	0.039		
	15	average	0.010	0.008	0.115	0.000
		SD	0.009	0.061		
	21	average	0.021	0.013	0.090	0.000
		SD	0.007	0.045		
	30	average	0.033	0.022	0.097	0.000
		SD	0.010	0.023		
5	7	average	1.048	0.174	5.466	4.532
		SD	0.059	0.033		
	15	average	1.153	0.222	5.444	4.595
		SD	0.000	0.128		
	21	average	1.410	0.442	5.732	4.815
		SD	1.171	0.379		
	30	average	1.309	0.525	5.753	5.424
		SD	0.376	0.258		
10	7	average	1.448	0.218	5.756	4.677
		SD	0.271	0.092		
	15	average	2.844	0.346	6.583	5.238
		SD	0.572	0.082		
	21	average	4.341	0.458	7.840	6.236
		SD	3.764	0.352		
	30	average	3.487	0.772	5.713	4.611
		SD	1.368	0.341		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15	7	average	2.152	0.345	8.218	7.610
		SD	0.311	0.120		
	15	average	3.197	0.449	6.745	5.254
		SD	1.508	0.257		
	21	average	5.991	0.537	3.925	2.951
		SD	3.378	0.256		
	30	average	5.014	0.807	5.094	4.620
		SD	1.947	0.305		

ตารางแสดงข้อมูลปริมาณโครมียมทั้งหมด และปริมาณโครมียมเฮกซะวาเลนท์ของผักแว่น

ปริมาณโครเมียม			ในพืช (mg/kg)		ในน้ำ (mg/L)	
ความเข้มข้น (mg/L)	ระยะเวลา (วัน)		TCr	Cr (VI)	TCr	Cr (VI)
0	7	average	0.000	0.000	0.035	0.000
		SD	0.000	0.000		
	15	average	0.000	0.000	0.044	0.000
		SD	0.000	0.000		
	21	average	0.000	0	0.053	0.000
		SD	0.000	0.000		
	30	average	0.000	0.000	0.074	0.000
		SD	0.000	0.000		
5	7	average	0.172	0.053	1.770	0.246
		SD	0.000	0.047		
	15	average	0.236	0.256	1.798	0.226
		SD	0.169	0.000		
	21	average	0.302	0.283	1.874	0.251
		SD	0.035	0.332		
	30	average	0.317	0.305	2.116	0.273
		SD	0.000	0.000		
10	7	average	0.850	0.082	7.333	1.438

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		SD	0.000	0.015		
	15	average	0.938	0.346	8.650	1.558
		SD	0.200	0.026		
	21	average	1.391	0.365	8.708	2.083
		SD	0.494	0.000		
	30	average	1.404	0.390	9.428	3.047
		SD	0.000	0.196		
15	7	average	1.370	0.156	11.641	2.604
		SD	0.000	0.102		
	15	average	1.435	0.349	12.940	2.214
		SD	0.000	0.000		
	21	average	0.548	0.367	13.078	2.571
		SD	0.184	0.000		
	30	average	2.296	0.405	14.756	3.463
		SD	0.591	0.054		

ตารางแสดงข้อมูลปริมาณโครมียมทั้งหมด และปริมาณโครมียมเฮกซะวาเลนท์ของสาหร่ายหางกระรอก

ปริมาณโครเมียม			ในพืช (mg/kg)		ในน้ำ (mg/L)	
ความเข้มข้น (mg/L)	ระยะเวลา (วัน)		TCr	Cr (VI)	TCr	Cr (VI)
0	7	average	0.007	0.004	0.000	0.000
		SD	0.021	0.051		
	15	average	0.008	0.005	0.083	0.000
		SD	0.010	0.046		
	21	average	0.000	0	0.020	0.000
		SD	0.000	0.000		
	30	average	0.000	0.000	0.049	0.000
		SD	0.000	0.000		
5	7	average	0.253	0.016	3.560	3.307
		SD	0.038	0.058		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	15	average	0.476	0.055	3.675	1.092
		SD	0.124	0.035		
	21	average	0.486	0.137	4.953	1.301
		SD	0.039	0.020		
	30	average	0.573	0.132	5.060	2.398
		SD	0.169	0.023		
10	7	average	0.372	0.078	7.728	3.741
		SD	0.197	0.060		
	15	average	0.602	0.097	7.888	1.866
		SD	0.066	0.032		
	21	average	1.048	0.144	8.198	2.071
		SD	0.449	0.000		
	30	average	1.331	0.247	9.661	3.132
		SD	0.522	0.082		
15	7	average	0.625	0.081	9.296	3.747
		SD	0.146	0.014		
	15	average	0.946	0.156	10.544	1.660
		SD	0.383	0.044		
	21	average	1.317	0.238	11.370	2.566
		SD	0.118	0.027		
	30	average	2.262	0.253	13.592	1.835
		SD	1.092	0.000		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ตารางแสดงข้อมูลปริมาณโครเมียมทั้งหมดและปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในพืช และในน้ำ

