สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงคู่

นางสาวพรสุดา ชุนห์ลือชานนท์
นางสาวสุวภัทร์ อภัยสุวรรณ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....49284
วัน, เดือน, ปี.....18 ก.พ. 2547

.b.....
.i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chromium Accumulation from Soil by Broad Leaf Plant

Miss Pornsuda Choonluchanon

Miss Suwapat Apaisuwan

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 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ เรื่อง การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงคู่

นักศึกษา นางสาวพรสุดา ชุนห์ลือชานนท์
นางสาวสุวภัทร์ อภัยสุวรรณ

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	
กรรมการ อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
กรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ อาจารย์พันธวัศ สัมพันธ์พานิช	

(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ เรื่อง การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงคู่

นักศึกษา นางสาวพรสุดา ชุนห์ลือชานนท์
นางสาวสุวภัทร์ อภัยสุวรรณ

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2545
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสะสมโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงคู่ 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 ปริมาณโครเมียมในต้นก้างปลาเท่ากับ 240.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณโครเมียมในต้นขลู่เท่ากับ 322.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และในผักขมมีปริมาณโครเมียมเท่ากับ 15.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Chromium Accumulation from Soil by Broad Leaf Plant
Name	Miss Pornsuda Choonluchanon
	Miss Suwapat Apaisuwan
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2002
Special Project Advisor	Asst. Pitsamai Chairat-utai
Special Project co-advisor	Mr. Pantawat Sampanpanish

ABSTRACT

Broad Leaf Plants, *Phyllanthus reticulatus* Poir., *Pluchea indica* Less. and *Amaranthus viridis* Linn., were grown in 12 inches in diameter plastic plots containing 5 kg soil. Collected soil from Samutprakarn province, around the leather processing factories, was amended with different concentrations of potassium dichromate, 100, 200 and 400 mg/kg wet weight for *Phyllanthus reticulatus* Poir., 100, 150, 200 and 400 mg/kg wet weight for *Pluchea indica* Less. and 50, 100, 200 and 400 mg/kg wet weight for *Amaranthus viridis* Linn.. Control treatment was similarly done without potassium dichromate amendment. Plants, soil and water were sampled in 30, 60 and 90 days interval to evaluate the accumulation of chromium. Results found that the accumulation of chromium at the rate of 0.44% in *Phyllanthus reticulatus* Poir. grown in soil treated with 400 mg/kg wet weight of chromium was the highest among the other concentration of chromium. In *Pluchea indica* Less., the accumulation of 0.82% of chromium was found in 30 days in the treatment of 100 mg/kg wet weight chromium treated soil where as the amount of chromium less than 0.007% was accumulated in *Amaranthus viridis* Linn. in the treatment of 50 mg/kg wet weight in 90 days. The calculation found that accumulation of chromium at 240.99, 322.22 and 15.63 mg/kg dry weight was accumulated in *Phyllanthus reticulatus* Poir., *Pluchea indica* Less. and *Amaranthus viridis* Linn.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือจากอาจารย์หลายท่าน ได้แก่ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และอาจารย์พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี รวมทั้งแม่บ้านที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้าน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา-มารดา และขอบใจเพื่อนๆ น้องๆ ที่เป็นกำลังใจให้ด้วยดีตลอดมา

พรสุดา ชุนห์ลือชานนท์
สุวภัทร์ อภัยสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 พืชที่ใช้ในการศึกษา	3
2.2 โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษา	6
2.3 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกหนัง	9
2.4 ลักษณะดิน	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ดินและพืชที่ใช้ในการทำวิจัย	13
3.2 ระดับความเข้มข้นโครเมียมที่ในการทำวิจัย	14
3.3 การดำเนินการทดลอง	15
3.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นก้างปลา ขลู่ และผักขม	20
4.2 อัตราการรอดตายของพืชใบเลี้ยงคู่	26
4.3 น้ำหนักแห้งของพืชใบเลี้ยงคู่	28
4.4 การสะสมโครเมียมในพืช	32
4.5 การสะสมโครเมียมในพืช ดิน และน้ำ	36
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก ก. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต	43
ภาคผนวก ข. วิธีวิเคราะห์	48
ภาคผนวก ค. ผลการทดลอง	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ลักษณะดินที่นำมาใช้ทำวิจัย	13
3.2	แสดงความเข้มข้นสารละลายโครเมียมในแต่ละกระถางการทดลอง	17
4.1	แสดงลักษณะอาการของพืชใบเลี้ยงคู่	20
4.2	แสดงความสูงของต้นก้างปลา	22
4.3	แสดงความสูงของต้นขลู่	23
4.4	แสดงความสูงของผักขม	25
4.5	แสดงจำนวนพืชที่รอดหลังการบำบัด	26
4.6	แสดงอัตราการรอดของพืชใบเลี้ยงคู่	27
4.7	แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นก้างปลา	28
4.8	แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นขลู่	30
4.9	แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักขม	31
4.10	แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในต้นก้างปลา	32
4.11	แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในต้นขลู่	34
4.12	แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในผักขม	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นก้างปลา	3
2.2	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นขลู่	4
2.3	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักขม	5
2.4	การละลายของ $Cr(OH)_3$ กับ ค่าพีเอช	7
2.5	ขั้นตอนการฟอกหนัง	9
3.1	ชุดทดลอง ก. ต้นก้างปลา	15
3.2	ชุดทดลอง ข. ต้นขลู่	16
3.3	ชุดทดลอง ค. ผักขม	16
4.1	แสดงความสูงของต้นก้างปลา	22
4.2	แสดงความสูงของต้นขลู่	24
4.3	แสดงความสูงของผักขม	25
4.4	แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นก้างปลา	29
4.5	แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นขลู่	30
4.6	แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักขม	31
4.7	แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในต้นก้างปลา	33
4.8	แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในต้นขลู่	34
4.9	แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในผักขม	35
4.10	แสดงเปอร์เซ็นต์การสะสมโครเมียมในพืช ดิน และน้ำของต้นก้างปลา	37
4.11	แสดงเปอร์เซ็นต์การสะสมโครเมียมในพืช ดิน และน้ำของต้นขลู่	38
4.12	แสดงเปอร์เซ็นต์การสะสมโครเมียมในพืช ดิน และน้ำของผักขม	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ปัจจุบันมีการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย โรงงานฟอกหนังเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการขยายตัวอย่างมาก ก่อให้เกิดปัญหามลพิษที่กระทบสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสารมลพิษที่สำคัญ คือ โครเมียม ซึ่งมีการปนเปื้อนมากับน้ำทิ้ง ถึงแม้ว่าในปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนังจะนำน้ำเสียผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นด้วยวิธีตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ นอกจากนี้ยังพบว่า ดินในบริเวณที่อุตสาหกรรมฟอกหนังตั้งอยู่มักมีปริมาณโครเมียมค่อนข้างสูง ในการกำจัดหรือฟื้นฟูดินวิธีการหนึ่งที่ได้รับความสนใจคือ วิธีการดูดซับโดยใช้พืช เนื่องจากเป็นระบบธรรมชาติที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และดูแลต่ำ จึงเป็นการสมควรอย่างยิ่งที่จะได้ศึกษาถึงรูปแบบที่เหมาะสม โดยใช้วัชพืชเป็นตัวดูดซับ ซึ่งวัชพืชที่ใช้เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ ต้นก้างปลา ต้นขลู่ และผักขม ซึ่งเป็นพืชที่มีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ทั้งที่แห้งแล้งและที่ชื้นแฉะได้ดี และพืชมีระบบรากเป็นรากแก้ว (tap root) สามารถหยั่งลึกลงดิน และมีระบบรากแขนง (lateral root) ที่แผ่กระจายออกด้านข้างทำให้รากพืชมีโอกาสที่จะสัมผัส และสามารถดูดซับปริมาณสารปนเปื้อนต่างๆ ในดินได้มากขึ้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการสะสมโครเมียมในต้นพืชใบเลี้ยงคู่ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนโครเมียม
2. ศึกษาชนิดของพืช ระยะเวลาของการสะสม และระดับความเข้มข้นของโครเมียมต่างๆ
3. ศึกษาเปอร์เซ็นต์การสะสมโครเมียมในพืช ดิน และน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ดินที่ใช้ในการทดลองนำมาจากกรมการบินพาณิชย์ ซอย 59 ต.บางปิ้ง อ.เมือง จ.สมุทรปราการ ซึ่งเป็นดินชุดสมุทรปราการ
2. พืชใบเลี้ยงคู่ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ต้นก้างปลา ต้นขลู่ และผักขม โดยเก็บพืชต้นอ่อน ที่ขึ้นอยู่โดยทั่วไปมาเพาะชำในถุงเพาะชำ เป็นเวลา 15 วัน จากนั้นนำมาปลูกในดินชุดสมุทรปราการ แต่ละกระถางใช้ดิน 5 กิโลกรัม ปลูกในกระถางพลาสติกสีดำพร้อมจานรองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โลหะหนักที่ศึกษาคือ โครเมียม (Cr^{6+})
4. โครเมียมที่ใช้ในการทดลอง คือ โพแทสเซียมไดโครเมต โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ
   - ต้นก้างปลา ศึกษาที่ความเข้มข้น 0, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก
   - ต้นขลู่ ศึกษาที่ความเข้มข้น 0, 100, 150, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก
   - ผักขม ศึกษาที่ความเข้มข้น 0, 50, 100, 200 และ 4000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก
5. ระยะเวลาที่ศึกษา 3 เดือน โดยทำการเก็บทุกๆ 30, 60 และ 90 วัน

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ในการทดลองนี้เป็นการสะสมโครเมียมในต้นพืชใบเลี้ยงคู่ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนโครเมียม โดยแบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสืบค้น ศึกษาข้อมูล และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาหลักพื้นฐานของการปลูกพืช การเลือกใช้ความเข้มข้นของโครเมียม และข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการใช้พืชใบเลี้ยงคู่ เพื่อลดปริมาณโลหะหนักในดินที่ปนเปื้อนโครเมียม

ขั้นที่ 2 การทดลองและหาปริมาณการสะสมของโครเมียมในพืชใบเลี้ยงคู่

ขั้นที่ 3 ประมวลผลการทดลอง สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถประยุกต์ใช้พืชใบเลี้ยงคู่ ในการดูดซับโครเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในดินบริเวณรอบโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พืชที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 ก้างปลา

ก้างปลามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Phyllanthus reticulatus* Poir.

จัดอยู่ในวงศ์ EUPHORBIACEAE

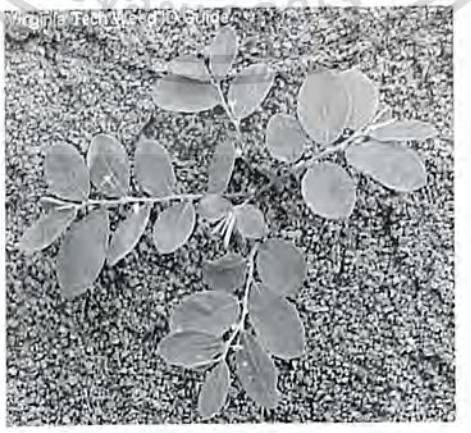
ชื่อสามัญ Chanca piedra

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของก้างปลา :

ก้างปลา เป็นวัชพืชที่มีลักษณะเป็นไม้พุ่ม ลำต้นตั้งตรงหรือกิ่งเลื้อย มีขนตามลำต้น ใบเดี่ยว เรียงสลับตามปลายกิ่ง ตามลำต้นส่วนล่างและกิ่งใหญ่ๆ จะลดจำนวนลงและเรียงเวียน ตัวใบรูปไข่ ขอบขนาน โคนใบมนกว้าง ปลายใบมน ผิวใบมีขนประปรายทั้งสองด้าน ใบอ่อนสีแดง ดอกออกเป็นช่อ ช่อละ 2-10 ดอกตามซอกใบและปลายยอด ดอกมีขนาดเล็ก กลีบดอก 6 กลีบ สีแดงขอบสีจาง ผลกลมแป้น สีดำ ภายในมี 9 ช่อง แต่ละช่องมีเมล็ดรูปสามเหลี่ยม 2 เมล็ดเรียงซ้อนกัน ผิวเมล็ดเป็นมันใสสีเขียว ซึ่งจะพบตามที่รกร้างทั่วไป (ชาตรี, ณุฉัตรา และดรุณ 2538)

ประโยชน์จากก้างปลา :

- ลำต้นและใบ แก้เจ็บคอ และโรคหอบหืด
- ใบใช้ขับปัสสาวะ เปลือกของลำต้นใช้แก้โรคบิด
- รากใช้แก้โรคหืด



รูปที่ 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นก้างปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ขลู่

ขลู่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Pluchea indica* Less.

จัดอยู่ในวงศ์ ASTERACEAE

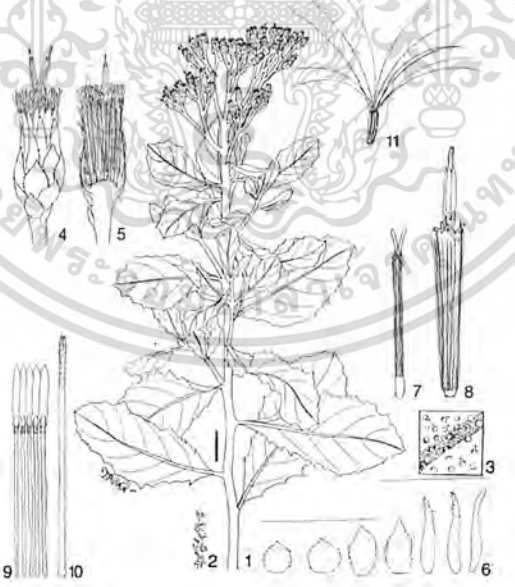
ชื่อสามัญ Indian marsh fleabane

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของขลู่ :

ขลู่ เป็นวัชพืชที่มีลักษณะเป็นไม้พุ่ม ขึ้นอยู่รวมกันเป็นกอแตกกิ่งก้านมาก สูงประมาณ 1-2 เมตร ใบเป็นใบเดี่ยวออกจากลำต้นแบบสลับรูปไข่กลับ ปลายใบมีขนาดกว้างกว่าทางฐานใบ ขอบใบหยักเป็นแบบฟันเลื่อย ใบมีกลิ่นหอมฉุน ดอกออกเป็นช่อ ตามปลายยอดและที่ซอกใบ ประกอบด้วยช่อดอกย่อยรูปหัวกลมหลายๆ ช่อรวมกัน กลีบดอกสีม่วงอ่อน หรือม่วงแดงอมชมพู พบขึ้นตามที่ลุ่ม ชื้นแฉะ และบริเวณแหล่งน้ำกร่อยขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด

ประโยชน์จากขลู่ :

- ใบอ่อนใช้รับประทานเป็นผัก
- ใบและรากใช้เป็นยาสมุนไพร แก้ไข้ ขับเหงื่อ แก้โรคบิด แผลเรื้อรัง
- ส่วนเปลือกลำต้นใช้สับมวนบุหรี่สูบแก้โพรงจมูกอักเสบ



รูปที่ 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นขลู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ผักขม

ผักขมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Amaranthus viridis* Linn.

จัดอยู่ในวงศ์ AMARANTHACEAE

ชื่อสามัญ Slander amaranth

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักขม :

ผักขม เป็นวัชพืชประเภทพืชล้มลุกอายุปีเดียว มีระบบรากแก้ว ลำต้นอวบน้ำตั้งตรง ลำต้นเรียบและมักมีมีรอยแตกเป็นร่องยาว สีเขียวเป็นมัน สีม่วงและสีแดงปนเขียว ทรงพุ่มสูงประมาณ 20-60 เซนติเมตร ใบเป็นใบเดี่ยว ออกจากลำต้นแบบสลับ รูปร่างค่อนข้างจะเป็นสามเหลี่ยม หรือรูปไข่ฐานใบกว้าง ปลายใบค่อนข้างมน มักจะมีรอยหยักเล็กน้อยบริเวณปลายใบ ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ก้านใบเรียวเล็ก มีความยาวใกล้เคียงกับความยาวของใบคือประมาณ 4-10 เซนติเมตร ดอกออกเป็นช่อแบบสไปด์ ออกตามปลายยอดและตามซอกใบ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียเกิดแยกคนละดอกอยู่บนช่อดอกเดียวกัน ดอกย่อยมีขนาดเล็กสีม่วงปนเขียว ไม่มีก้านดอกย่อย จึงเห็นติดอยู่เป็นกระจุกรอบแกนกลางช่อดอก ซึ่งยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร ดอกย่อยมีใบประดับสีเขียวคล้ายใบรองรับอยู่แต่มีขนาดสั้นกว่ากลีบดอก กลีบเลี้ยงและกลีบดอกหลอมรวมกัน(perianth) มี 3 กลีบ มีเกสรตัวผู้ 3 อัน ส่วนผลมีรูปร่างกลมรี แก่แล้วอาจจะแตกหรือไม่แตกก็ได้ มีเมล็ดขนาดเล็กรูปร่างเหมือนเลนส์ สีน้ำตาลแดงถึงสีดำเป็นมัน โดยทั่วไปแล้วจะพบขึ้นทั่วไปในพื้นที่ทำการเกษตรในสวน ในไร่ หรือตามที่รกร้างโดยทั่วไปแพร่กระจายพันธุ์โดยอาศัยเมล็ด

ประโยชน์จากผักขม :

- เป็นสมุนไพรแก้คันตามผิวหนัง ทำให้ผิวหนังอ่อนนุ่ม แก้พิษแมงป่อง ขับปัสสาวะ
- ขับเสมหะ แก้ไข้ แก้หวัดต่างๆ

รูปที่ 2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นผักขม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 โครเมียม

โครเมียม(Cr) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 เกิดตามธรรมชาติในรูปของโครไมต์หรือสินแร่ Chrome iron ($FeOCr_2O_3$) 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
- Hexacarbonylchromium ($Cr(CO)_6$) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวคงตัวในอากาศและไม่ละลายน้ำ
- โครเมียม (+2) เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงและถูกออกซิไดส์เป็นโครเมียม (+3) โดยอากาศ
- โครเมียม (+3) เป็นเวเลนซีที่เสถียรเป็นรูปที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ในสภาวะกรด$[Cr(H_2O_2)_6]^{3+}$ และในสภาวะด่าง$[Cr(OH)(H_2O)_5]^{2+}$
- โครเมียม (+6) พบมากในธรรมชาติพอ ๆ กับ (+3) แต่พบในรูปของสารประกอบที่มีออกซิเจน ตัวอย่างเช่น
  - โครเมียม (+6) ออกไซด์ (กรดโครมิก : CrO_3)
  - โครเมียมคลอไรด์ (CrO_2Cl_2)
  - คลอโรโครเมต (CrO_3Cl)
  - โครเมต (CrO_4^{2-})
  - ไดโครเมต ($Cr_2O_7^{2-}$)

เมื่อไดโครเมตละลายน้ำ จะได้โครเมตดังสมการ

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

โครเมียม (+6) เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงมาก ภายใต้สภาวะกรด (พีเอช 0)

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

ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้มีการนำโครเมียมมาใช้อย่างกว้างขวาง เป็นเวลากว่า 10 ปี เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก รงควัตถุ สีทา สีย้อม สารยึดอายุไม้ สารป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ การชุบโครเมียมและการฟอกหนัง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเติมสารประกอบโครเมียมลงในน้ำหล่อลื่นเย็น เพื่อป้องกันการกัดกร่อน อุตสาหกรรมการชุบเพลทโลหะและ

