



ผลของหินฟอสเฟตและถ้ำลอยต่อการดูดซับแคดเมียมของผักกาดเขียวปลี

EFFECT OF PHOSPHATE ROCK AND FLY ASH
ON CADMIUM UPTAKE OF MUSTARD GREEN

| | | |
|-----------|-------------|---------------|
| นายศิริกร | แสนธิไชยา | รหัส 50362436 |
| นายมงคล | ยาวิชัย | รหัส 50365802 |
| นายทัญญู | ด้วงบ้านยาง | รหัส 50365833 |

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 20, ส.ย. 2554
เลขทะเบียน..... 15507352
เลขเรียกหนังสือ..... 2/5.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 443 พ 2553

1550736
2/5.
0/443 04
2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปีการศึกษา 2553



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ ผลของหินฟอสเฟตและเถ้าลอยต่อการดูดซับแคดเมียมของผักกาดเขียวปลี

ผู้ดำเนินโครงการ

| | | |
|------------|-------------|--------------------|
| นายศิริกร | แสนธิไชยา | รหัสสถิติ 50362436 |
| นายมงคล | ยาวิชัย | รหัสสถิติ 50365802 |
| นายวาทัญญู | คิ้วบ้านยาง | รหัสสถิติ 50365833 |

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
 ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

Baw Waw
ที่ปรึกษาโครงการ
 (อาจารย์ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง)

[Signature]
กรรมการ
 (อาจารย์อำพล เตโชวานิชย์)

[Signature]
กรรมการ
 (อาจารย์วราภรณ์ ลักษณ์ ช่อนกลิ่น)

| | | | |
|-------------------|---|--------------|--------------------|
| ชื่อหัวข้อโครงการ | ผลของหินฟอสเฟตและเถ้าลอยต่อการดูดซับแคดเมียมของผักกาดเขียวปลี | | |
| ผู้ดำเนินโครงการ | นายศิริกร | แสนธิ ไซยา | รหัสนิติศ 50362436 |
| | นายมงคล | ยาวิชัย | รหัสนิติศ 50365802 |
| | นายทัญญู | คิ้วงบ้านยาง | รหัสนิติศ 50365833 |
| ที่ปรึกษาโครงการ | อาจารย์ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง | | |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม | | |
| ภาควิชา | วิศวกรรมโยธา | | |
| ปีการศึกษา | 2553 | | |

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของหินฟอสเฟตและเถ้าลอยต่อการดูดซับแคดเมียมและการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในกระถาง เก็บตัวอย่างดินในมหาวิทยาลัยนเรศวรมาทำการสังเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียมที่ความเข้มข้น 50 มก./กก-ดิน ดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมจะถูกบำบัดด้วยเถ้าลอยและหินฟอสเฟตที่สัดส่วน 10, 20 และ 30% ตามลำดับ และนำไปทดสอบการดูดซับแคดเมียมของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในกระถางเป็นระยะเวลา 50 วัน ในบริเวณกลางแจ้ง

จากผลการศึกษาการดูดซับแคดเมียมของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในกระถาง พบว่า ปริมาณแคดเมียมในใบและรากของผักกาดเขียวปลีมีค่าลดลงตามสัดส่วนของเถ้าลอยที่ใช้ในการบำบัด เมื่อเทียบกับการปลูกผักกาดเขียวปลีในดินปนเปื้อนแคดเมียม และการปลูกในดินที่บำบัดด้วยหินฟอสเฟต

จากผลการศึกษาการเติบโตของผักกาดเขียวปลี พบว่า การบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมด้วยเถ้าลอยส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี ทำให้น้ำหนักแห้งของผักกาดเขียวปลีมีค่าลดลงตามสัดส่วนของเถ้าลอยที่ใช้ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม

Project title EFFECT OF PHOSPHATE ROCK AND FRY ASH ON CADMIUM
UPTAKE OF MUSTARD GREEN

Name Mr. Sirakorn Santhichaiya ID.50362436
Mr. Mongkol Yawichai ID.50365802
Mr. Wathanyu Duangbanyang ID.50365833

Project advisor Mr. Chaiwat Photong

Major Environmental Engineering

Department Civil Engineering

Academic year 2010

Abstract

The objectives of this study are to investigate the effects of phosphate rock and fly ash on cadmium uptake and growth of mustard green in pot experiment. The unpolluted soil sample was collected in the area of Naresuan University and used for synthesis of cadmium contaminated soil at the concentration of 50 mg/kg-soil. The cadmium contaminated soil was treated by fly ash and phosphate rock at ratio of 10, 20 and 30% respectively, and then to study the cadmium uptake in pot experiment for a period of 50 days in an outdoor condition.

The results from the study of cadmium uptake of mustard green in pot experiment showed that the cadmium content in leaves and roots of mustard green reduced with the ratio of fly ash when compare with the planting of mustard green in soil that treated with phosphate rock and cadmium contaminated soil.