ID - Code	น้ำหนักพืช ทั้งหมด (g)	น้ำหนักพืชแห้ง ทั้งหมด (g)	% ความชื้น	TCr ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	Cr (VI) ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	TCr ในน้ำ (mg/L)	Cr (VI) ในน้ำ (mg/L)
1จอก-0ppm-7d	0.1714	0.1267	26.08	0.060	0.019		
2จอก-0ppm-7d	0.2239	0.2027	9.47	0.040	0.097	0.043	0.000
3จอก-0ppm-7d	0.1579	0.1401	11.27	0.023	0.066		
1จอก-5ppm-7d	0.5205	0.4764	8.47	0.995	0.159		
2จอก-5ppm-7d	0.3287	0.2948	10.31	1.112	0.212	5.466	4.532
3จอก-5ppm-7d	0.5282	0.4813	8.88	1.038	0.151		
1จอก-10ppm-7d	0.147	0.1324	9.93	1.149	0.144		
2จอก-10ppm-7d	0.2276	0.2077	8.74	1.516	0.320	5.756	4.677
3จอก-10ppm-7d	0.2286	0.2012	11.99	1.677	0.189		
1จอก-15ppm-7d	0.2641	0.2426	8.14	1.846	0.384		
2จอก-15ppm-7d	0.3733	0.3435	7.98	2..468	0.440	8.218	7.610
3จอก-15ppm-7d	0.3797	0.3193	15.91	2.142	0.210		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ID - Code	น้ำหนักพืช ทั้งหมด (g)	น้ำหนักพืชแห้ง ทั้งหมด (g)	% ความชื้น	TCr ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	Cr (VI) ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	TCr ในน้ำ (mg/L)	Cr (VI) ในน้ำ (mg/L)
1จอก-0ppm-15d	0.1969	0.1804	8.3799	0.004	0.013	0.155	0.000
2จอก-0ppm-15d	0.2900	0.2686	7.3793	0.002	0.095		
3จอก-0ppm-15d	0.3195	0.2948	7.7308	0.000	0.132		
1จอก-5ppm-15d	0.3912	0.3618	7.5153	1.153	0.143	5.444	4.595
2จอก-5ppm-15d	0.2434	0.2255	7.3541	1.154	0.369		
3จอก-5ppm-15d	0.58	0.5179	10.7069	1.152	0.154		
1จอก-10ppm-15d	0.2502	0.2318	7.3541	3.471	0.253	6.583	5.238
2จอก-10ppm-15d	0.1365	0.1275	6.5934	2.350	0.408		
3จอก-10ppm-15d	0.1565	0.1188	24.0895	2.710	0.378		
1จอก-15ppm-15d	1.0476	0.9324	10.9966	3.954	0.243	6.745	5.254
2จอก-15ppm-15d	0.2291	0.2124	7.2894	3.393	0.736		
3จอก-15ppm-15d	0.1479	0.1417	4.1920	2.440	0.368		
1จอก-0ppm-21d	0.7317	0.6849	6.3961	0.026	0.038	0.090	0.000
2จอก-0ppm-21d	0.2888	0.2726	5.6094	0.013	0.037		
3จอก-0ppm-21d	0.4511	0.4172	7.5150	0.023	0.115		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID - Code	น้ำหนักพืชทั้งหมด (g)	น้ำหนักพืชแห้งทั้งหมด (g)	% ความชื้น	TCr ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	Cr (VI) ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	TCr ในน้ำ (mg/L)	Cr (VI) ในน้ำ (mg/L)
1จอก-5ppm-21d	0.3501	0.3300	5.7412	0.944	0.165		
2จอก-5ppm-21d	0.5347	0.4965	7.1442	0.543	0.874	5.732	4.815
3จอก-5ppm-21d	0.449	0.4169	7.1492	2.743	0.286		
1จอก-10ppm-21d	0.1379	0.1278	7.3241	0.053	244.000		
2จอก-10ppm-21d	0.2255	0.2007	10.9978	7.095	0.864	7.840	6.236
3จอก-10ppm-21d	0.1025	0.0956	6.7317	5.877	0.265		
1จอก-15ppm-21d	0.1793	0.1697	5.3542	7.286	0.353		
2จอก-15ppm-21d	0.1807	0.1506	16.6574	2.158	0.722	3.925	2.951
3จอก-15ppm-21d	0.1421	0.1341	5.6298	8.530	0.229		
1จอก-0ppm-30d	2.0794	1.9505	6.1989	0.045	0.082		
2จอก-0ppm-30d	0.3093	0.2937	5.0436	0.027	0.098	0.097	0.000
3จอก-0ppm-30d	0.2597	0.2461	5.2368	0.027	0.052		
1จอก-5ppm-30d	0.2523	0.2369	6.1038	1.022	0.280		
2จอก-5ppm-30d	0.5655	0.5264	6.9142	1.735	0.795	11.065	10.424
3จอก-5ppm-30d	0.4041	0.3825	5.3452	1.171	0.500		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ID - Code	น้ำหนักพืช ทั้งหมด (g)	น้ำหนักพืชแห้ง ทั้งหมด (g)	% ความชื้น	TCr ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	Cr (VI) ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	TCr ในน้ำ (mg/L)	Cr (VI) ในน้ำ (mg/L)