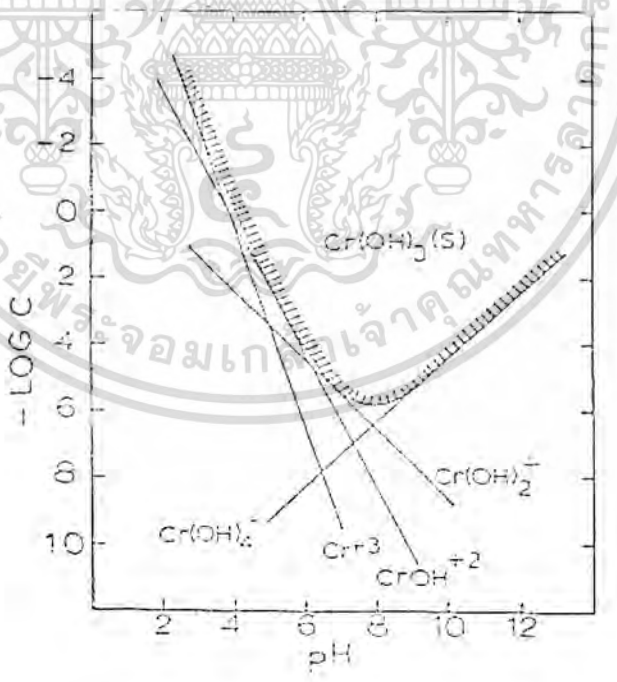
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประดิษฐ์ส่วนประกอบรถยนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการนำโลหะมาชุบโครเมียมมากที่สุดและมีความเป็นไปได้ว่าในระยะยาวจะมีการสะสมและกระจายตัวของโครเมียมในระบบนิเวศเพิ่มมากขึ้น

ธาตุโครเมียม(Cr) จะไม่พบในสถานะอิสระในธรรมชาติ แร่โลหะที่พบบ่อย คือ โครไมต์ ($FeOCr_2O_3$) ซึ่งใช้ในการผลิตโซเดียมไดโครเมต เป็นสารเคมีขั้นปฐมภูมิของสารประกอบโครเมียมตัวอื่น ๆ ในอุตสาหกรรม เช่นการฟอกหนัง การผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมสิ่งทอ สารกัดกร่อนโลหะ เป็นต้น โรงงานต่าง ๆ จะปล่อยน้ำทิ้งที่มีโครเมียมเจือปนอยู่ในรูปโครเมียม (+6) ซึ่งในสภาวะธรรมชาติ โครเมียม (+3) จะเสถียรกว่าโครเมียม (+6) ในสภาวะเป็นกรด และโครเมียม (+6) จะเสถียรขึ้นที่พีเอชมากกว่า 12

ความสามารถในการออกซิไดส์ของ Cr^{3+} ไปเป็น Cr^{6+} ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และอัตราส่วนที่มีแต่ละชนิดของ Cr^{3+} ตามธรรมดาแล้วจะตกตะกอนภายใต้สภาวะธรรมชาติ หรือภายใต้สภาวะเบสเล็กน้อย คือประมาณ 0.1 mg/L ที่พีเอช 8.5 โดยประมาณ การละลายของโครเมียมไฮดรอกไซด์นี้จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพีเอช การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายจะเพิ่มค่าพีเอช เนื่องจากสูตรของ $Cr(OH)_4^-$ และชนิดของ Hydrolysis อื่น

การเคลื่อนย้ายระหว่าง Cr^{3+} และ Cr^{6+} เป็นระบบ Oxidation และ Reduction



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ Cr^{6+} ปฏิกิริยารีดักชันสามารถทำให้โครเมียม Cr^{6+} เปลี่ยนอยู่ในรูป Cr^{3+} ในสารละลายกรดได้ (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

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

จึงชี้ให้เห็นว่า การลดลงของ Cr^{6+} อาจเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าจะเกิดปฏิกิริยากับซัลไฟด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (ซึ่งเกิดจากการสลายของสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียซัลเฟตรีดักชันหรือโดยการปล่อยของเสียอุตสาหกรรมที่แน่นอน) การผลิต Cr^{3+} โดยปฏิกิริยานี้ น่าจะเป็นไปได้ที่จะถูกดูดซึมโดยตะกอนและถูกกำจัดออกจากสารละลาย

ปฏิกิริยา Oxidation ของ Cr^{3+} ที่พีเอช 6.5-8.5

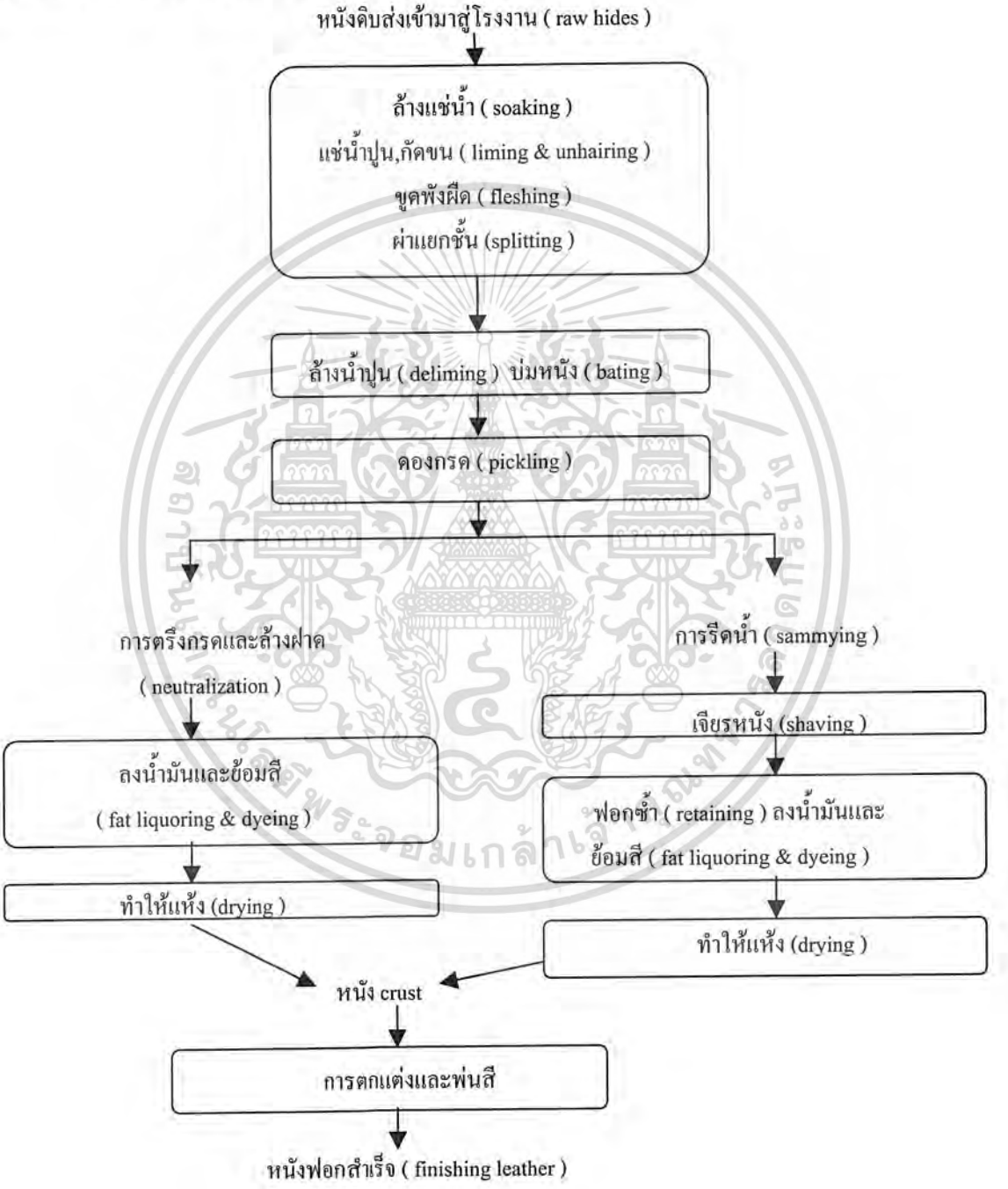
$$2Cr(OH)_2^+ + 1.5O_2 + H_2 \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 6H^+$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกหนัง

การผลิตหนังฟอกแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ การเตรียมหนังก่อนฟอก(beamhouse process) การฟอก(tanning proces) และการตบแต่ง(finishing process) (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการฟอกหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การฟอก (tanning process)

ภายหลังจากที่ได้ทำความสะอาดผ่าหนังดิบให้มีขนาดตามต้องการแล้ว จะนำหนังไปผ่านการฟอก ซึ่งการฟอกหนังก็คือการเปลี่ยนสภาพหนังสัตว์ดิบซึ่งเน่าเปื่อยได้ ไปเป็นหนังสำเร็จซึ่งคงตัวกว่า ไม่เน่าเปื่อย มีความทนทานต่อสภาพอากาศและน้ำร้อน ทั้งนี้การรักษาสภาพหนังไม่ให้เน่าเปื่อยจะอาศัยสารเคมีบางชนิด ได้แก่ ฝาดโครเมียม หรือสารเคมีอื่น เข้าไปทำปฏิกิริยากับคอลลาเจน (โปรตีน) ในหนัง

การฟอกหนังที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ การฟอกโครเมียมซึ่งอาศัยโครเมียม และการฟอกฝาดซึ่งอาศัยแทนนินหรือสารสังเคราะห์มาเป็นตัวฟอก ทั้งนี้การฟอกโครเมียมเป็นที่นิยมกว่า เนื่องจากใช้เวลาสั้น ใช้สารเคมีราคาถูก หนังที่ฟอกแล้วทนต่อความร้อนและความชื้นดีกว่า อนึ่ง การดองกรดเป็นขั้นตอนที่จำเป็นต้องมีในการฟอกทั้ง 2 วิธี สารเคมีที่ใช้ คือ เกลือแกง กรดกำมะถัน และกรดฟอร์มิก วัตถุประสงค์ของการดองกรดก็เพื่อปรับพีเอชให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาการฟอกหนัง ระหว่างการฟอกอาจมีการเติมสารเคมีพิเศษ (สารช่วยฟอก หรือสารช่วยตรึงโครเมียม) ลงไประหว่างการดองกรดเพื่อให้หนังจับโครเมียมได้ดีขึ้นและเพื่อลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย

2.3.2 ขั้นตอนการดองกรดและการฟอกโครม (pickling and chrome tanning)

การดองกรดเป็นการปรับพีเอชให้เหมาะสมต่อการฟอกโครม โดยการเติมเกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์) หรือโซเดียมซัลเฟต และกรดซัลฟูริก เพื่อลดการพองบวมของหนัง ให้พีเอชมีค่าประมาณ 1.4 -3.0 ใช้ระยะเวลาดองกรดประมาณ 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมโครเมียมซัลเฟต ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนในหนัง โดยปกติประมาณร้อยละ 70 ของน้ำหนังโครเมียมจะค้างอยู่ในหนังโครม บางแห่งอาจเติม “สารช่วยฟอก” ในช่วงของการดองกรด (เพื่อให้หนังจับโครเมียมได้ดีและเพื่อช่วยลดโครเมียมในน้ำเสีย) การตรึงโครมให้อยู่กับหนังเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มพีเอชและอุณหภูมิ ในน้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงพบกรด เกลือ สารแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี และโครเมียม ส่วนเศษตะกอนลอย(float residues) ที่เกิดขึ้นมีโครเมียมปนอยู่และจะหลุดออกมาพร้อมน้ำทิ้งด้วย (ปริมาณโครเมียมในน้ำทิ้งมีค่าประมาณ 2,000 — 4,000 มก./ล.)

2.3.3 บุคคลที่ได้รับอันตรายจากโครเมียม

ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการชุบโครเมียมและขัดเงาโลหะที่ชุบโครเมียม สีที่มีส่วนประกอบของโครเมียม โรงงานฟอกหนังซึ่งมีการใช้สารประกอบโครเมียม การล้างอัดรูปซึ่งมีการใช้สารประกอบโครเมียม และประชาชนที่อยู่ใกล้โรงงานดังกล่าวจะได้รับผลกระทบเนื่องจากน้ำทิ้งจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงานเหล่านี้จะมีส่วนผสมของโครเมียม ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ และถ้าประชาชนใช้น้ำจากแหล่งน้ำเหล่านั้นก็จะเป็นอันตรายต่อร่างกายได้

2.3.4 อันตรายที่เกิดจากโครเมียม

โครเมียมที่มีอยู่สถานะทั่วไปในธรรมชาติ คือ โครเมียม(+3) และโครเมียม (+6) กรณีของโครเมียม (+6)จะมีความเป็นพิษมากกว่าโครเมียม(+3)ประมาณ 100 เท่า โลหะโครเมียมบริสุทธิ์จะไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เกลือที่ละลายน้ำของโครเมียม (+3) ทั้งออกไซด์และฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำจะไม่เป็นพิษ

1. แผลจากโครเมียมเกิดจากการสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มเป็นรอยถลอกที่ผิวหนังและจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บตามข้อที่นิ้วมือหรือหลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลม ขอบค่อนข้างเรียบ บุ๋มลึกลงไป ปกติมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรหรือเล็กกว่าซึ่งจะมองดูคล้ายถูกเจาะด้วยตะปู ถึงแม้ว่าแผลนี้จะไม่เจ็บปวดแต่จะคันมากในเวลากลางคืน ต่อไปแผลอาจเกิดการติดเชื้อขึ้น และอาจทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียง ซึ่งอาจทำให้ต้องตัดนิ้วทิ้ง ฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิกอาจตกลงบนหนังตาหรือที่ปลายจมูกซึ่งอาจเกิดแผลขึ้นได้เช่นเดียวกัน

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

3. ผนังกั้นในจมูกถูกเจาะทะลุ คนที่ทำงานเกี่ยวกับโครเมียมจะได้รับควันกรดโครมิกหรือฝุ่นละอองเป็นประจำจะทำให้ผนังกั้นในรูจมูกถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุนี้คนงานจะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใด จะรู้สึกตัวก็ต่อเมื่อมีเสียงอู้อี้ หรือดั้งจมูกแบนลง

4. มะเร็งปอด อาจเกิดกับคนงานที่สูดเอาโครเมียมเข้าสู่ร่างกายอยู่เป็นประจำ และเป็นเวลานาน ซึ่งอาจเป็นอันตรายอย่างมากแก่ชีวิต

2.4 ลักษณะดิน

จากรายงานการสำรวจดินในปี พ.ศ. 2519 ของกองสำรวจดินกรมพัฒนาที่ดิน ในระดับการสำรวจ แบบค่อนข้างหยาบ (detuarine reconnaissance) มาตราส่วน 1 : 100,000 พบว่าลักษณะดินโดยทั่วไปของจังหวัดสมุทรปราการนี้เกิดจากขบวนการ 3 ลักษณะคือ (เฉลียว, 2525)

1) เกิดจากการทับถมของตะกอน น้ำทะเลบนชวากทะเล (estuarine)

2) เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อย หรือตะกอนน้ำทะเลบนที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อยทับบนตะกอนน้ำทะเลบนที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึง

โดยมีลักษณะเนื้อดินบนและดินล่างเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแห้ง ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคของดินเหนียวมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินลึกมากมีการระบายน้ำเลวถึงเลวมาก ปฏิกิริยาของดินเป็นกรดจัดมากถึงด่างปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลางถึงสูง นอกจากนี้บางบริเวณยังพบลักษณะของดินเค็มและดินกรดอีกด้วย เนื่องจากมีน้ำทะเลท่วมถึงและพบกำมะถันหรือสารจาโรไซต์ในดินสูง โดยที่สารนี้เมื่ออยู่ในสภาพดินแห้งจะถูกออกซิไดซ์ทำให้เกิดความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะดินทั้ง 2 นี้จะเป็นอุปสรรคต่อการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม การเพาะปลูก และการเลี้ยงสัตว์น้ำ ลักษณะดินที่พบในจังหวัดนี้สามารถจำแนก ดินตามระบบการจำแนกดินสากลหรือที่เรียกว่า "Soil Taxonomy" ได้ทั้งหมด 8 ชุดดิน คือ

1) ดินชุดท่าจีน
2) ดินชุดบางปะกง
3) ดินชุดชะอำ
4) ดินชุดสมุทรปราการ
5) ดินชุดสมุทรสงคราม
6) ดินชุดบางกอก
7) ดินชุดบางน้ำเปรี้ยว
8) ดินชุดฉะเชิงเทรา

2.4.1 ดินชุดสมุทรปราการ very saline phase (Sm-x) บริษัทสมุทรปราการ (2538)

มีเนื้อที่ประมาณ 12,040ไร่ พบในที่ราบลุ่มน้ำทะเลท่วมถึงสภาพพื้นที่ราบเรียบ เป็นดินลึกการระบายน้ำเลวมาก ความสามารถในการอุ้มน้ำสูง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านไปได้ช้าตลอดทุกขั้น

ปฏิกิริยาของดินเป็นด่างแก่ ในฤดูแล้งจะพบเกลือบนผิวหน้าดิน ดินบนมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนซิลท์ มีพื้นเป็นสีน้ำตาล ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนซิลท์ สีพื้นเป็นสีเทาปนเขียวมะกอก มีสีประน้ำตาล และแดงปนเหลือง สีเทาปนเขียวจะเริ่มที่ระยะความลึกต่ำกว่า 50 ซ.ม.

ดินชุดนี้มีความอุดมสมบรูณ์ปานกลาง แต่เนื่องจากเป็นดินเค็ม จึงไม่สามารถใช้ทำประโยชน์ได้ มีวัชพืชและต้นไม้ที่สามารถทนต่อความเค็มได้ขึ้นอยู่ทั่วไป ดินชุดนี้ควรจะมีการปรับปรุงพัฒนาสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้นโดยใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยเทศบาลจะเป็นทางช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้ แต่อาจต้องใช้เวลานานและลงทุนสูง เนื่องจากมีความเค็มสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ดินและพืชที่ใช้ในการทำวิจัย

3.1.1 ดิน

ดินที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ ชุดดินสมุทรปราการ โดยเก็บตัวอย่างดิน 5 แหล่ง คือ บริเวณบ้านคุณศรี บริเวณร้านส.ไม้งาม บริเวณบ้านคุณศิริ1 บริเวณบ้านคุณศิริ2 และบริเวณกรมการบินพาณิชย์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะของดินและหาปริมาณโครเมียมในดิน พบว่าทุกแหล่งมีปริมาณโครเมียมอยู่ระหว่าง 18-51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก แต่จะเลือกเก็บดินบริเวณกรมการบินพาณิชย์ ซอย 59 ต.บางปิ้ง อ.เมือง จ.สมุทรปราการ ซึ่งเป็นสถานที่ราชการ และสะดวกในการเก็บตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะดินที่นำมาใช้ทำวิจัย

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์
พีเอช	5.24
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	3.95
ค่าความชื้น (% w/w)	0.48
ปริมาณโครเมียม (mg/kg ดินเปียก)	51.17
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (% w/w)	4.83
ปริมาณไนโตรเจน (% w/w)	0.20
ปริมาณโพแทสเซียม (mg/kg)	6170.50
ปริมาณฟอสฟอรัส (mg/kg)	747.60
ค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวก (mg/100 g)	21.10
ปริมาณทราย (% w/w)	65.00
ปริมาณกรวด (% w/w)	7.50
ปริมาณดินเหนียว (% w/w)	27.50

จากลักษณะต่างๆ สามารถบอกได้ว่าดินมีลักษณะเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy silt loam) และมีปริมาณโครเมียมอยู่ 51.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 พืช

จากการสำรวจพื้นที่บริเวณโรงงานฟอกหนังที่นิคมอุตสาหกรรมฟอกหนังที่จังหวัดสมุทรปราการ พบว่าพืชที่ขึ้นในบริเวณโรงงานฟอกหนัง มีหลายชนิด โดยทำการเลือกชนิดพืชที่พบมากในบริเวณนั้น และพืชที่เป็นที่สนใจ มาเป็นพืชตัวอย่างในการศึกษางานวิจัย พืชใบเลี้ยงคู่ 3 ชนิดที่ใช้ทำการวิจัย ได้แก่

1. ต้นก้างปลา (*Phyllanthus reticulatus* Poir.)
2. ต้นขลู่ (*Pluchea indica* Less.)
3. ผักขม (*Amaranthus viridis* Linn.)