The result from the study of growing of mustard green showed that the treatment of cadmium contaminated soil by fly ash had an adversely affect on growing of mustard green. The dry mass of mustard green was reduced with the ratio of fly ash that used for treatment of cadmium contaminated soil.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลอันจะได้กล่าวต่อไปนี้ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลในด้านต่างๆ จนทำให้ผลการศึกษาโครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อันได้แก่

อาจารย์ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้คำชี้แนะและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ

คุณวิชา อิ่มกระง่าง เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ให้คำแนะนำในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งเป็นผู้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำโครงการ และยังเป็นผู้ผลักดันให้เกิดโครงการวิศวกรรมชิ้นนี้



สารบัญ

หน้า

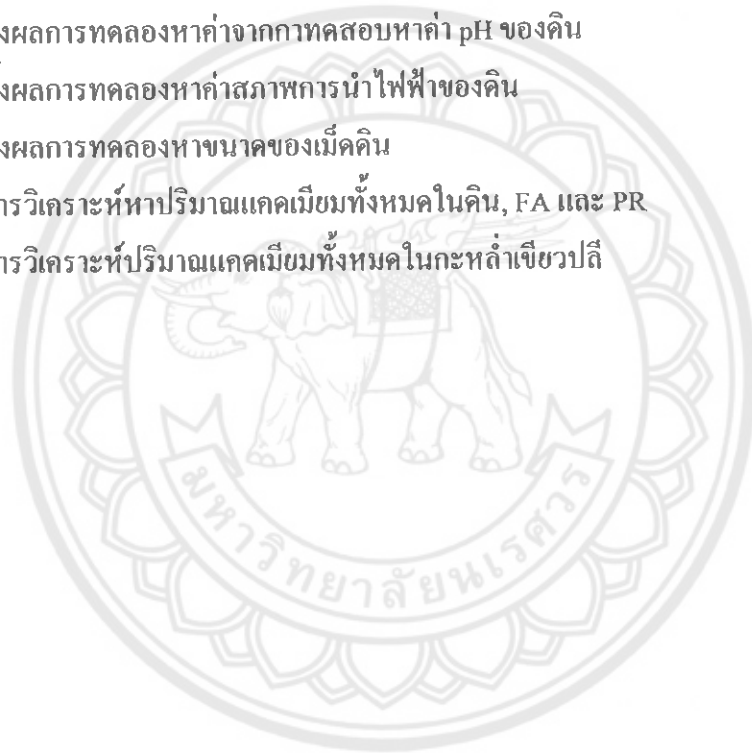
| | |
|---|----|
| ใบรับรองปริญญาโท | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| กิตติกรรมประกาศ | ง |
| สารบัญ | จ |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูป | ซ |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.4 ขอบเขตการทำโครงการ | 2 |
| 1.5 แผนการปฏิบัติงาน | 3 |
| 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 3 |
| 1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ | 4 |
| | |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี | 5 |
| 2.1 การปนเปื้อนของโลหะหนัก | 5 |
| 2.2 แคดเมียม | 5 |
| 2.3 วิธีการบำบัดและกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน | 7 |
| 2.4 การดูดซับแคดเมียมในดิน | 10 |
| 2.5 การตรึงโลหะหนักของพืช | 11 |
| 2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับแคดเมียมในดินและการดึงดูดของพืช | 15 |
| 2.7 ผักกาดเขียวปลี (Mustard green) | 15 |
| 2.8 ถ้ำลอย (Fly Ash) | 17 |
| 2.9 หินฟอสเฟต (Phosphate Rock) | 18 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี (ต่อ) | 19 |
| 2.10 ระดับมาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของ โลหะหนัก | 19 |
| 2.11 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม | 20 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ | 23 |
| 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ | 23 |
| 3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง | 26 |
| 3.3 การศึกษาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในผักกาดเขียวปลี | 33 |
| 3.4 การศึกษาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินตัวอย่าง ถ้ำลอยและหินฟอสเฟต | 34 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ | 40 |
| 4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน | 40 |
| 4.2 ผลการทดสอบหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในผักกาดเขียวปลี | 47 |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ | 55 |
| 5.1 สรุปโครงการ | 55 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 56 |
| เอกสารอ้างอิง | 57 |
| ประวัติผู้ดำเนินโครงการ | 60 |
| ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน | 62 |
| ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและการเติบโตของผักกาดเขียวปลี | 68 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ร้อยละของค้ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยถ่านหิน | 18 |
| 2.2 มาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักในดินที่ยอมรับได้ในบางประเทศ | 20 |
| 2.3 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม | 21 |
| 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีและวิธีการวิเคราะห์ดิน | 29 |
| 3.2 ปริมาณของการเติมสารบำบัดเถ้าลอย (Fly Ash) และฟอสเฟต (Phosphate rock) | 32 |
| 4.1 แสดงผลการทดลองหาความชื้นในมวลดิน | 40 |
| 4.2 แสดงผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของดิน | 41 |
| 4.3 แสดงผลการทดลองหาค่าจากกาทดสอบหาค่า pH ของดิน | 42 |
| 4.4 แสดงผลการทดลองหาค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน | 43 |
| 4.5 แสดงผลการทดลองหาขนาดของเม็ดดิน | 45 |
| 4.6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน, FA และ PR | 46 |
| 4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในกะหล่ำเขียวปลี | 48 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการ | 3 |
| 3.1 อุปกรณ์ทดลอง | 23 |
| 3.2 ถ้ำลอยถ่านหิน (Fly Ash), หินฟอสเฟต (Phosphate rock) | 24 |
| 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ | 24 |
| 3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ | 25 |
| 3.5 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน | 26 |
| 3.6 วิธีการเตรียมดินและตากดินตัวอย่าง | 27 |
| 3.7 จุดเก็บตัวอย่างดินบริเวณหลังอ่านเก็บน้ำมหาวิทยาลัยนเรศวร | 28 |
| 3.8 วิธีการสังเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียมในดินตัวอย่าง | 30 |
| 3.9 วิธีการการบำบัดดินปนเปื้อนแคดเมียมด้วยถ้ำลอยและฟอสเฟต | 31 |
| 3.10 แสดงการบำบัดแต่ละกระถางที่ใช้ทดสอบการดูดซับแคดเมียม | 32 |
| 3.11 การวางกระถาง | 32 |
| 3.12 ขั้นตอนการเก็บและเตรียมตัวอย่างผักกาดเขียวปลี | 34 |
| 3.13 ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมดในดิน ฟอสเฟตและถ้ำลอย | 36 |
| 3.14 ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมดในผักกาดเขียวปลี | 38 |
| 4.1 กราฟแสดงค่าความชื้นในมวลดิน | 41 |
| 4.2 กราฟแสดงค่าความถ่วงจำเพาะของดิน | 42 |
| 4.3 กราฟแสดงสภาพ pH ของดิน | 43 |
| 4.4 กราฟแสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของดิน | 44 |
| 4.5 กราฟแสดงค่าผลการทดลองหาขนาดของเม็ดดิน | 45 |
| 4.6 กราฟแสดงค่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน, FA และ PR | 47 |
| 4.7 กราฟแสดงค่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของใบผักกาดเขียวปลี | 49 |
| 4.8 กราฟแสดงค่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของรากผักกาดเขียวปลี | 50 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.9 กราฟแสดงค่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของพืชในส่วนที่เป็นใบและราก | 51 |
| 4.10 ภาพการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลีสัปดาห์ที่ 7 | 52 |
| 4.11 ภาพการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลีสัปดาห์ที่ 10 | 53 |
| 4.12 กราฟแสดงค่าน้ำหนักหลังอบของต้นผักกาดเขียวปลี | 54 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการพัฒนาเทคโนโลยี ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรงและยากต่อการแก้ไข หนึ่งในผลกระทบนั้นคือการรั่วไหลปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำ โลหะหนักจัดอยู่ในกลุ่มธาตุที่มีความด่างจำเพาะมากกว่า 4 ขึ้นไป และส่วนใหญ่เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม Transition metals ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดินและในน้ำ

แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดินและน้ำ โดยมาจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานทำพลาสติก เหมืองสังกะสี การถลุงแร่ ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของดินและน้ำได้ดิน แม้เทคโนโลยีการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักจะสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีการขุดดินออกไปบำบัดภายนอกแล้วนำกลับมาถมเข้าที่เดิม การบำบัดในที่โดยอาศัยวิธีทางกายภาพ ทางเคมี ทางไฟฟ้า เพื่อลดความสามารถในการละลายของโลหะหนัก หรือเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของอ็อกไซด์ หรือสารประกอบที่มีอันตรายน้อยลง หรือใช้สารเคมีสกัดโลหะหนักออกจากดิน ซึ่งแต่ละวิธีมักจำเป็นต้องอาศัยทักษะที่สูงและงบประมาณจำนวนมาก และบางวิธีอาจเหมาะสมกับพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนในวงแคบ

การบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักด้วยสารเคมี (Chemical Amendment) เป็นวิธีที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพดิน เพื่อลดการแพร่กระจายของโลหะหนักในดิน และลดการดูดซับโลหะหนักในพืช โดยการทำให้โลหะหนักในอนุภาคดินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบที่มีความคงตัวมากขึ้น ละลายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยลง โดยการอาศัยสารเคมีได้แก่ แร่ตามธรรมชาติ เช่น หินฟอสเฟต (Phosphate rock, PR) แร่อะพาไทต์ เถ้าลอย (Fly Ash, FA) จากโรงไฟฟ้าพลังงานถ่านหิน โคลนแดง (Red mud) จากกระบวนการผลิตอะลูมิเนียม

จากการศึกษาเรื่องผลของเถ้าลอยและหินฟอสเฟตต่อรูปแบบของแคดเมียมในดินและตะกอนที่บำบัดด้วยวิธีทางเคมีของปีที่ผ่านมา พบว่าการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้เถ้าลอยและหินฟอสเฟต โดยทำการเก็บตัวอย่างดินและตะกอนจากบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ควาอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบว่าการบำบัดดินโดยใช้เถ้าลอยส่งผลให้ร้อยละของแคดเมียมที่ขีดติดกับคาร์บอนเพิ่มขึ้น ส่วนการบำบัดดินและตะกอนโดยใช้หินฟอสเฟตส่งผลให้ร้อยละของแคดเมียมที่ขีดติดกับคาร์บอนมีค่าลดลง (สมภพ และคณะ, 2552)

การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของถั่วลยและหินฟอสเฟตต่อการดูดซับแคดเมียมของผักกาดเขียวปลี รวมถึงศึกษาผลการใช้ถั่วลยและหินฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลีในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาผลของหินฟอสเฟตและถั่วลยต่อการดูดซับแคดเมียมของผักกาดเขียวปลี
- 1.2.2 ศึกษาผลของแคดเมียมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบปริมาณแคดเมียมในผักกาดเขียวปลีที่มีการปนเปื้อนเปรียบเทียบกับผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่ไม่มีการปนเปื้อน
- 1.3.2 ทราบประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตและถั่วลยในการนำมาบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม
- 1.3.3 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สารเคมีในการบำบัด โลหะหนักชนิดอื่นๆ
- 1.3.4 สามารถนำเสนอผลงานวิจัยหรือตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการ
- 1.3.5 สามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิจัยต่อยอดต่อไปในอนาคต

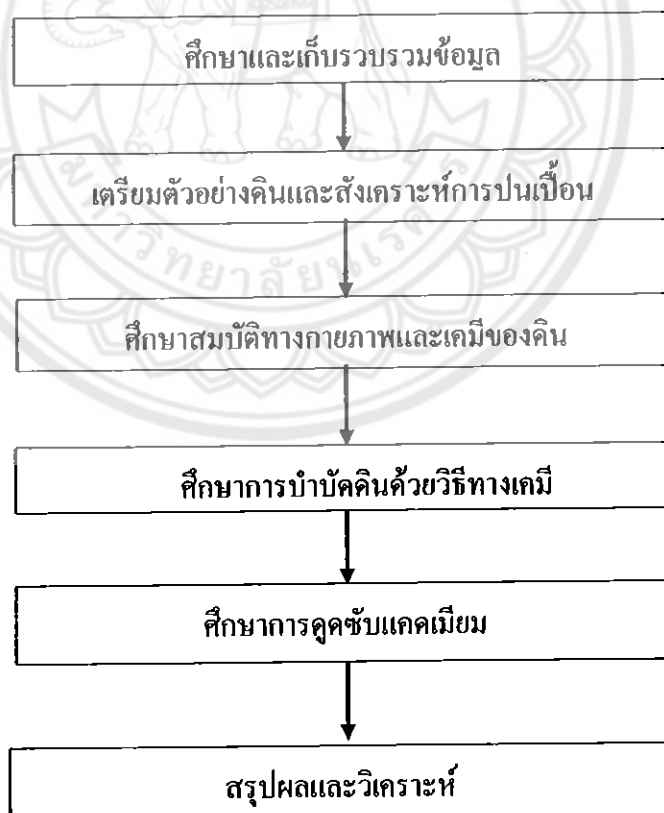
1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1 ดินที่ใช้ในการทดลองคือ ดินบริเวณอ่างเก็บน้ำหลังหอพักใน มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 1.4.2 แคดเมียมที่ใช้ในการศึกษาใช้ในรูปแบบของแคดเมียม ไนเตรท ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- 1.4.3 พืชที่ใช้คือผักกาดเขียวปลีทำการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุครบ 50 วัน
- 1.4.4 สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดแคดเมียม คือ ถั่วลยและหินฟอสเฟต

1.5 แผนการดำเนินงาน

| No | แผนการดำเนินงาน | 2553 | | | | 2554 | |
|----|--|------|------|------|------|------|------|
| | | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. |
| 1 | ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล | | | | | | |
| 2 | เตรียมตัวอย่างดินและตั้งเคราะห์การปนเปื้อน | | | | | | |
| 3 | ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน | | | | | | |
| 4 | ศึกษาการบำบัดดินด้วยวิธีทางเคมี | | | | | | |
| 5 | ศึกษาการดูดซับแคดเมียม | | | | | | |
| 6 | สรุปผลและวิเคราะห์ | | | | | | |
| 7 | งานเอกสาร | | | | | | |

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

| รายการ | งบประมาณ |
|-----------------------------|----------|
| 1. ค่าสารเคมีและเครื่องแก้ว | 1,000 |
| 2. ค่าเครื่องมือวิทยาศาสตร์ | 1,500 |
| 3. ค่าถ่ายเอกสาร | 500 |
| รวม | 3,000 |



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 การปนเปื้อนของโลหะหนัก

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาการปนเปื้อนของโลหะในแหล่งน้ำธรรมชาติรวมไปถึงพื้นที่การเกษตร ปัญหาเหล่านี้มีสาเหตุหลัก คือ อุตสาหกรรมเหมืองแร่สังกะสี, ตะกั่ว การใช้สารเคมีในครัวเรือนและการเกษตรมากขึ้นทำให้เกิดขยะมูลฝอยและกากของเสียจำนวนมาก กากของเสียจากข้างต้น ซึ่งมีโลหะหนัก สารพิษ สารเคมี ในประเทศไทยเทคโนโลยีการกำจัดกากของเสียอย่างถูกสุขลักษณะยังไม่เพียงพอที่จะแก้ปัญหานี้ได้ (ปราณี, 2542) การปลูกพืชในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการปลูกแตกต่างไปจากเดิม เพื่อให้ได้ผลผลิตในปริมาณมาก และมีคุณภาพเพื่อรองรับความต้องการของตลาด วิธีเพิ่มผลผลิตและรักษาผลผลิตไม่ให้ถูกทำลาย โดยการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช การใส่ปุ๋ย และการใช้สารเคมีช่วยเร่งผลผลิต วิธีการต่างๆเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาสารพิษตกค้างในพืช อาจเป็นสารอันตราย โลหะหนัก บางชนิดสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่น โดยอิทธิพลของธรรมชาติเช่น ความร้อน ความชื้น บางชนิดก็ต้องอาศัยกรรมวิธีบางประการเพื่อช่วยลดปริมาณสารพิษที่ปะปนอยู่ในผลผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารพิษที่ตกค้างที่อยู่ภายนอกของต้น ใบ ดอก รากและผล ซึ่งสามารถที่จะลดความเป็นพิษลงได้โดยการล้างด้วยน้ำหรือสารเคมีบางชนิด สำหรับสารพิษที่ตกค้างและสะสมอยู่ในต้นพืชการกำจัดหรือลดปริมาณนั้นสามารถทำได้ยาก สารพิษที่มีความสำคัญและพบว่ามีกรปนเปื้อนมากในพืชผักคือ โลหะหนัก แหล่งที่มาของ โลหะหนักเหล่านี้ส่วนใหญ่มาจากสิ่งแวดล้อมและวัสดุที่ใช้ในการเกษตร เช่นสารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ย หรือปนเปื้อนมากับน้ำชลประทาน โลหะหนักที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากโลหะหนักบางธาตุเป็นอันตรายต่อมนุษย์ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และอะเซนิก เป็นต้น