1จอก-10ppm-30d	0.1984	0.1811	8.7198	6.058	1.156	5.713	4.611
2จอก-10ppm-30d	0.1531	0.1440	5.9438	2.520	0.503		
3จอก-10ppm-30d	0.2153	0.2002	7.0135	4.454	0.658		
1จอก-15ppm-30d	0.0979	0.0897	8.3759	2.781	0.465	5.094	4.620
2จอก-15ppm-30d	0.1702	0.1603	5.8167	5.909	1.050		
3จอก-15ppm-30d	0.2331	0.2180	6.4779	6.353	0.907		
1ผักแว่น-0ppm-7d	0.0319	0.0303	5.0157	0.000	0.000	0.035	0.000
2ผักแว่น-0ppm-7d	0.0293	0.0113	61.4334	0.000	0.000		
3ผักแว่น-0ppm-7d	0.0237	0.0234	1.2658	0.000	0.000		
1ผักแว่น-5ppm-7d	0.0449	0.0389	13.3630	0.000	0.086	1.770	0.246
2ผักแว่น-5ppm-7d	0.0464	0.0430	7.3276	0.929	0.201		
3ผักแว่น-5ppm-7d	0.0483	0.0450	6.8323	0.172	0.020		
1ผักแว่น-10ppm-7d	0.0565	0.0537	4.9558	2.549	0.092	11.333	1.438
2ผักแว่น-10ppm-7d	0.0308	0.0295	4.2208	0.872	0.071		
3ผักแว่น-10ppm-7d	0.0425	0.0425	0.0000	0.735	0.000		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ID - Code	น้ำหนักพืช ทั้งหมด (g)	น้ำหนักพืชแห้ง ทั้งหมด (g)	% ความชื้น	TCr ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	Cr (VI) ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	TCr ในน้ำ (mg/L)	Cr (VI) ในน้ำ (mg/L)
1ผักแว่น-15ppm-7d	0.0295	0.0278	5.7627	0.467	0.228		
2ผักแว่น-15ppm-7d	0.0316	0.0280	11.3924	1.189	0.084	18.641	2.064
3ผักแว่น-15ppm-7d	0.0286	0.0191	33.2168	4.110	0.000		
1ผักแว่น-0ppm-15d	0.0611	0.0599	1.9640	0.000	0.000		
2ผักแว่น-0ppm-15d	0.0483	0.0419	13.2505	0.000	0.000	0.044	0.000
3ผักแว่น-0ppm-15d	0.0827	0.0785	5.0786	0.000	0.000		
1ผักแว่น-5ppm-15d	0.0691	0.0662	4.1968	0.474	0.256		
2ผักแว่น-5ppm-15d	0.0518	0.0481	7.1429	0.235	0.443	1.798	0.226
3ผักแว่น-5ppm-15d	0.0305	0.0292	4.2623	1.660	1.005		
1ผักแว่น-10ppm-15d	0.0131	0.0124	5.3435	0.796	0.328		
2ผักแว่น-10ppm-15d	0.0771	0.0726	5.8366	1.701	365.000	14.650	1.558
3สาหร่าย-10ppm-15d	0.0619	0.0583	5.8158	1.080	0.465		
1ผักแว่น-15ppm-15d	0.0488	0.0471	3.4836	2.870	0.349		
2สาหร่าย-15ppm-15d	0.0516	0.0483	6.3953	2.052	0.458	17.940	2.214
3ผักแว่น-15ppm-15d	0.0358	0.0358	0.0000	4.530	0.582		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ID - Code	น้ำหนักพืช ทั้งหมด (g)	น้ำหนักพืชแห้ง ทั้งหมด (g)	% ความชื้น	TCr ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	Cr (VI) ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	TCr ในน้ำ (mg/L)	Cr (VI) ในน้ำ (mg/L)
1ผักแว่น-0ppm-21d	0.1030	0.0989	3.9806	0.000	0.000	0.053	0.000
2ผักแว่น-0ppm-21d	0.1565	0.1506	3.7700	0.000	0.000		
3ผักแว่น-0ppm-21d	0.1018	0.0978	3.9293	0.000	0.000		
1ผักแว่น-5ppm-21d	0.0879	0.0830	5.5745	0.308	0.190	1.874	0.251
2ผักแว่น-5ppm-21d	0.0892	0.0828	7.1749	0.335	0.167		
3ผักแว่น-5ppm-21d	0.0807	0.0712	11.7720	0.264	0.660		
1ผักแว่น-10ppm-21d	0.1084	0.1060	2.2140	1.740	0.365	14.508	2.083
2สาหร่าย-10ppm-21d	0.0834	0.0800	4.0767	1.042	0.289		
3ผักแว่น-10ppm-21d	0.1	0.0149	85.1000	5.657	2.147		
1สาหร่าย-15ppm-21d	0.0835	0.0797	4.5509	1.418	0.332	21.078	2.571
2ผักแว่น-15ppm-21d	0.0799	0.0748	6.3830	1.234	0.367		
3ผักแว่น-15ppm-21d	0.0973	0.0928	4.6249	1.678	0.308		
1ผักแว่น-0ppm-30d	0.1298	0.1245	4.0832	0.000	0.000	0.074	0.000
2ผักแว่น-0ppm-30d	0.0986	0.0973	1.3185	0.000	0.000		
3ผักแว่น-0ppm-30d	0.1522	0.1474	3.1537	0.000	0.000		