3.2 ระดับความเข้มข้นโครเมียมที่ใช้ในการทำวิจัย

3.2.1 การวางแผนก่อนการทดลอง

1. ทำการเพาะชำต้นพืชทั้ง 3 ชนิด โดยนำดินที่ใช้ปลูกพืชโดยทั่วไปมาใส่ในถุงเพาะชำสีดำ จากนั้นนำต้นอ่อนมาทำการเพาะชำในถุงเพาะชำ ทิ้งไว้ประมาณ 2 สัปดาห์ เพื่อให้ต้นพืชปรับตัวและแข็งแรง และคอยทำการรดน้ำสม่ำเสมอ

2. เมื่อต้นอ่อนพืชแข็งแรงดีแล้วก็จะทำการค่อยๆ เทสารละลายโครเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ใส่ลงในแต่ละกระถางของพืชทั้ง 3 ชนิด ซึ่งค่าเข้มข้นของสารละลายโครเมียมที่ทำการศึกษาก่อนการทดลอง คือ 0, 10, 100, 200, 300, 400, 500, 700 และ 900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

3.2.2 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของพืชใบเลี้ยงคู่ก่อนทำการทดลอง

จากการศึกษาเบื้องต้นในหัวข้อ 3.2.1 พบว่า

1. ต้นก้างปลา ที่ความเข้มข้นของโครเมียม 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก พบว่า สามารถเติบโตได้

2. ต้นขลู่ พบว่า ที่ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีอัตราการอยู่รอดเพียง 30% และความเข้มข้นที่ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ตายทั้งหมด จึงทำการศึกษาเพิ่มที่ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

3. ผักขม ที่ความเข้มข้น 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก พบว่า ตายทั้งหมดทุกความเข้มข้น จึงทำการศึกษาเพิ่มที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

สำหรับค่าความเข้มข้นที่สูงกว่า 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิด ตายทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.3.1 การเตรียมดินและพืช

1. นำกระถางพลาสติกสีดำพร้อมจานรอง ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว บรรจุดิน กระถางละ 5 กิโลกรัม

2. คัดเลือกต้นอ่อนของพืชใบเลี้ยงคู่(ต้นก้างปลา ต้นขลู่ และผักขม) ที่ได้ทำการเพาะชำไว้ ประมาณ 15 วัน ซึ่งมีขนาดความสูงของแต่ละต้นเท่าๆ กัน ปลูกลงในกระถาง จำนวน 1 ต้น ต่อ 1 กระถาง

3.3.2 การเตรียมชุดการทดลอง

ในการปลูกพืชใบเลี้ยงคู่สามารถแบ่งการทดลองออกได้เป็น 3 ชุดการทดลอง ดังนี้

1. ชุดการทดลอง ก. ทำการปลูกต้นก้างปลาที่ได้ทำการเพาะไว้แล้วในดินที่เตรียมไว้ในกระถางพลาสติกสีดำพร้อมจานรอง ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 วัน เพื่อให้ต้นไม้ปรับตัวให้ทนต่อดินชุดสมุทรปราการและสภาพแวดล้อมได้ ก่อนทำการใส่สารละลายโครเมียมลงไป นำกระถางที่ปลูกพืชไว้แล้วมาใส่ถุงพลาสติก ขนาด 20x30 นิ้ว ดังรูปที่ 3.1 จากนั้นค่อย ๆ ใส่สารละลายโครเมียมที่มีความเข้มข้น 100 , 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ที่มีปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงในกระถาง ทำการเก็บผลการทดลองทุก 30 , 60 และ 90 วัน ในแต่ละความเข้มข้น (ดังภาคผนวก ก.)

รูปที่ 3.1 ชุดการทดลอง ก. ต้นก้างปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชุดการทดลอง ข. ทำการปลูกต้นขลู่ที่ได้เพาะไว้แล้ว ลงในดินที่เตรียมไว้เช่นเดียวกับชุดการทดลอง ก. ดังรูปที่ 3.2 โดยให้มีความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม 100, 150 และ 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

รูปที่ 3.2 ชุดการทดลอง ข. ต้นขลู่

3. ชุดการทดลอง ค. ทำการปลูกผักขมที่ได้เพาะไว้แล้ว ลงในดินที่เตรียมไว้เช่นเดียวกับชุดการทดลอง ก. และ ข. ดังรูปที่ 3.3 โดยให้มีความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม 50, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

รูปที่ 3.3 ชุดการทดลอง ค. ผักขม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ทำชุดควบคุมโดยทำการปลูกพืชทั้ง 3 ชนิดที่เพาะไว้แล้วลงในดินที่เตรียมไว้เช่นเดียวกับชุดการทดลอง ก., ข. และ ค. แต่ไม่มีการใส่สารละลายโครเมียม และในการทดลองครั้งนี้ได้มีการทำซ้ำในแต่ละชุดการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ สามารถแสดงได้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงความเข้มข้นสารละลายโครเมียมในแต่ละกระถางการทดลอง (ดังภาคผนวก ก.)

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (mg/kg ดินเปียก)	จำนวนกระถางที่ใช้ในการทดลอง (กระถาง)			จำนวนกระถางทั้งหมด (กระถาง)
		ที่ 30 วัน	ที่ 60 วัน	ที่ 90 วัน	
ก. ต้นก้างปลา	0	3	3	3	36
	100	3	3	3	
	200	3	3	3	
	400	3	3	3	
ข. ต้นขลู่	0	3	3	3	45
	100	3	3	3	
	150	3	3	3	
	200	3	3	3	
	400	3	3	3	
ค. ผักขม	0	3	3	3	45
	50	3	3	3	
	100	3	3	3	
	200	3	3	3	
	400	3	3	3	

หลังจากปลูกพืชใบเลี้ยงคู่แล้ว นำชุดการทดลองทั้งหมดไปตั้งไว้ในบริเวณที่ได้รับแสงสว่างเพียงพอ คอยดูแลรดน้ำและพรวนดิน พร้อมใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 เดือนละครั้งในปริมาณที่เท่ากันทุกกระถางตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง พร้อมทั้งทำการวัดความสูงของพืชใบเลี้ยงคู่ทุก 15 วัน และทำการเก็บตัวอย่างพืชใบเลี้ยงคู่ ดิน และน้ำ มาวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม ทุก 30 , 60 และ 90 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

49284

3.3.3 การเก็บตัวอย่างพืช ดิน และน้ำ

การเก็บตัวอย่างแต่ละกระถาง แบ่งเป็นขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดังนี้

1. พืช

เก็บตัวอย่างพืชใบเลี้ยงคู่ ในแต่ละชุดการทดลอง มาล้างทำความสะอาด บริเวณส่วน ราก ลำต้น และใบ ให้สะอาด แล้วนำมาทิ้งไว้ให้แห้ง (air dry) เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 วัน แล้วมาทำการบดให้ละเอียด

2. ดิน

เก็บตัวอย่างดินในแต่ละชุดการทดลองมาทิ้งไว้ให้แห้ง (air dry) เป็นเวลา 2-3 วัน ทำการเก็บตัวอย่างดินให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของกระถางประมาณ 1 กิโลกรัมต่อกระถาง แล้วนำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำดินมาบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

3. น้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งน้ำอยู่ในจานรองและถุงพลาสติก นำมาวัดปริมาตรน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำ 250 มิลลิลิตร ใส่ขวดพลาสติก จากนั้นใส่กรดไนตริกเข้มข้น 65% จำนวน 3 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่เย็น

นำตัวอย่างพืช ดิน และน้ำที่เก็บแล้วในแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์ หาปริมาณโครเมียมและความชื้น โดยตัวอย่างพืช ดิน และน้ำ ทำการย่อยสลายตามวิธีของ EPA method 3052 (ดังภาคผนวก ข.) ด้วยเครื่องย่อยสลาย จากนั้นจึงนำสารละลายมาหาปริมาณโครเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรมิเตอร์ รายงานผลปริมาณโครเมียมทั้งหมดในหน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ดังภาคผนวก ค.)

3.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 อุปกรณ์

1. กระถางพลาสติกสีดำพร้อมจานรอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว จำนวน 90 ใบ
2. ชุดย่อยสลาย (High Performance microwave digestion unit) ของบริษัท Milestone microwave laboratory systems รุ่น MPR-300/12s
3. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น AAnalyst800
4. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41
5. ถุงพลาสติกใส ขนาด 20x36 นิ้ว
6. ตะแกรงร่อน ขนาด 2 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 สารเคมี

1. สารโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ (AR grade)
2. กรดไนตริกเข้มข้น 65% (w/w) (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ (AR grade)
3. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% (w/w) (HCl) เกรดวิเคราะห์ (AR grade)
4. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% (H_2O_2) เกรดวิเคราะห์ (AR grade)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นก้างปลา ขลู่ และผักขม

4.1.1 ลักษณะอาการของพืช

จากการศึกษาการสะสมปริมาณโครเมียมในพืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ ต้นก้างปลา ขลู่ และผักขม สามารถบอกแนวโน้มของโครเมียมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ คือชุดควบคุม (ไม่มีการเติมสารละลายโครเมียม) พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่อทำการเติมสารละลายโครเมียมลงไปจนมีระดับโครเมียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก พบว่า ต้นก้างปลาและขลู่มีการเจริญเติบโตลดลงเล็กน้อย คือพืชแสดงอาการใบเหลืองและแห้ง ส่วนผักขมไม่สามารถทนต่อระดับโครเมียมที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียกได้ มีอาการเหี่ยวแห้งและตายไป

ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ต้นก้างปลามีการเจริญเติบโตลดลงมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก คือ พืชแสดงอาการลำต้นแห้ง ใบเหลืองและร่วง ส่วนขลู่และผักขมไม่สามารถทนต่อระดับโครเมียมที่ 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียกได้ แสดงดังตารางที่ 4.1 จึงสามารถกล่าวได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมสูงๆ โครเมียมจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะอาการของพืชใบเลี้ยงคู่

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ลักษณะอาการของพืช
ก. ต้นก้างปลา	0	เจริญเติบโตปกติ
	100	ใบเหลืองและแห้ง
	200	ใบเหลืองและแห้ง
	400	ใบเหลือง ใบร่วง และลำต้นแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ลักษณะอาการของพืช
ข. ขลู่	0	เจริญเติบโตปกติ
	100	ใบเหลืองและแห้ง
	150	ใบเหลืองและแห้ง
	200	ใบเหี่ยว ลำต้นแห้ง ตายทั้งหมด
	400	ใบเหี่ยว ลำต้นแห้ง ตายทั้งหมด
ค. ผักขม	0	เจริญเติบโตปกติ
	50	เจริญเติบโตปกติ
	100	ใบเหี่ยว ลำต้นแห้ง ตายทั้งหมด
	200	ใบเหี่ยว ลำต้นแห้ง ตายทั้งหมด
	400	ใบเหี่ยว ลำต้นแห้ง ตายทั้งหมด

4.1.2 ความสูงของพืช

1. ต้นก้างปลา

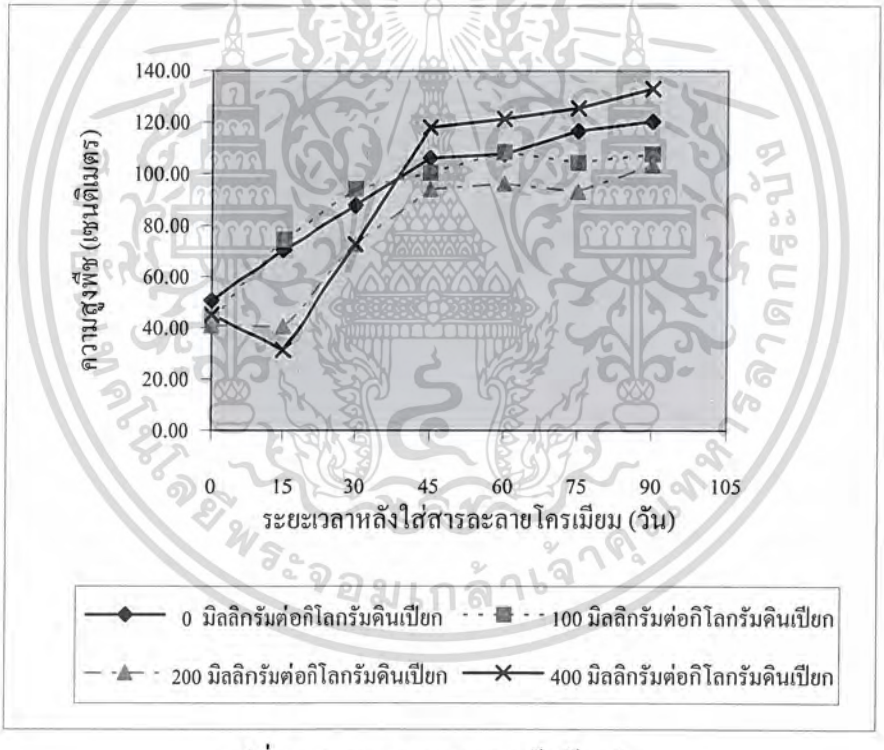
จากผลการศึกษาความสูงของพืชพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ในช่วงเวลา 30 วัน ถึง 60 วันหลังเติมสารละลายโครเมียม ต้นก้างปลามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมีความสูงเฉลี่ยที่ 30 และ 90 วัน เท่ากับ 94.11 และ 108.5 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ที่ 90 วัน ต้นก้างปลามีความสูงเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 107.67 เซนติเมตร

ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ในช่วงเวลา 30, 60 และ 90 วัน ต้นก้างปลามีความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 72.75, 96.17 และ 103.33 เซนติเมตร ตามลำดับ และที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียม 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ในช่วงเวลา 30, 60 และ 90 วัน ต้นก้างปลามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 72.75, 121.33 และ 133.00 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความสูงของต้นก้างปลา

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ความสูงเฉลี่ยของพืช (เซนติเมตร) หลังใส่สารละลายโครเมียม (วัน)						
		0	15	30	45	60	75	90
ก. ต้นก้างปลา	0	50.69	70.50	87.89	106.17	107.67	116.67	120.33
	100	43.37	74.56	94.11	100.42	108.50	104.33	107.67
	200	40.93	40.51	72.75	94.00	96.17	93.00	103.33
	400	45.16	31.38	72.75	118.00	121.33	125.50	133.00



รูปที่ 4.1 แสดงความสูงของต้นก้างปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขลู่

ระดับความเข้มข้นของโครเมียมที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ช่วงเวลา 30, 60 และ 90 วัน ขลู่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมีความสูงเฉลี่ย เท่ากับ 48.22, 60.83 และ 75.00 เซนติเมตร ตามลำดับ

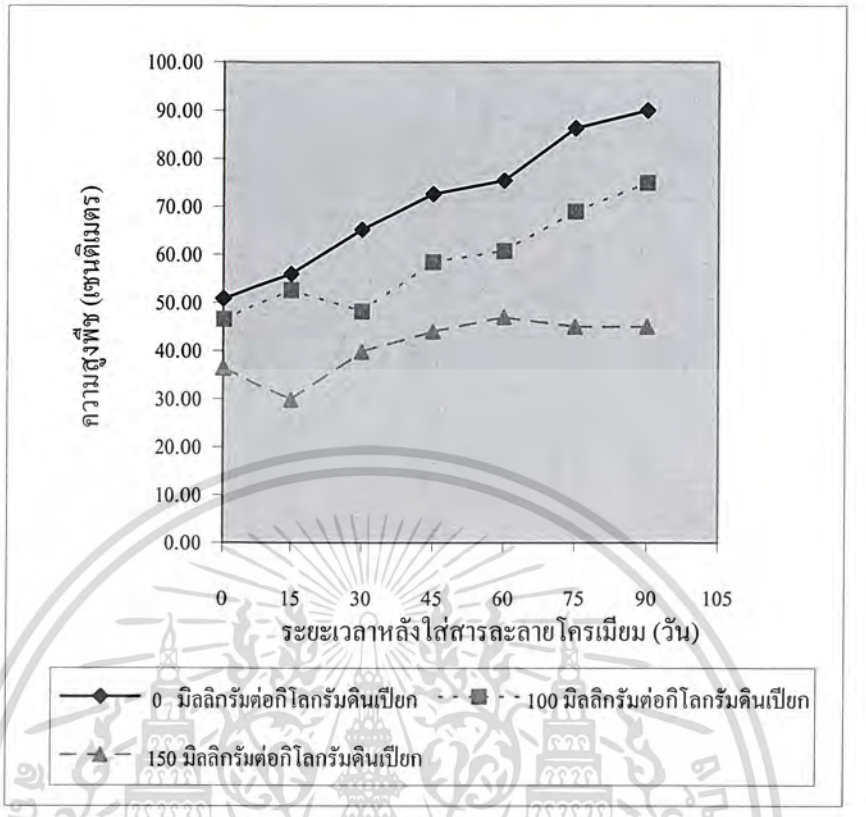
ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ช่วงเวลา 30 วัน ถึง 60 วัน ขลู่มีความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 39.80 และ 47.00 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ที่ 90 วัน ขลู่มีความสูงเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 45.00 เซนติเมตร ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ขลู่ไม่สามารถทนต่อระดับโครเมียมได้ แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 แสดงความสูงของขลู่

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ความสูงเฉลี่ยของพืช (เซนติเมตร) หลังใส่สารละลายโครเมียม (วัน)						
		0	15	30	45	60	75	90
ข. ขลู่	0	50.85	56.00	65.22	72.67	75.50	86.33	90.00
	100	46.58	52.67	48.22	58.50	60.83	69.00	75.00
	150	36.33	29.80	39.80	44.00	47.00	45.00	45.00
	200	-*	-	-	-	-	-	-
	400	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ *- คือ ต้นพืชตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงความสูงของขลู่

3. ผักขม

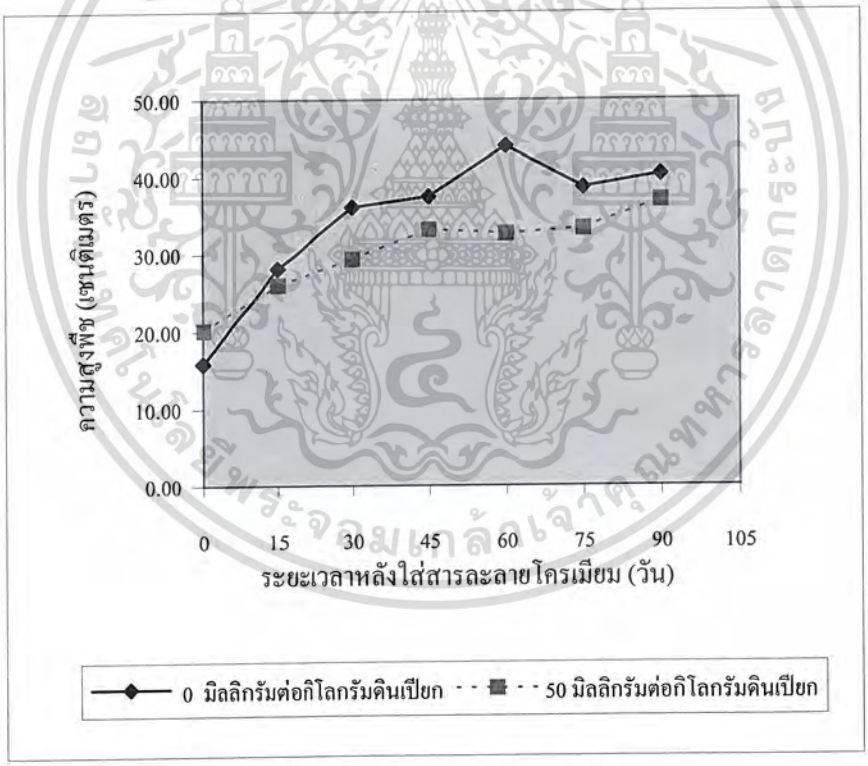
จากผลการศึกษาพบว่า ผักขมสามารถทนต่อระดับโครเมียมได้เพียงที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก พบว่า ความสูงเฉลี่ยของผักขมช่วงเวลา 30, 60 และ 90 วัน ผักขมมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น โดยมีความสูงเฉลี่ย เท่ากับ 29.38 , 32.67 และ 37.00 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงความสูงของผักขม

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ความสูงเฉลี่ยของพืช (เซนติเมตร) หลังใส่สารละลายโครเมียม (วัน)						
		0	15	30	45	60	75	90
ค. ผักขม	0	15.86	28.11	36.11	37.50	44.00	38.67	40.33
	50	20.17	26.00	29.38	33.20	32.67	33.33	37.00
	100	-*	-	-	-	-	-	-
	200	-	-	-	-	-	-	-
	400	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ *- คือ ต้นพืชตาย



รูปที่ 4.3 แสดงความสูงของผักขม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อัตราการรอดของพืชใบเลี้ยงคู่

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการรอดของพืชทั้ง 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ ต้นก้างปลา ขลู่ และผักขม ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากันในช่วงระยะเวลา 90 วัน พบว่า ที่ชุดควบคุม (ไม่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงไป) พืชทั้ง 3 ชนิดมีอัตราการรอดเท่ากับ 100%

ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ต้นก้างปลาและขลู่มีอัตราการรอดเท่ากับ 100% ส่วนผักขมมีอัตราการรอดเท่ากับ 0% และที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ต้นก้างปลามีอัตราการรอดเท่ากับ 88.89% และ 44.44% ตามลำดับ ส่วนขลู่และผักขมไม่สามารถทนต่อระดับความเข้มข้นของโครเมียมที่สูงได้ จึงมีอัตราการรอดเท่ากับ 0%

ซึ่งจากการศึกษาอัตราการรอดของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่า ต้นก้างปลามีอัตราการรอด ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมต่างๆ สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขลู่และผักขม รองลงมาคือ ขลู่และผักขม ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงจำนวนพืชที่รอดหลังการบำบัด

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	จำนวนพืชที่รอด (กระถาง)					
		ที่ 30 วัน		ที่ 60 วัน		ที่ 90 วัน	
		ก่อนบำบัด	หลังบำบัด	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด
ก. ต้นก้างปลา	0	3	3	3	3	3	3
	100	3	3	3	3	3	3
	200	3	2	3	3	3	3
	400	3	1	3	1	3	2
ข. ขลู่	0	3	3	3	3	3	3
	100	3	3	3	3	3	3
	150	3	2	3	2	3	1
	200	3	0	3	0	3	0
	400	3	0	3	0	3	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	จำนวนพืชที่รอด (กระถาง)					
		ที่ 30 วัน		ที่ 60 วัน		ที่ 90 วัน	
		ก่อนบำบัด	หลังบำบัด	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด
ค. ผักขม	0	3	3	3	3	3	3
	50	3	3	3	3	3	3
	100	3	0	3	0	3	0
	200	3	0	3	0	3	0
	400	3	0	3	0	3	0

ตารางที่ 4.6 แสดงอัตราการรอดของพืชใบเลี้ยงคู่

ชุดการทดลอง	อัตราการรอด(เปอร์เซ็นต์)** ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)					
	0	50	100	150	200	400
ก. ต้นก้างปลา	100.00	-*	100.00	-	88.89	44.44
ข. ขลู่	100.00	-	100.00	55.56	0.00	0.00
ค. ผักขม	100.00	100.00	0.00	-	0.00	0.00

หมายเหตุ *- คือ ไม่ได้ทำการทดลอง

** วิธีการคำนวณหาอัตราการรอดอยู่ในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของพืชใบเลี้ยงคู่

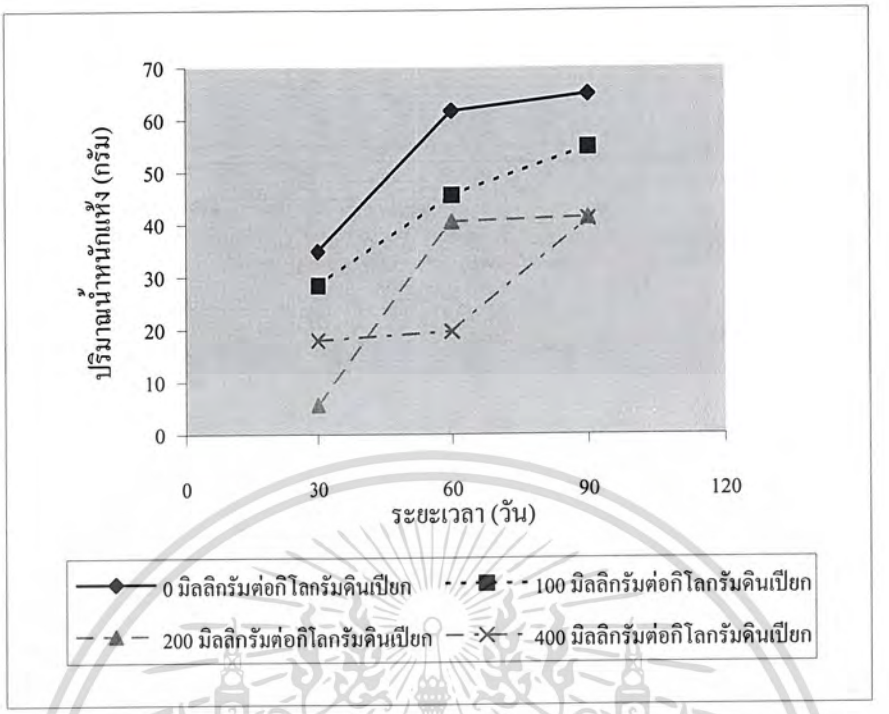
4.3.1 ก้างปลา

ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก รวมถึงชุดควบคุม (ไม่มีการเติมสารละลายโครเมียม) ต้นก้างปลามีปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูก ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ต้นก้างปลามีปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 60 วันแรก เนื่องมาจากระดับความเข้มข้นของโครเมียมในดินไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และหลังจาก 60 วัน ต้นก้างปลาเริ่มปรับตัวได้ สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ จึงทำให้มีปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูก แสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.7 แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นก้างปลา

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ย (กรัม)		
		ที่ 30 วัน	ที่ 60 วัน	ที่ 90 วัน
ก. ต้นก้างปลา	0	34.91	61.72	64.89
	100	28.45	45.66	54.78
	200	5.71	40.57	41.36
	400	17.98	19.68	41.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นก้างปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

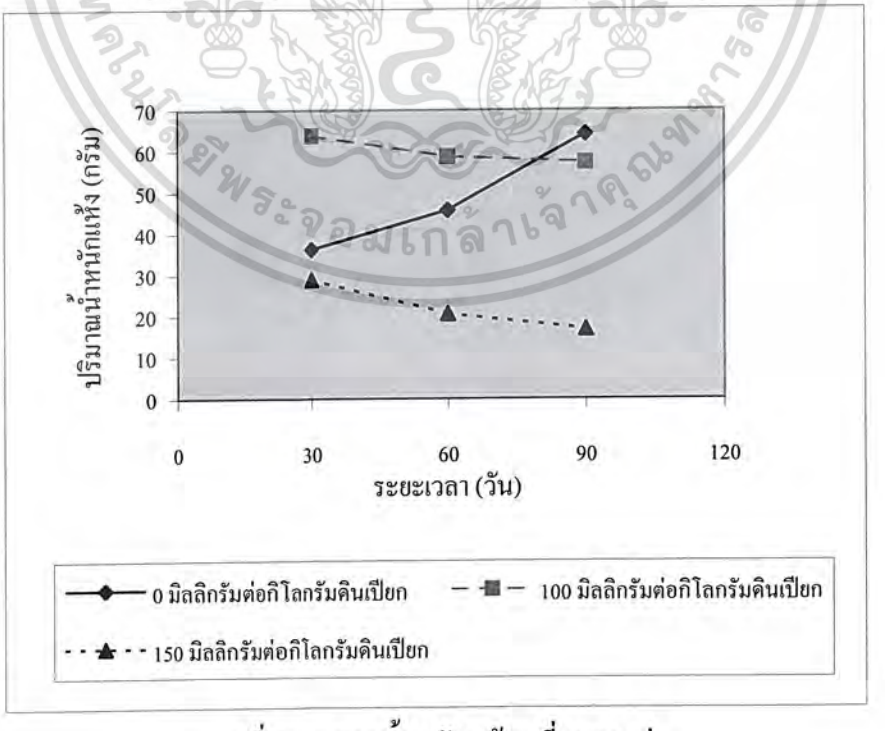
4.3.2 ขลู่

ที่ชุดควบคุม (ไม่มีการเติมสารละลายโครเมียม) ขลู่มีปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูก แต่ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ขลู่มีปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยลดลงเมื่อระยะเวลาการปลูกเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.5 ทั้งนี้เนื่องจากขลู่ไม่สามารถทนต่อปริมาณโครเมียมที่สะสมในต้นได้

ตารางที่ 4.8 แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของขลู่

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ย (กรัม)		
		ที่ 30 วัน	ที่ 60 วัน	ที่ 90 วัน
ข. ขลู่	0	36.29	45.72	64.13
	100	23.79	58.70	58.98
	150	28.93	20.63	16.87
	200	-*	-	-
	400	-	-	-

หมายเหตุ *- คือ ต้นพืชตาย



รูปที่ 4.5 แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของขลู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

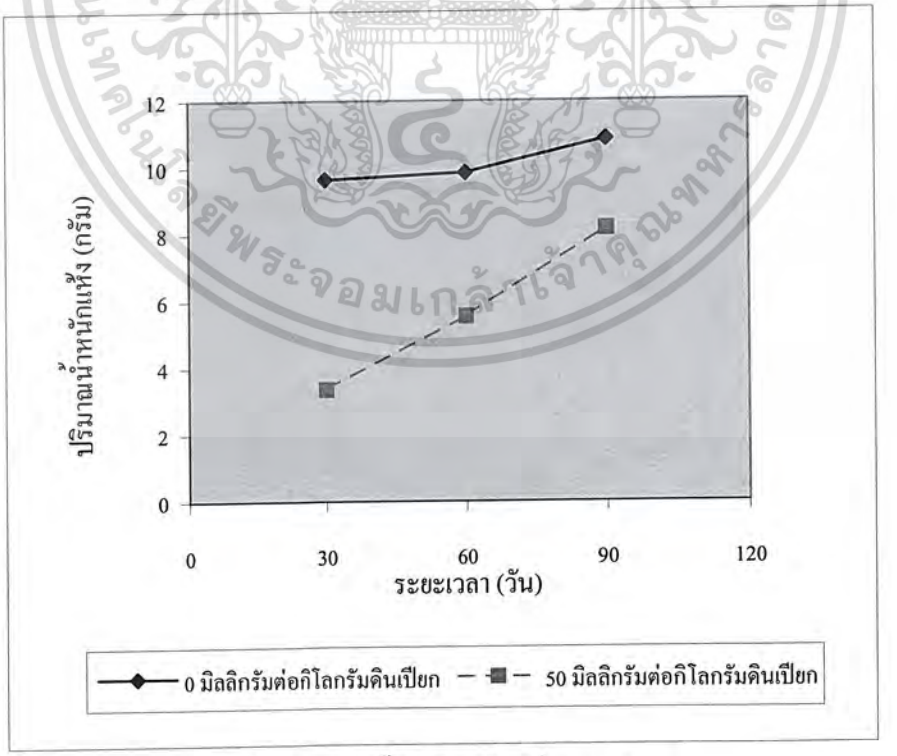
4.3.3 ผักขม

ชุดควบคุมและที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก พบว่าผักขมมีปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูก แสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.9 แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักขม

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ย (กรัม)		
		ที่ 30 วัน	ที่ 60 วัน	ที่ 90 วัน
ค. ผักขม	0	9.65	9.85	8.84
	50	3.36	5.55	8.17
	100	-*	-	-
	200	-	-	-
	400	-	-	-

หมายเหตุ *- คือ ต้นพืชตาย



รูปที่ 4.6 แสดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักขม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การสะสมโครเมียมในพืช

4.4.1 ก้างปลา

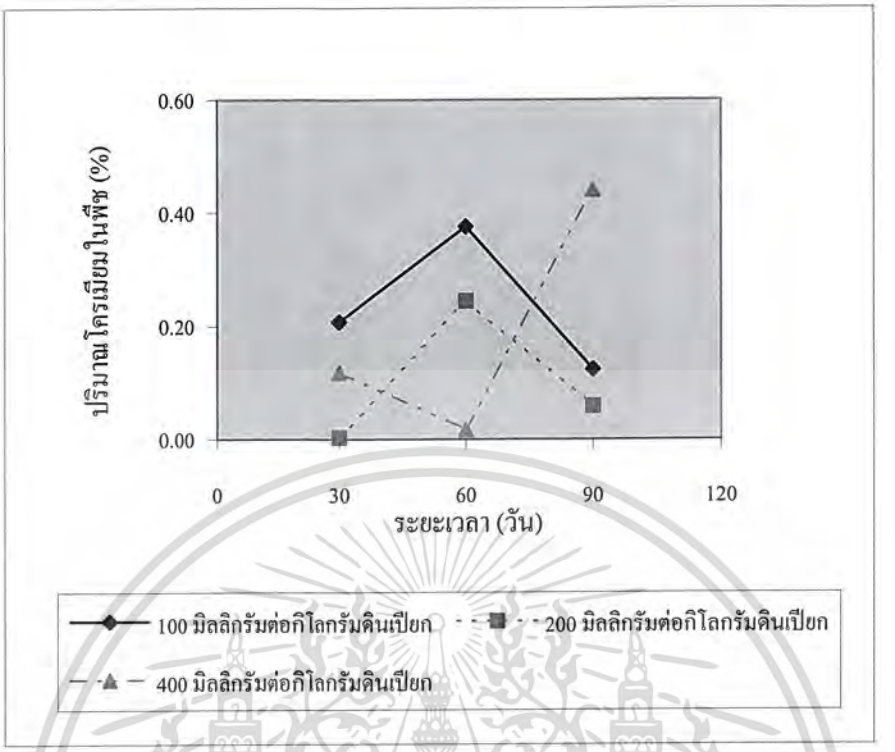
จากการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่สะสมในต้นก้างปลา พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในต้นก้างปลามีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูกในช่วง 60 วันแรก คือที่ 30 วันมีค่าเท่ากับ 0.21% และที่ 60 วัน เท่ากับ 0.38% และหลังจาก 60 วัน ปริมาณโครเมียมที่สะสมในต้นก้างปลากลับมีแนวโน้มต่ำลงเมื่อระยะเวลาการปลูกเพิ่มขึ้น คือที่ 90 วันมีค่าเท่ากับ 0.12%

ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในต้นก้างปลาที่ 30 วันมีค่าเท่ากับ 0.00% ที่ 60 วันเท่ากับ 0.25 % และที่ 90 วัน เท่ากับ 0.06% ซึ่งมีลักษณะการสะสมโครเมียมเพิ่มขึ้นในช่วง 60 วันแรกและหลังจาก 60 วัน จะสะสมโครเมียมลดลงตามระยะเวลาการปลูกเช่นเดียวกับที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ซึ่งเนื่องมาจากพืชได้ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมและสามารถเจริญเติบโตจนมีมวลชีวภาพสูงขึ้นทำให้ปริมาณโครเมียมเฉลี่ยในต้นพืชมีค่าลดน้อยลง และที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก พบว่า ปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในต้นก้างปลาจะแสดงค่าต่ำลงเมื่ออายุพืชเพิ่มขึ้นในช่วง 60 วันแรก คือที่ 30 วันมีค่าเท่ากับ 0.12%และที่ 60 วันมีค่าเท่ากับ 0.02% และหลังจาก 60 วัน ปริมาณโครเมียมในต้นก้างปลามีแนวโน้มสูงขึ้น คือที่ 90 วันมีปริมาณโครเมียมสะสมสูงสุดเท่ากับ 0.44% ซึ่งเนื่องมาจากที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมสูง โครเมียมจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และพืชสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในต้นก้างปลา

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ปริมาณโครเมียมในพืช (%)		
		ที่ 30 วัน	ที่ 60 วัน	ที่ 90 วัน
ก. ต้นก้างปลา	100	0.21	0.38	0.12
	200	0.00	0.25	0.06
	400	0.12	0.02	0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในต้นก้างปลา

4.4.2 ขลู่

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่สะสมในขลู่ พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในขลู่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการปลูกสูงขึ้น คือที่ 30 วันมีการสะสมโครเมียมสูงสุดค่าเท่ากับ 0.82% ที่ 60 วันเท่ากับ 0.33% และที่ 90 วันเท่ากับ 0.29%

ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในขลู่มีลักษณะเช่นเดียวกันกับที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก คือที่ 30 วันมีการสะสมโครเมียมสูงสุดเท่ากับ 0.05% ที่ 60 วันเท่ากับ 0.04% และที่ 90 วันเท่ากับ 0.04%

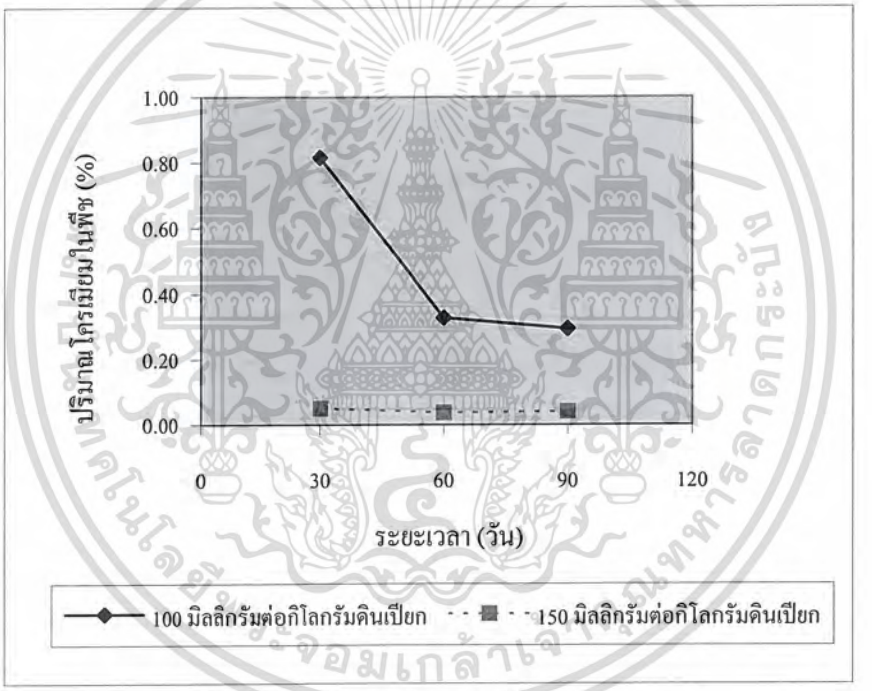
สาเหตุที่ขลู่สะสมโครเมียมได้ลดน้อยลงเมื่อระยะเวลาในการปลูกเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากขลู่สามารถรับปริมาณ โครเมียมเข้าไปในช่วง 30 วันแรกค่อนข้างสูง พอเมื่อระยะเวลาผ่านไปโครเมียมที่สะสมอยู่ในขลู่จึงมีผลต่อการเจริญเติบโต ทำให้เริ่มตายและสะสมโครเมียมได้น้อยลง แสดงดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในขลู่

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ปริมาณโครเมียมในพืช (%)		
		ที่ 30 วัน	ที่ 60 วัน	ที่ 90 วัน
ข. ขลู่	100	0.82	0.33	0.29
	150	0.05	0.04	0.04
	200	-*	-	-
	400	-	-	-

หมายเหตุ *- คือ ต้นพืชตาย



รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในขลู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