2.2 แคดเมียม (Cadmium)

แคดเมียมเป็นธาตุที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ในเปลือกโลกมีปริมาณแคดเมียมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.15- 2.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ปริมาณแคดเมียมในดินทั่วไปมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.07-1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศุภมาส, 2545) โดยพบอยู่ในรูปของสินแร่ Greenockite และปะปนอยู่กับสินแร่อื่นๆ เช่น ปรอท สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียมที่อยู่ในดินชนิดต่าง ๆ จะมีปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบกำเนิดของดินชนิดนั้นว่าสลายมาจากหินชนิดใด แคดเมียมเป็นโลหะอ่อนสีเงิน ดัดง่ายตีแผ่ได้ละลายในกรด โดยเฉพาะกรดไนตริกและละลายได้มากในสารละลายแอมโมเนียไนเตรท (สิทธิชัย, 2528; Parker, 1993) และธาตุนี้เป็นธาตุที่สำคัญที่สุดธาตุหนึ่งใน

อุตสาหกรรม (พิมลและชัยวัฒน์, 2529) แคลเมียมถูกนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในด้านเกษตรและด้าน อุตสาหกรรม โดยในด้านการเกษตรมีการนำแคลเมียมมาใช้เป็นองค์ประกอบของสารเคมีกำจัด วัชพืช สารเคมีกำจัดเชื้อราและเป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟต ทางด้านอุตสาหกรรมมีการนำ แคลเมียมมาเป็นองค์ประกอบของสีทาบ้าน สีชุบโลหะเพื่อป้องกันการกัดกร่อน เป็นต้น (สิทธิชัย, 2528) พืชแคลเมียมก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้มาก เมื่อเข้าสู่ร่างกายแคลเมียมจะก่อให้เกิด โรคและเป็นพิษเฉียบพลันได้แต่ส่วนมากโรคที่เกิดจากแคลเมียมนั้นจะเป็นเรื้อรัง และการได้รับ แคลเมียมเป็นเวลานาน โรคที่เกิดสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มดังนี้

2.2.1 โรคปอดเรื้อรัง

เกิดจากการที่ได้รับแคลเมียมเป็นเวลานาน ๆ และในปริมาณมากโดยเฉพาะจากการ หายใจ ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตันภายในปอด ทั้งนี้เป็นเพราะมีการอักเสบของหลอดลม มีพังศึคใน ปอดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง และมีการทำลายของถุงลมซึ่งกลายเป็น โรคถุงลมโป่งพองใน ที่สุด ผู้ที่มีความเสี่ยงมากคือคนงานกับผงแคลเมียมโดยตรง เช่น โรงงานแบตเตอรี่ขนาดเล็ก

2.2.2 โรคไตอักเสบ

จะแสดงออกโดยมีการอักเสบไต โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ท่อในไตซึ่งจะพบแคลเมียมใน ปีสภาวะสูง มีโปรตีน กลูโคสสูงในปีสภาวะ การทำงานทางท่อในไตเสียการทำงาน พบว่ามีการ สะสมของแคลเมียมที่หมวกไตก่อให้เกิดการอักเสบและเป็นอันตรายต่อไปและอาจเป็น ไตวายได้ ในที่สุดการเกิดโรคไตอักเสบนี้จะเป็นแบบถาวร แม้ว่าจะไม่ได้รับแคลเมียมต่อไปแล้วแต่ไตก็ยังไม่ สามารถฟื้นคืนกลับมาดังเดิมได้

2.2.3 โรคกระดูก

แคลเมียมทำให้เกิดการสูญเสียแคลเซียมออกมาในปีสภาวะสูง และอาจมีแคลเมียมเข้า ไปสะสมในกระดูกทำให้กระดูกพรุน และมีอาการปวดกระดูกอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาการ ปวดกระดูกสะโพก ซึ่งได้รับแคลเมียมมากเป็นเวลานาน เพราะการสูญเสียแคลเซียมทำให้เป็นโรค กระดูกพรุน

2.2.4 โรคความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ

พบว่าแคลเมียมทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้นมากและมีโอกาสเป็นโรคหัวใจสูงขึ้นด้วย ซึ่งอาจจะเป็นการร่วมกันกับโรคไตดังที่กล่าวมาแล้ว