ID - Code	น้ำหนักพืชทั้งหมด (g)	น้ำหนักพืชแห้งทั้งหมด (g)	% ความชื้น	TCr ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	Cr (VI) ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	TCr ในน้ำ (mg/L)	Cr (VI) ในน้ำ (mg/L)
1ผักแว่น-5ppm-30d	0.0426	0.0394	7.5117	1.830	0.371	2.116	0.273
2ผักแว่น-5ppm-30d	0.0418	0.0403	3.5885	1.051	0.305		
3ผักแว่น-5ppm-30d	0.0687	0.0636	7.4236	0.633	0.000		
1ผักแว่น-10ppm-30d	0.1122	0.1062	5.3476	2.512	0.446	28.428	3.047
2ผักแว่น-10ppm-30d	0.1021	0.0975	4.5054	4.212	0.723		
3ผักแว่น-10ppm-30d							
1ผักแว่น-15ppm-30d	0.2095	0.1988	5.1074	0.093	0.569	30.756	3.463
2ผักแว่น-15ppm-30d	0.1248	0.1187	4.8878	1.206	0.645		
3ผักแว่น-15ppm-30d	0.1358	0.1289	5.0810	0.997	0.876		
1สาหร่าย-0ppm-7d	0.1060	0.1060	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000
2สาหร่าย-0ppm-7d	0.0725	0.0695	4.1379	0.021	0.057		
3สาหร่าย-0ppm-7d	0.0605	0.0562	7.1074	0.000	0.017		
1สาหร่าย-5ppm-7d	0.0595	0.0571	4.0336	0.277	0.000	4.560	3.037
2สาหร่าย-5ppm-7d	0.0552	0.0523	5.2536	0.228	0.010		
3สาหร่าย-5ppm-7d	0.0637	0.0617	3.1397	0.202	0.077		