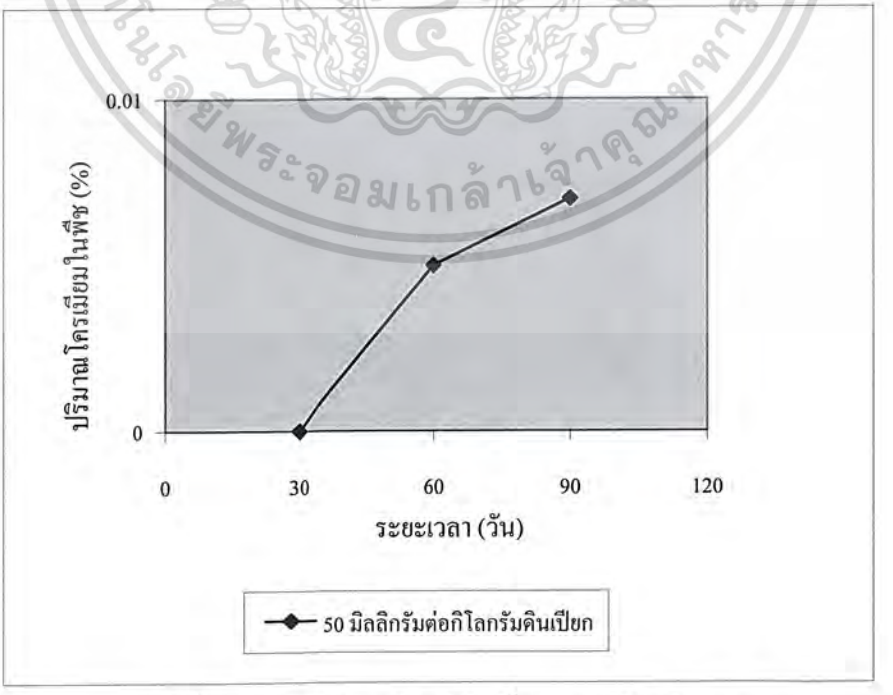
4.4.3 ผักขม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในผักขม พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในผักขมมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการปลูก คือที่ 30 วันมีค่าเท่ากับ 0% ที่ 60 วันเท่ากับ 0.005% และที่ 90 วันมีการสะสมโครเมียมสูงสุดเท่ากับ 0.007% อาจซึ่งมาจากระดับความเข้มข้นของโครเมียมที่เติมลงไปมีค่าต่ำเพียง 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก โครเมียมจึงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักขม โดยระดับปริมาณโครเมียมที่สะสมในผักขมมีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในผักขม

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก)	ปริมาณโครเมียมในพืช (%)		
		ที่ 30 วัน	ที่ 60 วัน	ที่ 90 วัน
ค. ผักขม	50	0.000	0.005	0.007
	100	-*	-	-
	200	-	-	-
	400	-	-	-

หมายเหตุ *- คือ ต้นพืชตาย



รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในผักขม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

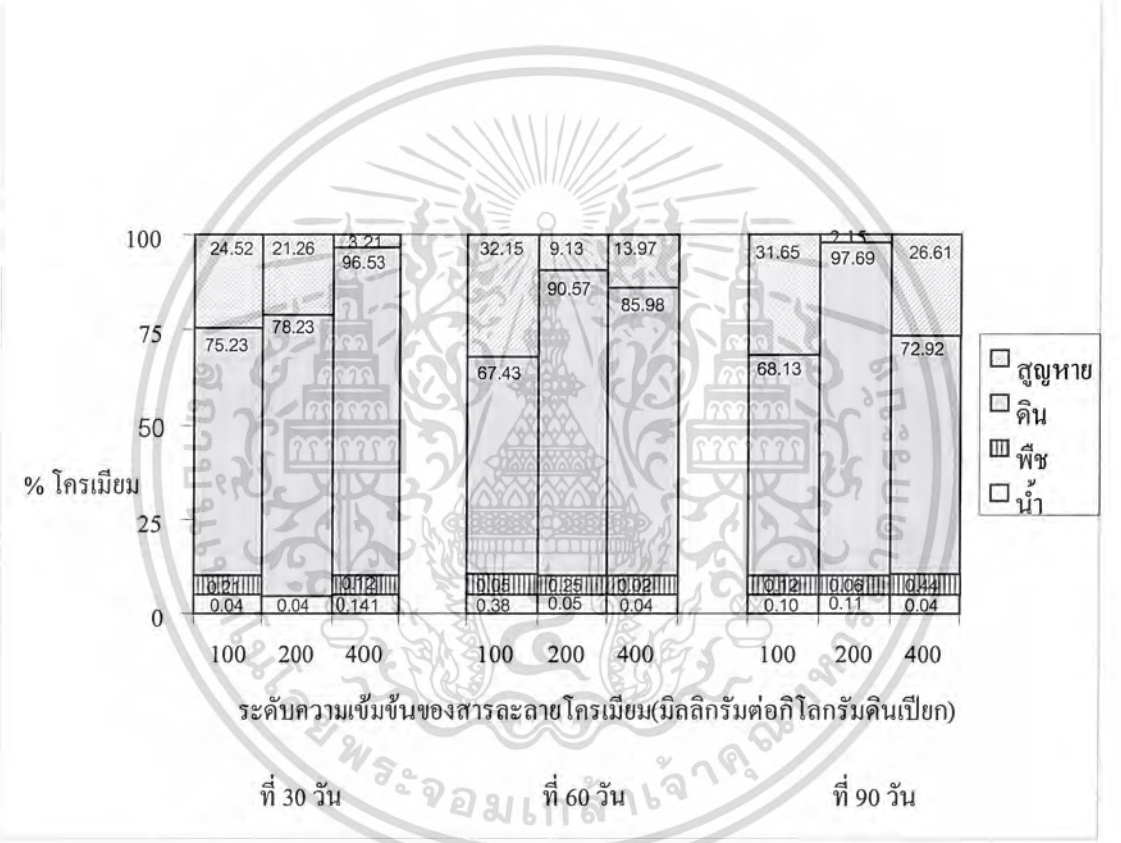
4.5 การสะสมโครเมียมในพืช ดิน และน้ำ

ปริมาณการสะสมโครเมียมของต้นก้างปลาที่ 30, 60 และ 90 วัน พบว่ามีการสะสมโครเมียมในดินสูงกว่าในน้ำ และในพืช ซึ่งปริมาณโครเมียมจะต่างกันตามระดับความเข้มข้น คือ ที่ 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก และเปอร์เซ็นต์ปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในพืช ดิน และน้ำ เมื่อนำมารวมกันจะไม่ได้ครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้พบว่า มีปริมาณโครเมียมที่สูญหายไปและไม่ได้สะสมอยู่ใน 3 ส่วนคือ พืช ดิน และน้ำ อยู่ประมาณ 3-30 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสุ่มตัวอย่างพืช และดินมาวิเคราะห์ โดยทำการเก็บมา 0.5 กรัม จากดิน 5 กิโลกรัม และ 0.5 กรัม จากพืชประมาณ 8-120 กรัม (ทั้งต้น) มาวิเคราะห์นั้น ซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างในปริมาณที่น้อยมากจากปริมาณทั้งหมด และ นอกจากนั้นปริมาณโครเมียมที่หายไปยังเกิดจากโครเมียมถูกดูดซับโดยผิววัสดุภาชนะ อันได้แก่ กระถาง จานรองกระถาง และถุงพลาสติกรองกระถาง ซึ่งเป็นวัสดุพลาสติก ทั้งหมดทำให้สามารถดูดซับโครเมียมไว้ที่พื้นผิวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 ก้างปลา

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโครเมียมที่สะสมในก้างปลา ดิน และน้ำ ที่ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วัน พบว่า ในต้นก้างปลามีปริมาณโครเมียมสะสมมากที่สุดที่ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก โดยสะสมในอยู่พืชเท่ากับ 0.12, 0.02, 0.44 % ตามลำดับ ในน้ำเท่ากับ 0.14, 0.04, 0.04 % ตามลำดับ และในดินเท่ากับ 96.53, 85.98, 72.92 % ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.10

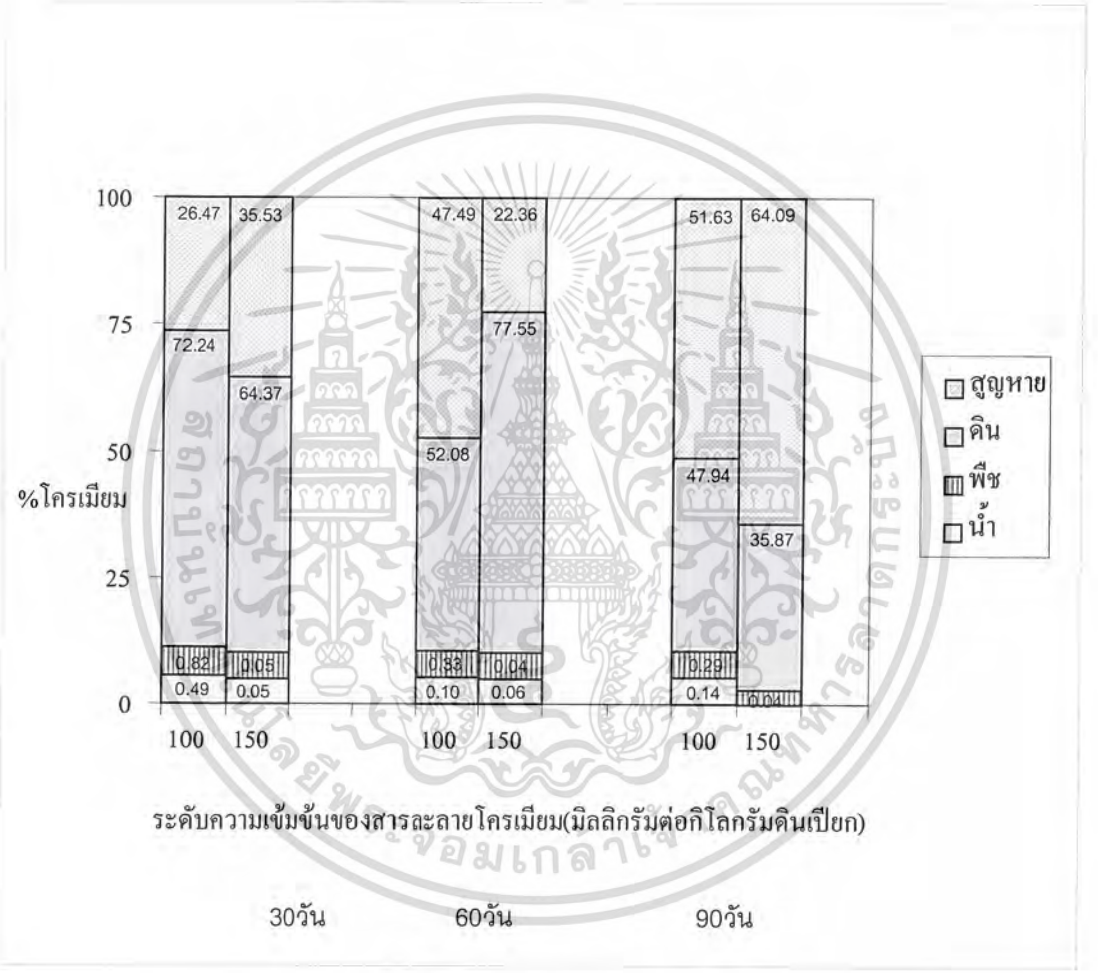


รูปที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์การสะสมโครเมียมในพืช ดินและน้ำ ของต้นก้างปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ขลู่

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโครเมียมที่สะสมในขลู่ ดิน และน้ำ ที่ระยะเวลา 30, 60 และ 90วัน พบว่า ขลู่มีปริมาณโครเมียมสะสมมากที่สุดที่ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก โดยสะสมในพืชเท่ากับ0.82, 0.33, 0.29 % ตามลำดับ ในน้ำเท่ากับ 0.49, 0.10, 0.14 % ตามลำดับ และในดินเท่ากับ 64.37, 77.55, 35.87 % ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.11

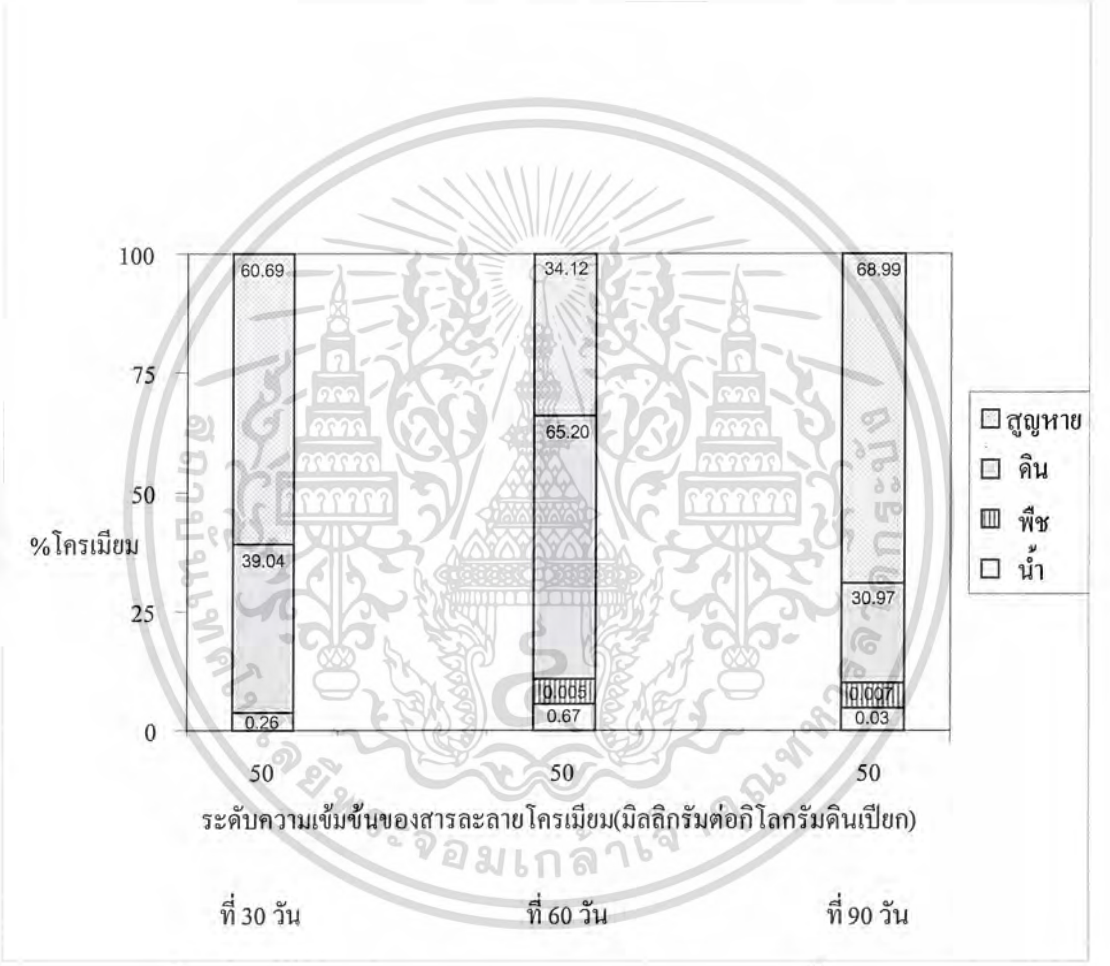


รูปที่ 4.11 แสดงเปอร์เซ็นต์การสะสมโครเมียมในพืช ดินและน้ำ ของต้นขลู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ผักขม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่สะสมในผักขม ดิน และน้ำ ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก เมื่อระยะเวลา 30, 60 และ90วัน พบว่าโครเมียมสะสมอยู่ในพืชเท่ากับ 0.000, 0.005, 0.007 % ตามลำดับ ในน้ำเท่ากับ 0.26, 0.67, 0.03 % ตามลำดับ และในดินเท่ากับ 39.04, 65.20, 30.97 % ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การสะสมโครเมียมในพืช ดินและน้ำ ของผักขม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาการสะสมโครเมียมในพืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ ต้นก้างปลา ขลู่ และผักขม โดยทำการปลูกพืชลงกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ที่บรรจุดินชุดสมุทรปราการ 5 กิโลกรัม โดยเก็บจากบริเวณกรมการบินพาณิชย์ จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งมีปริมาณโครเมียมในดินเท่ากับ 51.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อทำการใส่โครเมียมที่เตรียมจากสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตลงไปที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ

- ต้นก้างปลา ศึกษาที่ความเข้มข้น 0, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก
- ขลู่ ศึกษาที่ความเข้มข้น 0, 100, 150, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก
- ผักขม ศึกษาที่ความเข้มข้น 0, 50, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ทำให้ดินมีการสะสมโครเมียมเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณของโครเมียมเพิ่มขึ้นจาก 0, 50, 100, 150, 200 และ400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ไปเป็น 51.17, 101.17, 151.17, 201.17, 251.17 และ 451.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาศึกษา 3 เดือน โดยทำการเก็บพืช ดิน และน้ำมาวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทุก 30, 60 และ 90 วัน

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ขลู่มีการสะสมโครเมียมได้ดีกว่าต้นก้างปลาและผักขม คือมีปริมาณโครเมียมสะสมอยู่ในขลู่มากที่สุดเท่ากับ 0.82% ที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก เนื่องจากต้นก้างปลามีปริมาณโครเมียมสะสมอยู่มากสุดในต้นเท่ากับ 0.44% ที่ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก และผักขมมีโครเมียมสะสมอยู่มากสุดในต้นเท่ากับ 0.007% ที่ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก และเมื่อคำนวณหาปริมาณการสะสมโครเมียมต่อน้ำหนักแห้งของพืช พบว่า ปริมาณโครเมียมในต้นก้างปลาเท่ากับ 240.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณโครเมียมในต้นขลู่เท่ากับ 322.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และในผักขมมีปริมาณโครเมียมเท่ากับ 15.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง

2. ต้นก้างปลาสามารถทนต่อโครเมียมได้ในช่วงความเข้มข้นที่สูงกว่าขลู่และผักขม กล่าวคือสามารถทนต่อระดับความเข้มข้นของโครเมียมได้เท่ากับ 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก เนื่องมาจากต้นก้างปลามีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาวะของดินที่มีการปนเปื้อนโครเมียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ต้นก้างปลามีการสะสมโครเมียมมากสุดที่ 60 วัน แต่ที่ความเข้มข้นสูงๆ ต้นก้างปลาจะสะสมมากสุดที่ 90 วัน ขลู่มีการสะสมโครเมียมสูงสุดที่ 30 วัน คือมีปริมาณการสะสมโครเมียมลดลงตามเวลา และผักขมสามารถสะสมโครเมียมได้ดีที่ 90 วัน โดยมีปริมาณการสะสมโครเมียมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูก

4. พืชใบเลี้ยงคู่ทั้ง 3 ชนิดมีการสะสมปริมาณโครเมียมได้น้อยกว่าที่ควร เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการศึกษาน้อยเป็นผลให้พืชทั้ง 3 ชนิด ปรับตัวได้ไม่เต็มที่ โดยการสะสมของโครเมียมส่วนใหญ่อยู่ที่ดิน และมีบางส่วนที่ถูกชะลงไปอยู่ในน้ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้ระยะเวลาในการศึกษาให้ครอบคลุมถึงช่วงอายุขัยของพืชแต่ละชนิด ทั้งนี้เพื่อให้พืชปรับตัว และได้ข้อมูลการสะสมโครเมียมในแต่ละช่วงฤดูการปลูก

2. การวัดการเจริญเติบโตของพืช นอกจากจะวัดความสูงของพืชแล้ว ต้องวัดเส้นรอบวงพืชและวัดจำนวนยอดด้วย

3. ควรใช้ภาชนะในการปลูกที่ไม่ดูดซับโครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

เฉลียว แจ้งไพร. 2525. **การจำแนกและกำหนดลักษณะดินในภาคกลางของประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525. **สารานุกรมธาตุ.** กรงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ดรุณี เพ็ชรพลาย, ณุฉัตรา จันทร์สุวานิชย์ และชาตรี ชาญประเสริฐ. 2538. **พืชสมุนไพรในประเทศไทย ตอนที่1.** กรุงเทพฯ: องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

บริษัทสมุทรปราการและบริษัทที่ศึกษา. 2538. **แผนการลงทุนจังหวัดสมุทรปราการ เล่ม 2.** สมุทรปราการ: บริษัทสมุทรปราการ.