2.2.5 โรคมะเร็ง

มีข้อมูลการศึกษาติดตามคนงานที่ทำงานสัมผัสกับแคลเมียม เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ แห่งขนาดเล็ก พบว่ามีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งปอด สูงกว่าคนทั่วไปและอาจมีผลต่อการ เสี่ยงเป็นโรคมะเร็งของต่อมลูกหมากด้วย

2.3 วิธีการบำบัดและกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน

เทคนิคที่ใช้ในกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินที่นิยม ได้แก่

2.3.1 การขุดเอาดินที่ปนเปื้อน โลหะหนักขึ้นมาแล้วใช้กรดไนตริก (HNO_3) และกรดไฮโดรคลอริก (HCL) เข้มข้น ละลายโลหะที่ปนเปื้อนในดิน

2.3.2 การขุดเอาดินที่ปนเปื้อน โลหะหนักขึ้นมาแล้วนำไปฝังกลบกากสารเคมีวิธีนี้จะสิ้นเปลืองทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายที่สูงมาก และระดับความปลอดภัยของพื้นที่ที่ใช้ฝังกลบ บางครั้งอาจเกิดการรั่วไหลออกจากบริเวณที่กำหนด โดยอาจเกิดจากความสะเปร่าของมนุษย์หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางภูมิศาสตร์หรือทั้ง 2 สาเหตุพร้อมกัน

2.3.3 โดยใช้ตัวจับโลหะหนัก (Metal chelators) เช่น Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) ซึ่งจะทำหน้าที่จับโลหะในดิน แต่อย่างไรก็ตาม EDTA เองไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและจัดเป็นสารพิษ วิธีทางกายภาพ- เคมี นั้นจะมีค่าใช้จ่ายสูงและทำลายโครงสร้างของดิน วิธีการได้แก่การขุดดินแล้วเอาดินออกถมส่วนบนด้วยดินที่สะอาดแต่มักเป็นวิธีแพงเนื่องจากจำเป็นต้องกำจัดดินที่ปนเปื้อน และต้องขนส่งดินที่สะอาดมาถมส่วนที่ขุดออกไป (Tang et al., 2004) ตัวอย่างของกระบวนการบำบัดดินมีรายละเอียดดังนี้ a) Soil washing เป็นวิธีที่ใช้ในการบำบัดสารปนเปื้อนที่ดูดติดบนผิวของอนุภาคดิน และถูกแยกออกมาในของเหลวที่ใช้ อาจใช้ความดันสูงเพื่อเพิ่มความลึกของการบำบัด น้ำที่ใช้ล้างอาจเป็นกรด หรือด่างหรือ Chelating agent เพื่อช่วยกำจัดสารอินทรีย์หรือโลหะหนัก นอกจากนี้อาจต้องคำนึงถึงการทำให้เป็นกลางของดินที่ผ่านการบำบัดแล้วร่วมด้วย ประสิทธิภาพของการบำบัดถูกกำจัดโดยค่าความซึมผ่านของดิน (Permeability) ดินที่มีค่าความซึมผ่านน้อยกว่า 10 – 4 เซนติเมตรต่อวินาที ไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีนี้บำบัด (Abumaizer and Smith, 1999) การล้างดินไม่สามารถนำไปใช้กับดินได้ทุกชนิด แต่เหมาะกับดินที่เป็นดินทรายหรือดินทราย ดินที่มีเม็ดละเอียด เช่น ตะกอน และดินเหนียว ที่ยากต่อการแยกออกจากของเหลว และมักจะยึดกับสารปนเปื้อนปริมาณที่สูง และจำเป็นต้องคำนึงถึงการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น สารปนเปื้อนที่มีความซับซ้อนอาจเป็นการยากที่จะใช้การล้างเพียงอย่างเดียว (United Nation, 2000) b) Solvent Extraction การสกัดด้วยตัวทำละลายสามารถนำมาใช้กับสารปนเปื้อนหลายชนิดได้แก่ Semi – volatile halogenated และ Non- halogenated organics, ยากำจัดศัตรูพืช และโลหะหนัก โดยดินที่ปนเปื้อนและตัวทำละลายหรือกรดจะถูกผสมในถังปฏิกรณ์เมื่อสารปนเปื้อนถูกละลายโดยตัวทำละลาย ของเหลวจะถูกนำไปกำจัดสารปนเปื้อนออกเพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้อีกครั้งการสกัดด้วยตัวทำละลายถูกนำมาใช้อย่างประสบความสำเร็จในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย (Halogenated และ Non – halogenated) เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ตัวทำละลายอาจตกค้างและปนเปื้อนในดินที่ผ่านการบำบัดแล้วเล็กน้อย จำเป็นต้องคำนึงถึงการใช้อยุทธศาสตร์และพิษของตัวทำละลายที่ใช้ด้วย แต่ก็ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้กับสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง หรือ Hydrophilic substances และอาจไม่เหมาะสมกับดินที่มีความชื้นปริมาณ