ID - Code	น้ำหนักพืชทั้งหมด (g)	น้ำหนักพืชแห้งทั้งหมด (g)	% ความชื้น	TCr ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	Cr (VI) ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	TCr ในน้ำ (mg/L)	Cr (VI) ในน้ำ (mg/L)
1สาหร่าย-10ppm-7d	0.0768	0.0740	3.6458	0.356	0.030	8.728	3.741
2สาหร่าย-10ppm-7d	0.0587	0.0569	3.0664	0.576	0.145		
3สาหร่าย-10ppm-7d	0.0664	0.0631	4.9699	0.183	0.058		
1สาหร่าย-15ppm-7d	0.0731	0.0697	4.6512	0.782	0.003	9.296	3.741
2สาหร่าย-15ppm-7d	0.0467	0.0448	4.0685	0.555	0.071		
3สาหร่าย-15ppm-7d	0.0550	0.0533	3.0909	0.509	0.091		
1สาหร่าย-0ppm-15d	0.0685	0.0662	3.3577	0.000	0.000	0.083	0.000
2สาหร่าย-0ppm-15d	0.0912	0.0881	3.3991	0.004	0.043		
3สาหร่าย-0ppm-15d	0.0919	0.0881	4.1349	0.019	0.064		
1สาหร่าย-5ppm-15d	0.0763	0.0737	3.4076	0.369	0.023	7.675	1.092
2สาหร่าย-5ppm-15d	0.0629	0.0597	5.0874	0.448	0.093		
3สาหร่าย-5ppm-15d	0.0832	0.0805	3.2452	0.611	0.050		
1สาหร่าย-10ppm-15d	0.0756	0.0737	2.5132	0.678	0.062	12.888	1.866
2สาหร่าย-10ppm-15d	0.0508	0.0489	3.7402	0.564	0.105		
3สาหร่าย-10ppm-15d	0.0754	0.0733	2.7851	0.564	0.124		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ID - Code	น้ำหนักพืชทั้งหมด (g)	น้ำหนักพืชแห้งทั้งหมด (g)	% ความชื้น	TCr ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	Cr (VI) ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	TCr ในน้ำ (mg/L)	Cr (VI) ในน้ำ (mg/L)
1สาหร่าย-15ppm-15d	0.0903	0.0870	3.6545	0.929	0.207	11.544	1.660
2สาหร่าย-15ppm-15d	0.0834	0.0820	1.6787	0.572	0.129		
3สาหร่าย-15ppm-15d	0.0590	0.0566	4.0678	1.337	0.133		
1สาหร่าย-0ppm-21d	0.0623	0.0569	8.6677	0.000	0.024	0.020	0.000
2สาหร่าย-0ppm-21d	0.0792	0.0779	1.6414	0.000	0.069		
3สาหร่าย-0ppm-21d	0.0769	0.0749	2.6008	0.000	0.057		
1สาหร่าย-5ppm-21d	0.1047	0.1013	3.2474	0.459	0.115	8.953	1.301
2สาหร่าย-5ppm-21d	0.0645	0.0632	2.0155	0.513	0.123		
3สาหร่าย-5ppm-21d	0.0779	0.0766	1.6688	0.229	0.243		
1สาหร่าย-10ppm-21d	0.0756	0.0737	2.5132	0.541	0.097	6.198	2.071
2สาหร่าย-10ppm-21d	0.0508	0.0489	3.7402	1.397	0.084		
3สาหร่าย-10ppm-21d	0.0754	0.0733	2.7851	1.205	0.144		
1สาหร่าย-15ppm-21d	0.0645	0.0614	4.8062	1.183	0.257	11.370	2.566
2สาหร่าย-15ppm-21d	0.0529	0.0498	5.8601	1.366	0.219		
3สาหร่าย-15ppm-21d	0.0763	0.0629	17.5623	1.403	0.361		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ID - Code	น้ำหนักพืช ทั้งหมด (g)	น้ำหนักพืชแห้ง ทั้งหมด (g)	% ความชื้น	TCr ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	Cr (VI) ในพืช 1 Kg (mg/kg dry weight)	TCr ในน้ำ (mg/L)	Cr (VI) ในน้ำ (mg/L)
1สาหร่าย-0ppm-30d	0.0930	0.0911	2.0430	0.000	0.063	0.049	0.000
2สาหร่าย-0ppm-30d	0.0497	0.0490	1.4085	0.000	0.049		
3สาหร่าย-0ppm-30d	0.0554	0.0538	2.8881	0.000	0.131		
1สาหร่าย-5ppm-30d	0.0708	0.0697	1.5537	0.727	0.156	12.060	2.398
2สาหร่าย-5ppm-30d	0.0664	0.0645	2.8614	0.392	0.131		
3สาหร่าย-5ppm-30d	0.0319	0.0314	1.5674	0.600	0.109		
1สาหร่าย-10ppm-30d	0.0335	0.0329	1.7910	0.818	0.290	4.661	3.132
2สาหร่าย-10ppm-30d	0.0757	0.0732	3.3025	1.313	0.152		
3สาหร่าย-10ppm-30d	0.0406	0.0395	2.7094	1.862	0.299		
1สาหร่าย-15ppm-30d	0.0778	0.0758	2.5707	1.069	0.220	8.592	1.835
2สาหร่าย-15ppm-30d	0.0422	0.0412	2.3697	3.212	0.224		
3สาหร่าย-15ppm-30d	0.0545	0.0528	3.1193	2.506	0.253		

ลิขสิทธิ์ของวิทยานิพนธ์ต้นฉบับนี้เป็นของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เว้นแต่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษรเท่านั้น