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม โรงงาน. 2540. **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกหนัง.** กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

Paul R. Wittbrodt and Cart D. Palmer. 1996. Effect of Temperature, Ionic Strenght, Electrolytes, Humic Substance. **Environ. Sci. Techol.** 30(8): 2470-2477.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้เติมลงในดิน 5 กิโลกรัมต่อ 1 กระถางให้มีความเข้มข้นตามต้องการ

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น ต้องการดินที่มีโครเมียมปนเปื้อน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

จากดิน 1000 กิโลกรัม(10^6 กรัม) มี Cr 100 กรัม

ถ้าดิน 5 กิโลกรัม มี Cr $\frac{100 \times 5}{1000} = 0.5$ กรัม

- คำนวณหาปริมาณ $K_2Cr_2O_7$

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 0.5 กรัม อยู่ใน $K_2Cr_2O_7$ $\frac{294 \times 0.5}{104} = 1.4135$ กรัม

จะได้ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ 1.4135 กรัม ละลายลงในน้ำ 100 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในดิน 5 กิโลกรัม

การเตรียมสารละลายสต็อคโครเมียมให้มีความเข้มข้นตามต้องการ

ตัวอย่างการเตรียมสารละลายสต็อคโครเมียมที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ในน้ำ 100 มิลลิลิตร จะมีปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ละลายอยู่ 1.4135 กรัม ต่อ 1 กระถาง

↓

ต้นพืชทั้งหมดที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีจำนวน 18 กระถาง

↓

ใน 1 กระถาง จะใช้สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 100 มิลลิลิตร

ถ้าพืชทั้งหมด 18 กระถาง จะใช้สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 18 x 100 = 1800 มิลลิลิตร

↓

ปริมาณ Cr ที่ใช้ใน 1 กระถาง อยู่ใน $K_2Cr_2O_7$ 1.4135 กรัม

ถ้าปริมาณ Cr ที่ใช้ใน 18 กระถาง อยู่ใน $K_2Cr_2O_7$ 1.4135 x 18 = 25.4430 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สารละลายสต็อคโครเมียมที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก จำนวน 18 กระถาง ที่มีปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ทั้งหมด 25.4430 กรัม ละลายลงในน้ำ 1800 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในดิน 5 กิโลกรัม(1 กระถาง) จำนวน 100 มิลลิลิตร

ลักษณะดินที่ศึกษาก่อนทำการทดลอง 5 แหล่ง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	แหล่งตัวอย่างดิน*				
		1	2	3	4	5
พีเอช	pH meter	5.47	5.28	6.73	7.26	5.24
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	conductivity meter	6.00	1.62	1.77	2.01	3.95
ค่าความชื้น (%)	moisture content	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
ปริมาณโครเมียม (mg/kg)	AAS	34.10	22.99	21.79	18.58	51.17
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)	wet oxidation	4.50	2.38	4.17	1.99	4.83
ปริมาณไนโตรเจน (%)	Kjeldahl method	0.18	0.13	0.21	0.15	0.21
ปริมาณโพแทสเซียม (mg/kg)	AES	4164.0	4417.0	4518.5	4866.5	6170.5
ปริมาณฟอสฟอรัส (μg P/g)	colorimetric method	981.6	742.3	1592.6	1184.2	747.6
ค่าแลกเปลี่ยนประจุบวก (meq/100g)	ammonium acetate	21.60	22.40	24.30	18.90	21.10
ปริมาณทราย (%)	Hydrometer method	68.76	52.50	52.50	60.00	65.00
ปริมาณกรวด (%)	Hydrometer method	6.24	10.00	7.50	7.50	7.50
ปริมาณดินเหนียว (%)	Hydrometer method	25.00	37.50	40.00	32.50	27.50

หมายเหตุ : *แหล่งตัวอย่างดินที่ 1 คือ บริเวณบ้านคุณศรี
2 คือ บริเวณร้านส.ไม้งาม
3 คือ บริเวณบ้านคุณศิริ1
4 คือ บริเวณบ้านคุณศิริ2
5 คือ บริเวณกรมการบินพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการรอดของพืชแต่ละชนิด

1. ต้นก้างปลา

ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ต้นก้างปลาก่อนบำบัดมีทั้งหมด 9 ต้น คิดเป็น 100%

ต้นก้างปลาหลังบำบัดเหลือ 9 ต้น คิดเป็น $\frac{100 \times 9}{9}$ = 100%

ดังนั้น ต้นก้างปลาที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีอัตราการรอด 100%

ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ต้นก้างปลาก่อนบำบัดมีทั้งหมด 9 ต้น คิดเป็น 100%

ต้นก้างปลาหลังบำบัดเหลือ 9 ต้น คิดเป็น $\frac{100 \times 9}{9}$ = 100%

ดังนั้น ต้นก้างปลาที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีอัตราการรอด 100%

ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ต้นก้างปลาก่อนบำบัดมีทั้งหมด 9 ต้น คิดเป็น 100%

ต้นก้างปลาหลังบำบัดเหลือ 8 ต้น คิดเป็น $\frac{100 \times 8}{9}$ = 88.89%

ดังนั้น ต้นก้างปลาที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีอัตราการรอด 88.89%

ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ต้นก้างปลาก่อนบำบัดมีทั้งหมด 9 ต้น คิดเป็น 100%

ต้นก้างปลาหลังบำบัดเหลือ 4 ต้น คิดเป็น $\frac{100 \times 4}{9}$ = 44.44%

ดังนั้น ต้นก้างปลาที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีอัตราการรอด 44.44%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต้นขลู่

ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ต้นขลู่ก่อนบำบัดมีทั้งหมด 9 ต้น คิดเป็น 100%

ต้นขลู่หลังบำบัดเหลือ 9 ต้น คิดเป็น $\frac{100 \times 9}{9}$ = 100%

ดังนั้น ต้นขลู่ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีอัตราการรอด 100%

ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ต้นขลู่ก่อนบำบัดมีทั้งหมด 9 ต้น คิดเป็น 100%

ต้นขลู่หลังบำบัดเหลือ 9 ต้น คิดเป็น $\frac{100 \times 9}{9}$ = 100%

ดังนั้น ต้นขลู่ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีอัตราการรอด 100%

ที่ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ต้นขลู่ก่อนบำบัดมีทั้งหมด 9 ต้น คิดเป็น 100%

ต้นขลู่หลังบำบัดเหลือ 5 ต้น คิดเป็น $\frac{100 \times 5}{9}$ = 55.56%

ดังนั้น ต้นขลู่ที่ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีอัตราการรอด 55.56%

3. ผักขม

ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ผักขมก่อนบำบัดมีทั้งหมด 9 ต้น คิดเป็น 100%

ผักขมหลังบำบัดเหลือ 9 ต้น คิดเป็น $\frac{100 \times 9}{9}$ = 100%

ดังนั้น ผักขมที่ความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีอัตราการรอด 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก

ผักขมก่อนบำบัดมีทั้งหมด 9 ต้น คิดเป็น 100%

ผักขมหลังบำบัดเหลือ 9 ต้น คิดเป็น $\frac{100 \times 9}{9}$ = 100%

ดังนั้น ผักขมที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเปียก มีอัตราการรอด 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม

1. การย่อยด้วยเครื่อง Microwave

1.1 น้ำเสีย

วิธีการสำหรับใช้กรดในการย่อยน้ำเสียในภาชนะปิดที่ใช้เครื่อง Microwave ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ สำหรับพวกโลหะที่กำหนดไว้แน่นอนโดยใช้วิธี Spectroscopic Method

เครื่องมือ

เครื่อง Microwave รุ่น Milestone ETHOS PLUS with MPR-300/12S medium pressure rotor

สารเคมี

1. HNO_3 65% 5 ml
2. H_2O_2 30% 1 ml

วิธีวิเคราะห์

1. ใช้ TFM vessel ขนาด 250 ml. โดยใส่ตัวอย่าง 45 ml.
2. ใส่ TFM vessel ลงใน HTC Safety Shield
3. ใส่สารเคมีลงไปตามจำนวนข้างต้นถ้าส่วนของตัวอย่างเกาะอยู่ที่ผิวของ vessel ทำการหยดกรดลงไปบริเวณนั้น
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 ทำการถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
9. ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

1.2 ดิน

รายละเอียดของการใช้กรดย่อยตัวอย่างดินในภาชนะปิดที่ใส่ตัวอย่างเตรียมไว้ สำหรับเครื่อง Microwave

เครื่องมือ

เครื่อง Microwave รุ่น Milestone ETHOS PLUS with MPR-300/12S medium pressure rotor

สารเคมี

1. HCl 37% 9 ml
2. HNO_3 65% 3 ml

วิธีวิเคราะห์

1. ใช้ TFM vessel ขนาด 250 ml. โดยใส่ตัวอย่าง 5 g.
2. ใส่ TFM vessel ลงใน HTC Safety Shield
3. ใส่สารเคมีลงไปตามจำนวนข้างต้นถ้าส่วนของตัวอย่างเกาะอยู่ที่ผิวของ vessel ทำการหยดกรดลงไปบริเวณนั้น
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 ทำการถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
9. ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Microwave

Step	Time	Temperature	Microwave Power
1.	10 minutes	200°C	Up to 1000 watt
2.	15 minutes	200°C	Up to 1000 watt

1.3 พืช

รายงานรายละเอียดของการใช้กรดทำการย่อยตัวอย่างพืชในภาชนะปิดที่เตรียมไว้สำหรับเครื่อง Microwave

เครื่องมือ

เครื่อง Microwave รุ่น Milestone ETHOS PLUS with MPR-300/12S medium pressure rotor

สารเคมี

1. H_2O_2 30% 2 ml
2. HNO_3 65% 8 ml

วิธีวิเคราะห์

1. ใช้ TFM vessel ขนาดโดยใส่ตัวอย่าง 5 g.
2. ใส่ TFM vessel ลงใน HTC Safety Shield
3. ใส่สารเคมีลงไปตามจำนวนข้างต้นถ้าส่วนของตัวอย่างเกาะอยู่ที่ผิวของ vessel ทำการหยดกรดลงไปบริเวณนั้น
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 ทำการถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
9. ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2. วิธี Atomic Absorption Spectrometric

การวิเคราะห์โครเมียมโดยวิธีนี้ เปลวไฟที่เกิดจากก๊าซผสมระหว่างอากาศและ Acetylene จะให้พลังงานที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรี(Atomzation) เพื่อให้ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 357 นาโนเมตร

เครื่องมือ

เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer

วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายที่ย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟแล้วมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์41 แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการคำนวณปริมาณโครเมียมในพืช ที่ 30 วัน

รหัส	%ความชื้น	น้ำหนักสดพืชทั้งหมด (g)	น้ำหนักแห้งพืชทั้งหมด (g) [(100-B)xC]/100	ปริมาณพืชวิเคราะห์สุทธิ (g) [(100- B)x0.5]/100	ปริมาณโครเมียมเฉลียในตัวอย่าง (mg/l) AAS	ปริมาณโครเมียมในแบลงค์ (mg/l) AAS	ปริมาณโครเมียมสุทธิ (mg/l) F - G	ปริมาณโครเมียมในพืช (mg) (Hx25xD)/ (1000xE)	ปริมาณโครเมียมสุทธิในพืช (mg/g) (I - Average of Cr Control)	ปริมาณโครเมียมในพืช (mg/kg dry wt.) (Hx25) / E	ปริมาณโครเมียมในกระถาง (mg) (ปริมาณโครเมียมที่เติม+ที่มีอยู่เดิม) (ที่มีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg.) 255.87	%โครเมียมในพืช (Jx100)/L (%)	%โครเมียมเฉลีย (%)
<A>	<B>	<C>	<D>	<E>	<F>	<G>	<H>	<I>	<J>	<K>	<L>	<M>	<N>
1. Phy-C0-t30-1	0.587	39.720	39.487	0.497	0.186	0.000	0.186	0.369		-	-	-	-
2. Phy-C0-t30-2	0.671	29.970	29.769	0.497	0.000	0.000	0.000	0.000	0.204	-	-	-	-
3. Phy-C0-t30-3	0.951	35.810	35.470	0.495	0.136	0.000	0.136	0.244		-	-	-	-
4. Phy-C100-t30-1	0.944	43.630	43.218	0.495	0.683	0.000	0.683	1.490	1.286	34.475	755.870	0.170	
5. Phy-C100-t30-2	0.590	9.800	9.742	0.497	4.286	0.000	4.286	2.100	1.896	215.571	755.870	0.251	
6. Phy-C100-t30-3	1.095	32.740	32.382	0.495	1.059	0.000	1.059	1.734	1.529	53.536	755.870	0.202	0.208
7. Phy-C200-t30-1	1.423	6.480	6.388	0.493	1.608	0.000	1.608	0.521	0.317	81.560	1255.870	0.025	
8. Phy-C200-t30-2	0.000	5.040	5.040	0.500	1.784	0.000	1.784	0.450	0.245	89.200	1255.870	0.020	0.022
9. Phy-C400-t30-1	0.778	18.120	17.979	0.496	3.193	0.000	3.193	2.893	2.689	160.901	2255.870	0.119	0.119
10. Plu-C0-t30-1	1.529	46.510	45.799	0.492	0.328	0.000	0.328	0.763		-	-	-	-
11. Plu-C0-t30-2	2.217	30.570	29.892	0.489	0.148	0.000	0.148	0.226	0.457	-	-	-	-
12. Plu-C0-t30-3	1.476	33.550	33.055	0.493	0.227	0.000	0.227	0.381		-	-	-	-
13. Plu-C100-t30-1	1.994	21.430	21.003	0.490	4.705	0.000	4.705	5.041	4.585	240.036	755.870	0.607	
14. Plu-C100-t30-2	1.779	35.280	34.652	0.491	3.531	0.000	3.531	6.229	5.772	179.748	755.870	0.764	
15. Plu-C100-t30-3	2.264	16.090	15.726	0.489	10.690	0.000	10.690	8.600	8.144	546.881	755.870	1.077	0.816
16. Plu-C150-t30-1	0.509	41.210	41.000	0.497	0.544	0.000	0.544	1.121	0.664	27.339	1005.870	0.066	
17. Plu-C150-t30-2	0.932	17.010	16.851	0.495	0.969	0.000	0.969	0.824	0.368	48.906	1005.870	0.037	0.051
18. Plu-C200-t30-3	1.871	18.410	18.066	0.491	1.651	0.000	1.651	1.520	1.063	84.124	1255.870	0.085	0.085
19. Am-C0-t30-1	0.780	5.950	5.904	0.496	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-	-
20. Am-C0-t30-2	0.785	11.520	11.430	0.496	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
21. Am-C0-t30-3	0.630	11.690	11.616	0.497	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-	-
22. Am-C50-t30-1	0.000	1.920	1.920	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	505.870	0.000	
23. Am-C50-t30-2	0.000	0.640	0.640	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	505.870	0.000	
24. Am-C50-t30-3	0.000	0.800	0.800	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	505.870	0.000	0.000

ตารางแสดงการคำนวณปริมาณโครเมียมในพืช ที่ 60 วัน

รหัส	%ความชื้น	น้ำหนักสดพืช ทั้งหมด (g)	น้ำหนักแห้งพืช ทั้งหมด (g) [(100-B)xC]/100	ปริมาณพืชวิเคราะห์ สุทธิ (g) [(100- B)x0.5]/100	ปริมาณโครเมียม เฉลี่ยในตัวอย่าง (mg/l) AAS	ปริมาณโครเมียม ในแบลงค์ (mg/l) AAS	ปริมาณโครเมียม สุทธิ (mg/l) F - G	ปริมาณโครเมียม ในพืช (mg) (Hx25xD)/ (1000xE)	ปริมาณโครเมียม สุทธิในพืช (mg/g) (I - Average of Cr Control)	ปริมาณโครเมียม ในพืช (mg/kg dry wt.) (Hx25) / E	ปริมาณโครเมียมในกระถาง (mg) (ปริมาณโครเมียมที่เติม+ที่มีอยู่เดิม) (ที่มีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg.) 255.87	%โครเมียมในพืช (Jx100)/L (%)	%โครเมียมเฉลี่ย (%)
<A>	<B>	<C>	<D>	<E>	<F>	<G>	<H>	<I>	<J>	<K>	<L>	<M>	<N>
1. Phy-C0-t60-1	0.409	60.700	60.452	0.498	0.398	0.297	0.101	0.307		-	-	-	-
2. Phy-C0-t60-2	0.755	61.640	61.175	0.496	0.348	0.297	0.051	0.157	0.286	-	-	-	-
3. Phy-C0-t60-3	0.532	63.880	63.540	0.497	0.420	0.297	0.123	0.393		-	-	-	-
4. Phy-C100-t60-1	0.539	36.800	36.602	0.497	2.393	0.297	2.096	3.857	3.571	105.368	755.870	0.472	
5. Phy-C100-t60-2	0.305	55.080	54.912	0.498	0.959	0.297	0.662	1.823	1.538	33.201	755.870	0.203	
6. Phy-C100-t60-3	0.536	45.710	45.465	0.497	1.920	0.297	1.623	3.709	3.424	81.587	755.870	0.453	0.376
7. Phy-C200-t60-1	0.803	37.160	36.862	0.496	3.510	0.000	3.510	6.522	6.236	176.920	1255.870	0.497	
8. Phy-C200-t60-2	0.520	50.220	49.959	0.497	1.251	0.297	0.954	2.395	2.110	47.949	1255.870	0.168	
9. Phy-C200-t60-3	0.547	35.080	34.888	0.497	0.971	0.297	0.674	1.182	0.897	33.885	1255.870	0.071	0.245
10. Phy-C400-t60-3	0.653	19.810	19.681	0.497	0.681	0.000	0.681	0.675	0.389	34.274	2255.870	0.017	0.017
11. Plu-C0-t60-1	0.709	47.450	47.114	0.496	0.369	0.241	0.128	0.304		-	-	-	-
12. Plu-C0-t60-2	0.702	49.530	49.182	0.496	0.341	0.241	0.100	0.248	0.279	-	-	-	-
13. Plu-C0-t60-3	0.813	41.190	40.855	0.496	0.380	0.241	0.139	0.286		-	-	-	-
14. Plu-C100-t60-1	0.555	52.520	52.229	0.497	1.448	0.241	1.207	3.170	2.890	60.687	755.870	0.382	
15. Plu-C100-t60-2	0.315	68.690	68.474	0.498	0.718	0.241	0.477	1.638	1.359	23.925	755.870	0.180	
16. Plu-C100-t60-3	0.820	55.840	55.382	0.496	1.483	0.241	1.242	3.468	3.188	62.613	755.870	0.422	0.328
17. Plu-C150-t60-1	0.621	19.450	19.329	0.497	0.579	0.000	0.579	0.563	0.284	29.131	1005.870	0.028	
18. Plu-C150-t60-2	0.504	22.040	21.929	0.497	0.678	0.000	0.678	0.747	0.468	34.072	1005.870	0.047	0.037
19. Plu-C200-t60-1	0.888	8.080	8.008	0.496	3.510	0.241	3.269	1.321	1.041	164.915	1255.870	0.083	0.083
20. Am-C0-t60-1	0.565	13.770	13.692	0.497	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-	-
21. Am-C0-t60-2	0.767	7.040	6.986	0.496	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
22. Am-C0-t60-3	0.481	8.900	8.857	0.498	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-	-
23. Am-C50-t60-1	0.745	4.560	4.526	0.496	0.091	0.000	0.091	0.021	0.021	4.584	505.870	0.004	
24. Am-C50-t60-2	0.657	5.880	5.841	0.497	0.084	0.000	0.084	0.025	0.025	4.228	505.870	0.005	
25. Am-C50-t60-3	0.588	6.320	6.283	0.497	0.105	0.000	0.105	0.033	0.033	5.281	505.870	0.007	0.005