สูง นอกจากนี้การบำบัดและการกำจัดตัวทำละลายที่ใช้แล้วอาจเป็นปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาด้วย (United Nation, 2000) c) Electroreclamation เป็นกระบวนการที่สามารถกำจัดโลหะหนักความเข้มข้นสูงสามารถกำจัดโลหะหนักได้หลายชนิดขั้วไฟฟ้าจะถูกฝังลงในดินบริเวณที่ปนเปื้อนทำการป้อนกระแสไฟฟลไกการกำจัดอาจเกิดตกตะกอน, การเกาะติดกับขั้วไฟฟ้า กระบวนการขึ้นอยู่กับชนิดของสารมลพิษของเหลว ซึ่งบางครั้งอาจจำเป็นต้องเติมและป้อนหมุนเวียนเข้าไปเพื่อจะลดพันธะระหว่างดินและสารพิษทำให้สารมลพิษเคลื่อนที่ได้ดียิ่งขึ้น วิธีนี้ยังต้องถูกพัฒนาต่อไป การประยุกต์ใช้มักก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรดของดิน (PH 2-4) จำเป็นต้องทดสอบก่อนนำไปใช้กับสถานที่จริง รวมทั้งต้องพิจารณาปฏิกิริยา Oxidation/Reduction อื่นๆ ร่วมด้วย (United Nation, 2000) d) Stabilization/Solidification เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์เป็นเทคโนโลยีที่ง่าย สารปนเปื้อนและสารเคมีจะลดการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนการทำให้เป็นก้อนแข็งมักประสบความสำเร็จ โดยการผสมดินปนเปื้อนกับซีเมนต์ เพื่อให้วัสดุที่จะถูกชะละลายออกมาน้อย สัดส่วนของสารเคมีที่ใช้และดินที่ปนเปื้อนที่เหมาะสมต้องพิจารณาจากสมบัติของผลผลิตสุดท้ายที่ได้ การทำเป็นก้อนแข็งอาจส่งผลทำให้ปริมาตรของผลผลิตสุดท้ายเพิ่มขึ้นถึงเท่าตัวได้เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรเดิม ผลผลิตที่ได้ยังคงต้องถูกควบคุมเช่นเดียวกับกับของเสียอันตราย จำเป็นต้องมีการทดสอบความเข้ากันได้ของกระบวนการกับสารมลพิษและสิ่งแวดล้อม (United Nation, 2000)

2.3.4 Phytoremediation เป็นการใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษ ในบริเวณที่ปนเปื้อนเพื่อลดอันตรายของสารมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดสารมลพิษทั้งที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในตัวกลาง ดิน น้ำ หรือ อากาศ เช่น ไทโรไนโตรโทลูอิน (2,4,6-trinitrotoluene) ไทโรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) เบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ไซลีน (Xylene) โลหะหนัก (Heavy metals) นิวไคลด์กัมมันตรังสี (Radionuclides) การบำบัดสารมลพิษโดยใช้เทคโนโลยี (Phytoremediation) สิ่งที่สำคัญคือการเลือกใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษในบริเวณที่มีการปนเปื้อน นอกจากนี้ยังต้องมีความเข้าใจพฤติกรรมของสารมลพิษที่จะทำการบำบัดในตัวกลางนั้น ๆ และปัจจัยร่วมอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติเพื่อช่วยให้การบำบัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่ กระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา ดังนั้น Phytoremediation จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับใช้บำบัดสารมลพิษโดยการพึ่งพาสิ่งที่มีอยู่แล้วในระบบธรรมชาติ และเป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนในการบำบัดสารมลพิษ โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีราคาแพงและเป็นสาเหตุของการทำลายธรรมชาติ เช่น วิธีชะล้างดิน (Soil washing) วิธีการขุดลอกหน้าดินซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรและต้นทุนในการบำบัดสูงการบำบัดสารมลพิษโลหะหนัก โดยใช้เทคโนโลยี Phytoremediation สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด

2.3.5 Phytoextraction เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษที่อยู่ในดิน ตะกอนดิน โดยใช้พืชไปดูดซึมสารมลพิษโดยผ่านราก แล้วไปเก็บสะสมในเนื้อเยื่อพืชส่วนที่เป็น ลำต้น และใบ มีปัจจัย