ตารางแสดงการคำนวณปริมาณโครเมียมในพืช ที่ 90 วัน

รหัส	%ความชื้น	น้ำหนักสดพืช ทั้งหมด (g)	น้ำหนักแห้งพืช ทั้งหมด (g) [(100-B)xC]/100	ปริมาณพืชวิเคราะห์ สุทธิ (g) [(100- B)x0.5]/100	ปริมาณโครเมียม เฉลียในตัวอย่าง (mg/l) AAS	ปริมาณโครเมียม ในแบลงค์ (mg/l) AAS	ปริมาณโครเมียม สุทธิ (mg/l) F - G	ปริมาณโครเมียม ในพืช (mg) (Hx25xD)/ (1000xE)	ปริมาณโครเมียม สุทธิในพืช (mg/g) (I - Average of Cr Control)	ปริมาณโครเมียม ในพืช (mg/kg dry wt.) (Hx25) / E	ปริมาณโครเมียมในกระถาง (mg) (ปริมาณโครเมียมที่เติม+ที่มีอยู่เดิม) (ที่มีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg.) 255.87	%โครเมียมในพืช (Jx100)/L (%)	%โครเมียมเฉลีย (%)
<A>	<B>	<C>	<D>	<E>	<F>	<G>	<H>	<I>	<J>	<K>	<L>	<M>	<N>
1. Phy-C0-t90-1	0.599	68.460	68.050	0.497	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-	-
2. Phy-C0-t90-2	0.926	70.770	70.115	0.495	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
3. Phy-C0-t90-3	0.618	56.850	56.499	0.497	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-	-
4. Phy-C100-t90-1	0.635	63.590	63.186	0.497	0.389	0.000	0.389	1.237	1.237	19.574	755.870	0.164	
5. Phy-C100-t90-2	0.706	50.490	50.134	0.496	0.099	0.000	0.099	0.250	0.250	4.985	755.870	0.033	
6. Phy-C100-t90-3	0.585	51.330	51.030	0.497	0.512	0.000	0.512	1.314	1.314	25.751	755.870	0.174	0.124
7. Phy-C200-t90-1	0.000	1.560	1.560	0.500	0.055	0.000	0.055	0.004	0.004	2.750	1255.870	0.000	
8. Phy-C200-t90-2	0.715	40.600	40.310	0.496	0.575	0.000	0.575	1.167	1.167	28.957	1255.870	0.093	
9. Phy-C200-t90-3	0.414	42.580	42.404	0.498	0.502	0.000	0.502	1.069	1.069	25.204	1255.870	0.085	0.059
10. Phy-C400-t90-1	0.504	40.960	40.753	0.497	0.713	0.000	0.713	1.460	1.460	35.831	2255.870	0.065	
11. Phy-C400-t90-3	0.538	41.540	41.316	0.497	8.875	0.000	8.875	18.433	18.433	446.151	2255.870	0.817	0.441
12. Plu-C0-t90-1	0.601	67.590	67.184	0.497	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-	-
13. Plu-C0-t90-2	0.544	55.770	55.467	0.497	0.134	0.000	0.134	0.374	0.125	-	-	-	-
14. Plu-C0-t90-3	0.663	70.190	69.725	0.497	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-	-
15. Plu-C100-t90-1	0.684	110.800	110.043	0.497	0.364	0.000	0.364	2.017	1.892	18.325	755.870	0.250	
16. Plu-C100-t90-2	0.586	37.150	36.932	0.497	1.333	0.000	1.333	2.476	2.351	67.043	755.870	0.311	
17. Plu-C100-t90-3	0.720	30.190	29.973	0.496	1.684	0.000	1.684	2.542	2.417	84.810	755.870	0.320	0.294
18. Plu-C150-t90-1	0.464	16.950	16.871	0.498	0.542	0.000	0.542	0.459	0.335	27.226	1005.870	0.033	0.033
19. Plu-C200-t90-1	0.608	46.500	46.217	0.497	2.870	0.000	2.870	6.673	6.548	144.378	1255.870	0.521	0.521
20. Am-C0-t90-1	0.679	5.010	4.976	0.497	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-	-
21. Am-C0-t90-2	0.732	11.580	11.495	0.496	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
22. Am-C0-t90-3	0.728	10.110	10.036	0.496	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-	-
23. Am-C50-t90-1	0.676	14.540	14.442	0.497	0.036	0.000	0.036	0.026	0.026	1.812	505.870	0.005	
24. Am-C50-t90-2	0.662	5.520	5.483	0.497	0.154	0.000	0.154	0.043	0.043	7.751	505.870	0.008	
25. Am-C50-t90-3	0.618	4.620	4.591	0.497	0.251	0.000	0.251	0.058	0.058	12.628	505.870	0.011	0.008

ารางแสดงการคำนวนปริมาณโครเมียมในดิน ที่ 30 วัน

รหัส	%ความชื้น	น้ำหนักดินทั้งหมด (g)	น้ำหนักแห้งดินทั้งหมด (g) [(100-B)xC]/100	ปริมาณดินวิเคราะห์สุทธิ (g) [(100- B)x0.5]/100	ปริมาณโครเมียมเฉลียในตัวอย่าง (mg/l) AAS	ปริมาณโครเมียมในแบลงค์ (mg/l) AAS	ปริมาณโครเมียมสุทธิ (mg/l) F - G	ปริมาณโครเมียมในดิน(mg/g) (ปริมาณโครเมียมที่วิเคราะห์ได้-ที่มีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg. 255.87	ปริมาณโครเมียมสุทธิในดิน (mg/g) (I - Average of Cr Control)	ปริมาณโครเมียมในดิน (mg/kg dry wt.) (Hx50) / E	ปริมาณโครเมียมในกระถาง (mg) (ปริมาณโครเมียมที่เติม+ที่มีอยู่เดิม) (ที่มีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg. 255.87	%โครเมียมในดิน (Ix100)/L (%)	%โครเมียมเฉลีย (%)
<A>	<B>	<C>	<D>	<E>	<F>	<G>	<H>	<I>	<J>	<K>	<L>	<M>	<N>
Phy-C0-t30-1	1.780	5000.000	4910.995	0.491	0.518	0.000	0.518	3.130		-	-	-	-
Phy-C0-t30-2	1.655	5000.000	4917.265	0.492	0.539	0.000	0.539	13.630	11.130	-	-	-	-
Phy-C0-t30-3	2.265	5000.000	4886.740	0.489	0.545	0.000	0.545	16.630		-	-	-	-
Phy-C100-t30-1	1.953	5000.000	4902.335	0.490	1.575	0.000	1.575	531.630	520.500	160.638	755.870	68.861	
Phy-C100-t30-2	2.045	5000.000	4897.765	0.490	1.840	0.000	1.840	664.130	653.000	187.841	755.870	86.391	
Phy-C100-t30-3	2.109	5000.000	4894.565	0.489	1.599	0.000	1.599	543.630	532.500	163.344	755.870	70.449	76.406
Phy-C200-t30-1	2.147	5000.000	4892.675	0.489	2.352	0.000	2.352	920.130	909.000	240.359	1255.870	72.380	
Phy-C200-t30-2	1.921	5000.000	4903.960	0.490	2.841	0.000	2.841	1164.630	1153.500	289.664	1255.870	91.849	82.114
Phy-C400-t30-1	1.837	5000.000	4908.145	0.491	4.889	0.000	4.889	2188.630	2177.500	498.050	2255.870	96.526	96.526
0. Plu-C0-t30-1	1.827	5000.000	4908.675	0.491	0.607	0.000	0.607	47.630		-	-	-	-
1. Plu-C0-t30-2	2.051	5000.000	4897.440	0.490	0.530	0.000	0.530	9.130	25.630	-	-	-	-
2. Plu-C0-t30-3	2.215	5000.000	4889.240	0.489	0.552	0.000	0.552	20.130		-	-	-	-
3. Plu-C100-t30-1	1.893	5000.000	4905.375	0.491	1.639	0.000	1.639	563.630	538.000	167.062	755.870	71.176	
4. Plu-C100-t30-2	1.808	5000.000	4909.610	0.491	1.722	0.000	1.722	605.130	579.500	175.370	755.870	76.667	
5. Plu-C100-t30-3	1.724	5000.000	4913.820	0.491	1.604	0.000	1.604	546.130	520.500	163.213	755.870	68.861	72.235
6. Plu-C150-t30-1	0.550	5000.000	4972.495	0.497	2.099	0.000	2.099	793.630	768.000	211.061	1005.870	76.352	
7. Plu-C150-t30-2	0.491	5000.000	4975.455	0.498	1.617	0.000	1.617	552.630	527.000	162.498	1005.870	52.392	64.372
8. Plu-C200-t30-3	1.647	5000.000	4917.645	0.492	2.050	0.000	2.050	769.130	743.500	208.433	1255.870	59.202	59.202
9. Am-C0-t30-1	0.780	5000.000	4960.990	0.496	0.543	0.000	0.543	15.630		-	-	-	-
0. Am-C0-t30-2	0.785	5000.000	4960.775	0.496	0.539	0.000	0.539	13.630	18.297	-	-	-	-
1. Am-C0-t30-3	0.630	5000.000	4968.505	0.497	0.563	0.000	0.563	25.630		-	-	-	-
2. Am-C50-t30-1	0.000	5000.000	5000.000	0.500	0.909	0.000	0.909	198.630	180.333	90.900	505.870	35.648	
3. Am-C50-t30-2	0.000	5000.000	5000.000	0.500	0.946	0.000	0.946	217.130	198.833	94.600	505.870	39.305	
4. Am-C50-t30-3	0.000	5000.000	5000.000	0.500	0.975	0.000	0.975	231.630	213.333	97.500	505.870	42.172	39.042

ารางแสดงการคำนวนปริมาณโครเมียมในดิน ที่ 60 วัน

รหัส	%ความชื้น	น้ำหนักดินทั้งหมด (g)	น้ำหนักแห้งดินทั้งหมด (g)	ปริมาณดินวิเคราะห์สุทธิ (g)	ปริมาณโครเมียมเฉลี่ยในตัวอย่าง (mg/l)	ปริมาณโครเมียมในแบลงค์ (mg/l)	ปริมาณโครเมียมสุทธิ (mg/l)	ปริมาณโครเมียมในดิน(mg/g) (ปริมาณโครเมียมที่วิเคราะห์ได้-ที่มีอยู่เดิม (ที่มีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg.	ปริมาณโครเมียมสุทธิในดิน (mg/g) (I - Average of	ปริมาณโครเมียมในดิน (mg/kg dry wt.)	ปริมาณโครเมียมในกระถาง (mg) (ปริมาณโครเมียมที่เติม+ที่มีอยู่เดิม) (ที่มีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg.	%โครเมียมในดิน	%โครเมียมเฉลี่ย
			[(100-B)xC]/100	[(100- B)x0.5]/100	AAS	AAS	F - G	255.87	Cr Control)	(Hx50) / E	255.87	(Ix100)/L	
<A>	<B>	<C>	<D>	<E>	<F>	<G>	<H>	<I>	<J>	<K>	<L>	<M>	<N>
Phy-C0-t60-1	0.443	5000.000	4977.830	0.498	0.571	0.000	0.571	29.630		-	-	-	-
Phy-C0-t60-2	0.530	5000.000	4973.485	0.497	0.596	0.000	0.596	42.130	35.130	-	-	-	-
Phy-C0-t60-3	0.766	5000.000	4961.715	0.496	0.579	0.000	0.579	33.630		-	-	-	-
Phy-C100-t60-1	0.484	5000.000	4975.780	0.498	1.669	0.000	1.669	578.630	543.500	167.712	755.870	71.904	
Phy-C100-t60-2	0.226	5000.000	4988.725	0.499	1.590	0.000	1.590	539.130	504.000	159.359	755.870	66.678	
Phy-C100-t60-3	0.415	5000.000	4979.240	0.498	1.545	0.000	1.545	516.630	481.500	155.144	755.870	63.701	67.428
Phy-C200-t60-1	0.709	5000.000	4964.565	0.496	2.725	0.000	2.725	1106.630	1071.500	274.445	1255.870	85.319	
Phy-C200-t60-2	0.205	5000.000	4989.740	0.499	3.105	0.000	3.105	1296.630	1261.500	311.138	1255.870	100.448	
Phy-C200-t60-3	0.510	5000.000	4974.510	0.497	2.741	0.000	2.741	1114.630	1079.500	275.505	1255.870	85.956	90.575
0. Phy-C400-t60-	0.569	5000.000	4971.555	0.497	4.461	0.000	4.461	1974.630	1939.500	448.652	2255.870	85.976	85.976
1. Plu-C0-t60-1	0.559	5000.000	4972.035	0.497	0.561	0.000	0.561	24.630		-	-	-	-
2. Plu-C0-t60-2	0.442	5000.000	4977.905	0.498	0.574	0.000	0.574	31.130	26.630	-	-	-	-
3. Plu-C0-t60-3	0.282	5000.000	4985.915	0.499	0.560	0.000	0.560	24.130		-	-	-	-
4. Plu-C100-t60-1	0.685	5000.000	4965.740	0.497	1.510	0.000	1.510	499.130	472.500	152.042	755.870	62.511	
5. Plu-C100-t60-2	0.742	5000.000	4962.890	0.496	1.088	0.000	1.088	288.130	261.500	109.614	755.870	34.596	
6. Plu-C100-t60-3	0.535	5000.000	4973.235	0.497	1.459	0.000	1.459	473.630	447.000	146.685	755.870	59.137	52.081
7. Plu-C150-t60-1	0.621	5000.000	4968.960	0.497	2.024	0.000	2.024	756.130	729.500	203.664	1005.870	72.524	
8. Plu-C150-t60-2	0.504	5000.000	4974.810	0.497	2.226	0.000	2.226	857.130	830.500	223.727	1005.870	82.565	77.545
9. Plu-C200-t60-1	0.554	5000.000	4972.305	0.497	3.229	0.000	3.229	1358.630	1332.000	324.699	1255.870	106.062	106.062
0. Am-C0-t60-1	0.565	5000.000	4971.735	0.497	0.015	0.000	0.015	-248.370		-	-	-	-
1. Am-C0-t60-2	0.767	5000.000	4961.655	0.496	0.401	0.000	0.401	-55.370	-110.870	-	-	-	-
2. Am-C0-t60-3	0.481	5000.000	4975.945	0.498	0.454	0.000	0.454	-28.870		-	-	-	-
3. Am-C50-t60-1	0.745	5000.000	4962.735	0.496	0.919	0.000	0.919	203.630	314.500	92.590	505.870	62.170	
4. Am-C50-t60-2	0.657	5000.000	4967.170	0.497	0.980	0.000	0.980	234.130	345.000	98.648	505.870	68.199	
5. Am-C50-t60-3	0.059	5000.000	4997.060	0.500	0.950	0.000	0.950	219.130	330.000	95.056	505.870	65.234	65.201

ารางแสดงการคำนวนปริมาณโครเมียมในดิน ที่ 90 วัน

รหัส	%ความชื้น	น้ำหนักดินทั้งหมด (g)	น้ำหนักแห้งดินทั้งหมด (g) [(100-B)xC]/100	ปริมาณดินวิเคราะห์สุทธิ (g) [(100- B)x0.5]/100	ปริมาณโครเมียมเฉลียในตัวอย่าง (mg/l) AAS	ปริมาณโครเมียมในแบลงค์ (mg/l) AAS	ปริมาณโครเมียมสุทธิ (mg/l) F - G	ปริมาณโครเมียมในดิน(mg/g) ปริมาณโครเมียมที่วิเคราะห์ได้-ที่มีอยู่เดิม (ที่มีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg. 255.87	ปริมาณโครเมียมสุทธิในดิน (mg/g) (I - Average of Cr Control)	ปริมาณโครเมียมในดิน (mg/kg dry wt.) (Hx50) / E	ปริมาณโครเมียมในกระถาง (mg) (ปริมาณโครเมียมที่เติม+ที่มีอยู่เดิม) (ที่มีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg. 255.87	%โครเมียมในดิน (Ix100)/L (%)	%โครเมียมเฉลีย (%)
<A>	<B>	<C>	<D>	<E>	<F>	<G>	<H>	<I>	<J>	<K>	<L>	<M>	<N>
Phy-C0-t90-1	0.487	5000.000	4975.655	0.498	0.409	0.000	0.409	-51.370		-	-	-	-
Phy-C0-t90-2	0.592	5000.000	4970.420	0.497	0.612	0.000	0.612	50.130	-1.037	-	-	-	-
Phy-C0-t90-3	0.507	5000.000	4974.640	0.497	0.508	0.000	0.508	-1.870		-	-	-	-
Phy-C100-t90-1	0.326	5000.000	4983.690	0.498	1.454	0.000	1.454	471.130	472.167	145.876	755.870	62.467	
Phy-C100-t90-2	0.652	5000.000	4967.395	0.497	1.534	0.000	1.534	511.130	512.167	154.407	755.870	67.759	
Phy-C100-t90-3	0.471	5000.000	4976.440	0.498	1.631	0.000	1.631	559.630	560.667	163.872	755.870	74.175	68.133
Phy-C200-t90-1	0.395	5000.000	4980.240	0.498	2.898	0.000	2.898	1193.130	1194.167	290.950	1255.870	95.087	
Phy-C200-t90-2	0.444	5000.000	4977.805	0.498	2.831	0.000	2.831	1159.630	1160.667	284.362	1255.870	92.419	
Phy-C200-t90-3	0.608	5000.000	4969.580	0.497	3.161	0.000	3.161	1324.630	1325.667	318.035	1255.870	105.558	97.688
0. Phy-C400-t90-	0.548	5000.000	4972.580	0.497	3.115	0.000	3.115	1301.630	1302.667	313.218	2255.870	57.746	
1. Phy-C400-t90-	0.443	5000.000	4977.865	0.498	4.484	0.000	4.484	1986.130	1987.167	450.394	2255.870	88.089	72.917
2. Plu-C0-t90-1	0.305	5000.000	4984.745	0.498	0.497	0.000	0.497	-7.370		-	-	-	-
3. Plu-C0-t90-2	0.648	5000.000	4967.610	0.497	0.459	0.000	0.459	-26.370	-17.203	-	-	-	-
4. Plu-C0-t90-3	0.581	5000.000	4970.960	0.497	0.476	0.000	0.476	-17.870		-	-	-	-
5. Plu-C100-t90-1	0.618	5000.000	4969.110	0.497	0.462	0.000	0.462	-24.870	-7.667	46.487	755.870	-1.014	
6. Plu-C100-t90-2	0.593	5000.000	4970.345	0.497	1.386	0.000	1.386	437.130	454.333	139.427	755.870	60.107	
7. Plu-C100-t90-3	0.476	5000.000	4976.225	0.498	1.758	0.000	1.758	623.130	640.333	176.640	755.870	84.715	47.936
8. Plu-C150-t90-1	0.591	5000.000	4970.435	0.497	1.199	0.000	1.199	343.630	360.833	120.613	1005.870	35.873	35.873
9. Plu-C200-t90-1	0.311	5000.000	4984.475	0.498	1.644	0.000	1.644	566.130	583.333	164.912	1255.870	46.449	46.449
0. Am-C0-t90-1	0.552	5000.000	4972.400	0.497	0.527	0.000	0.527	7.630		-	-	-	-
1. Am-C0-t90-2	0.522	5000.000	4973.890	0.497	0.508	0.000	0.508	-1.870	1.297	-	-	-	-
2. Am-C0-t90-3	0.560	5000.000	4972.005	0.497	0.508	0.000	0.508	-1.870		-	-	-	-
3. Am-C50-t90-1	0.593	5000.000	4970.355	0.497	0.796	0.000	0.796	142.130	140.833	80.075	505.870	27.840	
4. Am-C50-t90-2	0.592	5000.000	4970.425	0.497	0.850	0.000	0.850	169.130	167.833	85.506	505.870	33.177	
5. Am-C50-t90-3	0.611	5000.000	4969.460	0.497	0.837	0.000	0.837	162.630	161.333	84.214	505.870	31.892	30.970

ตารางแสดงการคำนวนปริมาณโครเมียมในน้ำ ที่ 30 วัน

รหัส	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (ml) <A>	ปริมาณน้ำ ที่วิเคราะห์ (ml) <B>	ปริมาณโครเมียม เฉลี่ยในตัวอย่าง (mg/l) AAS <C>	ปริมาณโครเมียม ในแบลงค์ (mg/l) AAS <D>	ปริมาณโครเมียม สุทธิ (mg/l) D - E <E>	ปริมาณโครเมียมในน้ำ (mg) (Fx50xB)/ (1000xC) <F>	ปริมาณโครเมียมสุทธิ ทั้งหมดในน้ำ(mg/l) (G - Average of Cr Control) <G>	ปริมาณโครเมียมในกระถาง (mg) (ปริมาณโครเมียมที่เติม+ที่มีอยู่เดิม) (ทีมีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg.) 255.87 <H>	%โครเมียมในน้ำ (Hx100)/I (%) <I>	%โครเมียมเฉลี่ย (%) <J>
1. Phy-C0-t30-1	550.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-
2. Phy-C0-t30-2	360.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	-	-	-
3. Phy-C0-t30-3	80.000	45.000	0.191	0.000	0.191	0.017		-	-	-
4. Phy-C100-t30-1	120.000	45.000	1.141	0.000	1.141	0.152	0.146	755.870	0.019	
5. Phy-C100-t30-2	500.000	45.000	1.103	0.000	1.103	0.613	0.607	755.870	0.080	
6. Phy-C100-t30-3	380.000	45.000	0.206	0.000	0.206	0.087	0.081	755.870	0.011	0.037
7. Phy-C200-t30-1	290.000	45.000	9.381	0.000	9.381	3.023	3.017	1255.870	0.240	
8. Phy-C200-t30-2	1590.000	45.000	4.583	0.000	4.583	8.096	8.090	1255.870	0.644	0.442
9. Phy-C400-t30-1	600.000	45.000	4.779	0.000	4.779	3.186	3.181	2255.870	0.141	0.141
10. Plu-C0-t30-1	480.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-
11. Plu-C0-t30-2	370.000	45.000	0.166	0.000	0.166	0.068	0.084	-	-	-
12. Plu-C0-t30-3	380.000	45.000	0.432	0.000	0.432	0.182		-	-	-
13. Plu-C100-t30-1	720.000	45.000	1.802	0.000	1.802	1.441	1.358	755.870	0.180	
14. Plu-C100-t30-2	290.000	45.000	1.170	0.000	1.170	0.377	0.293	755.870	0.039	
15. Plu-C100-t30-3	5030.000	45.000	1.692	0.000	1.692	9.456	9.373	755.870	1.240	0.486
16. Plu-C150-t30-1	400.000	45.000	0.822	0.000	0.822	0.365	0.282	1005.870	0.028	
17. Plu-C150-t30-2	580.000	45.000	1.245	0.000	1.245	0.802	0.719	1005.870	0.071	0.050
18. Plu-C200-t30-3	110.000	45.000	5.076	0.000	5.076	0.620	0.537	1255.870	0.043	0.043
19. Am-C0-t30-1	360.000	45.000	0.123	0.000	0.123	0.049		-	-	-
20. Am-C0-t30-2	410.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	-	-	-
21. Am-C0-t30-3	310.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-
22. Am-C50-t30-1	660.000	45.000	2.219	0.000	2.219	1.627	1.611	505.870	0.318	
23. Am-C50-t30-2	420.000	45.000	3.396	0.000	3.396	1.585	1.568	505.870	0.310	
24. Am-C50-t30-3	3490.000	45.000	0.218	0.000	0.218	0.845	0.829	505.870	0.164	0.264

ตารางแสดงการคำนวนปริมาณโครเมียมในน้ำ ที่ 60 วัน

รหัส	ปริมาณน้ำ ทั้งหมด (ml) <A>	ปริมาณน้ำ ที่วิเคราะห์ (ml) <B>	ปริมาณโครเมียม เฉลี่ยในตัวอย่าง (mg/l) AAS <C>	ปริมาณโครเมียม ในแบลงค์ (mg/l) AAS <D>	ปริมาณโครเมียม สุทธิ (mg/l) D - E <E>	ปริมาณโครเมียมในน้ำ (mg) (Fx50xB)/ (1000xC) <F>	ปริมาณโครเมียมสุทธิ ทั้งหมดในน้ำ(mg/l) (G - Average of Cr Control) <G>	ปริมาณโครเมียมในกระถาง (mg) (ปริมาณโครเมียมที่เติม+ที่มีอยู่เดิม) (ที่มีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg.) 255.87 <H>	%โครเมียมในน้ำ (Hx100)/I (%) <I>	%โครเมียมเฉลี่ย (%) <J>
1. Phy-C0-t60-1	300.000	45.000	0.255	0.000	0.255	0.085		-	-	-
2. Phy-C0-t60-2	320.000	45.000	0.186	0.000	0.186	0.066	0.069	-	-	-
3. Phy-C0-t60-3	240.000	45.000	0.207	0.000	0.207	0.055		-	-	-
4. Phy-C100-t60-1	30.000	45.000	2.791	0.000	2.791	0.093	0.024	755.870	0.003	
5. Phy-C100-t60-2	80.000	45.000	8.554	0.000	8.554	0.760	0.692	755.870	0.091	
6. Phy-C100-t60-3	130.000	45.000	3.561	0.000	3.561	0.514	0.446	755.870	0.059	0.051
7. Phy-C200-t60-1	150.000	45.000	5.499	0.000	5.499	0.917	0.848	1255.870	0.068	
8. Phy-C200-t60-2	100.000	45.000	4.759	0.000	4.759	0.529	0.460	1255.870	0.037	
9. Phy-C200-t60-3	80.000	45.000	5.368	0.000	5.368	0.477	0.408	1255.870	0.033	0.046
10. Phy-C400-t60-3	130.000	45.000	6.036	0.000	6.036	0.872	0.803	2255.870	0.036	0.036
11. Plu-C0-t60-1	105.000	45.000	1.168	0.000	1.168	0.136		-	-	-
12. Plu-C0-t60-2	330.000	45.000	0.219	0.000	0.219	0.080	0.085	-	-	-
13. Plu-C0-t60-3	140.000	45.000	0.249	0.000	0.249	0.039		-	-	-
14. Plu-C100-t60-1	170.000	45.000	3.077	0.000	3.077	0.581	0.496	755.870	0.066	
15. Plu-C100-t60-2	230.000	45.000	5.230	0.000	5.230	1.337	1.251	755.870	0.166	
16. Plu-C100-t60-3	125.000	45.000	5.040	0.000	5.040	0.700	0.615	755.870	0.081	0.104
17. Plu-C150-t60-1	410.000	45.000	2.053	0.000	2.053	0.935	0.850	1005.870	0.085	
18. Plu-C150-t60-2	520.000	45.000	0.852	0.000	0.852	0.492	0.407	1005.870	0.040	0.062
19. Plu-C200-t60-1	280.000	45.000	6.634	0.000	6.634	2.064	1.979	1255.870	0.158	0.158
20. Am-C0-t60-1	610.000	45.000	0.180	0.000	0.180	0.122		-	-	-
21. Am-C0-t60-2	1080.000	45.000	0.230	0.000	0.230	0.276	0.163	-	-	-
22. Am-C0-t60-3	380.000	45.000	0.213	0.000	0.213	0.090		-	-	-
23. Am-C50-t60-1	4360.000	45.000	1.264	0.000	1.264	6.123	5.961	505.870	1.178	
24. Am-C50-t60-2	200.000	45.000	4.962	0.000	4.962	1.103	0.940	505.870	0.186	
25. Am-C50-t60-3	1490.000	45.000	2.077	0.000	2.077	3.439	3.276	505.870	0.648	0.671

ตารางแสดงการคำนวนปริมาณโครเมียมในน้ำ ที่ 90 วัน

รหัส	ปริมาณน้ำทั้งหมด (ml) <A>	ปริมาณน้ำที่วิเคราะห์ (ml) <C>	ปริมาณโครเมียมเฉลี่ยในตัวอย่าง (mg/l) AAS <D>	ปริมาณโครเมียมในแบลงค์ (mg/l) AAS <E>	ปริมาณโครเมียมสุทธิ (mg/l) D - E <F>	ปริมาณโครเมียมในน้ำ (mg) (Fx50xB)/ (1000xC) <G>	ปริมาณโครเมียมสุทธิทั้งหมดในน้ำ(mg/l) (G - Average of Cr Control) <H>	ปริมาณโครเมียมในกระถาง (mg) (ปริมาณโครเมียมที่เติม+ที่มีอยู่เดิม) (ทีมีอยู่เดิม=51.174x5=255.870mg.) 255.87 <I>	%โครเมียมในน้ำ (Hx100)/I (%) <J>	%โครเมียมเฉลี่ย (%) <K>
1. Phy-C0-t90-1	720.000	45.000	0.171	0.000	0.171	0.137		-	-	-
2. Phy-C0-t90-2	480.000	45.000	0.411	0.000	0.411	0.219	0.151	-	-	-
3. Phy-C0-t90-3	370.000	45.000	0.239	0.000	0.239	0.098		-	-	-
4. Phy-C100-t90-1	520.000	45.000	1.916	0.000	1.916	1.107	0.956	755.870	0.126	
5. Phy-C100-t90-2	360.000	45.000	1.709	0.000	1.709	0.684	0.532	755.870	0.070	
6. Phy-C100-t90-3	320.000	45.000	2.317	0.000	2.317	0.824	0.672	755.870	0.089	0.095
7. Phy-C200-t90-1	410.000	45.000	4.989	0.000	4.989	2.273	2.121	1255.870	0.169	
8. Phy-C200-t90-2	440.000	45.000	3.859	0.000	3.859	1.887	1.735	1255.870	0.138	
9. Phy-C200-t90-3	550.000	45.000	0.416	0.000	0.416	0.254	0.103	1255.870	0.008	0.105
10. Phy-C400-t90-1	440.000	45.000	2.041	0.000	2.041	0.998	0.846	2255.870	0.038	
11. Phy-C400-t90-3	530.000	45.000	1.513	0.000	1.513	0.891	0.740	2255.870	0.033	0.035
12. Plu-C0-t90-1	340.000	45.000	0.392	0.000	0.392	0.148		-	-	-
13. Plu-C0-t90-2	500.000	45.000	0.526	0.000	0.526	0.292	0.193	-	-	-
14. Plu-C0-t90-3	340.000	45.000	0.370	0.000	0.370	0.140		-	-	-
15. Plu-C100-t90-1	470.000	45.000	1.918	0.000	1.918	1.002	0.808	755.870	0.107	
16. Plu-C100-t90-2	570.000	45.000	2.051	0.000	2.051	1.299	1.106	755.870	0.146	
17. Plu-C100-t90-3	430.000	45.000	3.246	0.000	3.246	1.551	1.358	755.870	0.180	0.144
18. Plu-C150-t90-1	470.000	45.000	0.077	0.000	0.077	0.040	-0.153	1005.870	-0.015	-0.015
19. Plu-C200-t90-1	460.000	45.000	1.989	0.000	1.989	1.017	0.823	1255.870	0.066	0.066
20. Am-C0-t90-1	90.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-
21. Am-C0-t90-2	750.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-
22. Am-C0-t90-3	370.000	45.000	0.000	0.000	0.000	0.000		-	-	-
23. Am-C50-t90-1	210.000	45.000	0.264	0.000	0.264	0.062	0.062	505.870	0.012	
24. Am-C50-t90-2	1180.000	45.000	0.111	0.000	0.111	0.146	0.146	505.870	0.029	
25. Am-C50-t90-3	580.000	45.000	0.489	0.000	0.489	0.315	0.315	505.870	0.062	0.034

ตารางแสดงMass balance ที่ 30 วัน

รหัส	ปริมาณโครเมียม ในพืช (mg)	ปริมาณโครเมียม ในพืช (%)	ปริมาณโครเมียม ในดิน (mg)	ปริมาณโครเมียม ในดิน (%)	ปริมาณโครเมียม ในน้ำ (mg)	ปริมาณโครเมียม ในน้ำ (%)	ปริมาณโครเมียม ทั้งหมดในพืช,ดิน,น้ำ (mg)	Mass balance (%)	Average massbalance (%)
1. Phy-C0-t30-1	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. Phy-C0-t30-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. Phy-C0-t30-3	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. Phy-C100-t30-1	1.286	0.170	520.500	68.861	0.146	0.019	521.932	69.050	
5. Phy-C100-t30-2	1.896	0.251	653.000	86.391	0.607	0.080	655.503	86.722	
6. Phy-C100-t30-3	1.529	0.202	532.500	70.449	0.081	0.011	534.110	70.662	75.478
7. Phy-C200-t30-1	0.290	0.023	909.000	72.380	3.017	0.240	912.307	72.643	
8. Phy-C200-t30-2	0.000	0.000	1153.500	91.849	8.090	0.644	1161.590	92.493	82.568
9. Phy-C400-t30-1	2.689	0.119	2177.500	96.526	3.181	0.141	2183.370	96.786	96.786
10. Plu-C0-t30-1	-	-	-	-	-	-	-	-	
11. Plu-C0-t30-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
12. Plu-C0-t30-3	-	-	-	-	-	-	-	-	
13. Plu-C100-t30-1	4.585	0.607	538.000	71.176	1.358	0.180	543.943	71.963	
14. Plu-C100-t30-2	5.772	0.764	579.500	76.667	0.293	0.039	585.565	77.470	
15. Plu-C100-t30-3	8.144	1.077	520.500	68.861	9.373	1.240	538.017	71.178	73.537
16. Plu-C150-t30-1	0.664	0.066	768.000	76.352	0.282	0.028	768.946	76.446	
17. Plu-C150-t30-2	0.368	0.037	527.000	52.392	0.719	0.071	528.087	52.500	64.473
18. Plu-C200-t30-3	1.063	0.085	743.500	59.202	0.537	0.043	745.100	59.330	59.330
19. Am-C0-t30-1	-	-	-	-	-	-	-	-	
20. Am-C0-t30-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
21. Am-C0-t30-3	-	-	-	-	-	-	-	-	
22. Am-C50-t30-1	0.000	0.000	180.333	35.648	1.611	0.318	181.944	35.966	
23. Am-C50-t30-2	0.000	0.000	198.833	39.305	1.568	0.310	200.401	39.615	
24. Am-C50-t30-3	0.000	0.000	213.333	42.172	0.829	0.164	214.162	42.336	39.306

ตารางแสดงMass balance ที่ 60 วัน

รหัส	ปริมาณโครเมียม ในพืช (mg)	ปริมาณโครเมียม ในพืช (%)	ปริมาณโครเมียม ในดิน (mg)	ปริมาณโครเมียม ในดิน (%)	ปริมาณโครเมียม ในน้ำ (mg)	ปริมาณโครเมียม ในน้ำ (%)	ปริมาณโครเมียม ทั้งหมดในพืช,ดิน,น้ำ (mg)	Mass balance (%)	Average massbalance (%)
1. Phy-C0-t60-1	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. Phy-C0-t60-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. Phy-C0-t60-3	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. Phy-C100-t60-1	3.571	0.472	543.500	71.904	0.024	0.003	547.095	72.379	
5. Phy-C100-t60-2	1.538	0.203	504.000	66.678	0.692	0.091	506.229	66.972	
6. Phy-C100-t60-3	3.424	0.453	481.500	63.701	0.446	0.059	485.369	64.213	67.855
7. Phy-C200-t60-1	6.236	0.497	1071.500	85.319	0.848	0.068	1078.584	85.884	
8. Phy-C200-t60-2	2.110	0.168	1261.500	100.448	0.460	0.037	1264.070	100.653	
9. Phy-C200-t60-3	0.897	0.071	1079.500	85.956	0.408	0.033	1080.805	86.060	90.866
10. Phy-C400-t60-3	0.389	0.017	1939.500	85.976	0.803	0.036	1940.692	86.029	86.029
11. Plu-C0-t60-1	-	-	-	-	-	-	-	-	
12. Plu-C0-t60-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
13. Plu-C0-t60-3	-	-	-	-	-	-	-	-	
14. Plu-C100-t60-1	2.890	0.382	472.500	62.511	0.496	0.066	475.886	62.959	
15. Plu-C100-t60-2	1.359	0.180	261.500	34.596	1.251	0.166	264.111	34.942	
16. Plu-C100-t60-3	3.188	0.422	447.000	59.137	0.615	0.081	450.803	59.640	52.514
17. Plu-C150-t60-1	0.284	0.028	729.500	72.524	0.850	0.085	730.634	72.637	
18. Plu-C150-t60-2	0.468	0.047	830.500	82.565	0.407	0.040	831.375	82.652	77.645
19. Plu-C200-t60-1	1.041	0.083	1332.000	106.062	1.979	0.158	1335.020	106.303	106.303
20. Am-C0-t60-1	-	-	-	-	-	-	-	-	
21. Am-C0-t60-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
22. Am-C0-t60-3	-	-	-	-	-	-	-	-	
23. Am-C50-t60-1	0.021	0.004	314.500	62.170	5.961	1.178	320.482	63.352	
24. Am-C50-t60-2	0.025	0.005	245.000	68.199	0.940	0.186	245.965	68.390	
25. Am-C50-t60-3	0.033	0.007	330.000	65.234	3.276	0.648	333.309	65.889	65.877

ตารางแสดงMass balance ที่ 90 วัน

รหัส	ปริมาณโครเมียม ในพืช (mg)	ปริมาณโครเมียม ในพืช (%)	ปริมาณโครเมียม ในดิน (mg)	ปริมาณโครเมียม ในดิน (%)	ปริมาณโครเมียม ในน้ำ (mg)	ปริมาณโครเมียม ในน้ำ (%)	ปริมาณโครเมียม ทั้งหมดในพืช,ดิน,น้ำ (mg)	Mass balance (%)	Average massbalance (%)
1. Phy-C0-t90-1	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. Phy-C0-t90-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. Phy-C0-t90-3	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. Phy-C100-t90-1	1.237	0.164	472.167	62.467	0.956	0.126	474.359	62.757	
5. Phy-C100-t90-2	0.250	0.033	512.167	67.759	0.532	0.070	512.949	67.862	
6. Phy-C100-t90-3	1.314	0.174	560.667	74.175	0.672	0.089	562.653	74.438	68.352
7. Phy-C200-t90-1	0.004	0.000	1194.167	95.087	2.121	0.169	1196.292	95.256	
8. Phy-C200-t90-2	1.167	0.093	1160.667	92.419	1.735	0.138	1163.569	92.650	
9. Phy-C200-t90-3	1.069	0.085	1325.667	105.558	0.103	0.008	1326.838	105.651	97.852
10. Phy-C400-t90-1	1.460	0.065	1302.667	57.746	0.846	0.038	1304.973	57.849	
11. Phy-C400-t90-3	18.433	0.817	1987.167	88.089	0.740	0.033	2006.340	88.939	73.394
12. Plu-C0-t90-1	-	-	-	-	-	-	-	-	
13. Plu-C0-t90-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
14. Plu-C0-t90-3	-	-	-	-	-	-	-	-	
15. Plu-C100-t90-1	1.892	0.250	0.000	0.000	0.808	0.107	2.700	0.357	
16. Plu-C100-t90-2	2.351	0.311	454.333	60.107	1.106	0.146	457.790	60.564	
17. Plu-C100-t90-3	2.417	0.320	640.333	84.715	1.358	0.146	644.108	85.181	48.701
18. Plu-C150-t90-1	0.414	0.041	355.333	35.873	0.000	0.000	355.747	35.914	35.914
19. Plu-C200-t90-1	6.548	0.521	583.333	46.449	0.823	0.066	590.704	47.036	47.036
20. Am-C0-t90-1	-	-	-	-	-	-	-	-	
21. Am-C0-t90-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
22. Am-C0-t90-3	-	-	-	-	-	-	-	-	
23. Am-C50-t90-1	0.000	0.000	140.833	27.840	0.062	0.012	140.895	27.852	
24. Am-C50-t90-2	0.043	0.008	167.833	33.177	0.146	0.029	168.022	33.214	
25. Am-C50-t90-3	0.058	0.007	161.333	31.892	0.315	0.062	161.706	31.961	31.009