หลายประการที่จำกัดการบำบัดสารโลหะหนัก (Metal phytoextraction) เช่น อัตราการ ดูดซึมสารโลหะหนักโดยราก การนำไปใช้ประโยชน์ของโลหะหนักโดยพืช (Metal bioavailability) สัดส่วนของสารโลหะหนักที่ถูกดูดซึมโดยราก ความทนได้ของเซลล์พืชต่อสารโลหะหนักที่เป็นพิษ ดังนั้นพืชที่ใช้ในการบำบัดจึงควรมีความสามารถในการสะสมสารโลหะหนักโดยผ่านรากได้มาก และสามารถเคลื่อนย้ายสารโลหะหนักไปสู่ส่วนของต้นพืชได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้พืชควรมีกลไกในการลดความเป็นพิษของสารโลหะหนัก (Detoxify) และมีความทนต่อปริมาณสารโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น เงิน แคดเมียม โคบอลต์ โครเมียม ทองแดง พรอท แมงกานีส โมลิบดีนัม นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี สารกัมมันตรังสีที่สามารถบำบัดโดยวิธีนี้ เช่น สตรอนเชียม-90 (^{90}Sr) ซีเซียม-137 (^{137}Cs) พลูโทเนียม-239 (^{239}Pu) ยูเรเนียม-238 (^{238}U) Phytoextraction ยังแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ a) Natural phytoextraction เป็นการบำบัดสารมลพิษโดยวิธีการปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อนด้วยสารมลพิษ แล้วทำการร่อนน้ำใส่ปุ๋ยเท่าที่จำเป็น พืชบางชนิดสามารถเจริญเติบโต โดยไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยหรือร่อนน้ำ แต่อาศัยน้ำฝนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ส่วนใบและลำต้นพืชที่มีการสะสมสารมลพิษ จะถูกเก็บเกี่ยวและทำการบำบัดโดยวิธีที่เหมาะสมต่อไป พืชที่เลือกใช้ ส่วนใหญ่จะเป็นพืชที่ชอบขึ้นตามธรรมชาติอยู่แล้ว และมีความทนทานต่อความเข้มข้นของโลหะหรือ สารมลพิษอื่น ๆ โดยทั่วไปแล้ว พืชเหล่านี้จะเป็นพืชที่เจริญเติบโตไม่รวดเร็วนัก และเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะมีขนาดที่ไม่ใหญ่นักและมีรากตื้น b) Induced phytoextraction เป็นการบำบัดสารมลพิษโดยการเลือกใช้พืชที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ตลอดจนอายุการเจริญเติบโตร่วมกับการเติมสารปรับปรุงดินหรือสารชักนำ (Inducing agent) เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารมลพิษสู่พืชมากขึ้น ยังผลให้เพิ่มขีดความสามารถในการบำบัดสารมลพิษ

2.3.6 Phytostabilization เป็นการใช้พืชเพื่อขยับยั้งหรือลดการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในดิน ตะกอนดิน หรือตะกอน โดยการไชรากพืชเพื่อจำกัดการเคลื่อนที่และการดูดซับของสารมลพิษในดิน ตะกอนดิน หรือตะกอน พืชที่ใช้ควรมีความสามารถในการลดปริมาณการซึมผ่านของน้ำในโครงสร้างของดิน เพื่อเป็นการลดปริมาณสารมลพิษปนเปื้อนไปสู่ลำน้ำได้ดิน ป้องกันการ ลีกร่อนของหน้าดินและการกระจายของสารมลพิษไปยังบริเวณอื่น ๆ การบำบัดโดยวิธีนี้สามารถเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการดูดซับ (Sorption) การตกตะกอน (Precipitation) การเกิดสารเชิงซ้อน (Complexation) การรีดิวซ์เวเลนซ์โลหะ (Metal valence reduction) สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง และ สังกะสี

2.3.7 Phytovolatilization เป็นการ ใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษโดยการ ใช้พืชไป ดูดซับสารมลพิษ แล้วด้วยกลไกที่เกิดขึ้นในต้นพืชเองได้ทำการแปลง (Transformation) สารมลพิษให้อยู่ในรูปที่ระเหยได้และมีความเป็นพิษลดลงจากเดิม หลังจากนั้นสารมลพิษที่อยู่ในรูปที่ระเหยได้ สามารถกำจัดออกโดยผ่านทางใบพืช ซึ่งเป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ได้ให้ความสนใจ และศึกษาค้นคว้าวิจัย

เพื่อการปรับปรุงพันธุ์พืชที่สามารถทำหน้าที่พิเศษนี้ได้อย่างยอดเยี่ยม สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดด้วยวิธีนี้ เช่น ปรอท

2.3.8 Rizofiltration เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษ โดยการไ้รากพืชในการดักกรองสารมลพิษ หรือ ดูดซึมสารมลพิษในน้ำ เช่น น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำ ซึ่งวิธีนี้สามารถช่วยในการลดปริมาณกากมลพิษได้มาก ทั้งนี้เนื่องจากเฉพาะส่วนของรากพืช ที่สะสมสารมลพิษเท่านั้น ที่จำเป็นต้องบำบัดในขั้นตอนต่อไป ส่วนของใบและลำต้นที่ไม่ปนเปื้อน หลังจากการเก็บเกี่ยว ก็จะทิ้งไปหรือนำไปทำประโยชน์อย่างอื่นได้ ขึ้นกับชนิดของพืชที่นำมาใช้ในการบำบัด เช่น พืชบางชนิดมีดอกที่สวยงาม จึงสามารถเก็บดอกไปขายในช่วงเวลา ระหว่างการบำบัดได้อีกด้วย สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี โครเมียม สำหรับสารกัมมันตรังสีที่สามารถบำบัดโดยวิธีนี้ เช่น ^{137}Cs และ ^{238}U

2.3.9 สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ เป็นเทคโนโลยีใหม่ในการกำจัดโลหะหนัก ได้มีการศึกษาโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Biosurfactant) เป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาการกำจัดโลหะหนักในดิน สารลดแรงตึงผิวชีวภาพนี้ผลิตได้จากจุลินทรีย์หลายชนิดและมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ที่ใช้ในการซักล้าง (Detergent) โดยสารซักล้างทำหน้าที่ขจัดคราบไขมันจากผ้า โดยการจับตัวกันระหว่างไขมันกับสารซักล้าง (Banat, 1995) ส่วนสารลดแรงตึงผิวจะช่วยให้สารอินทรีย์และโลหะที่ปนเปื้อนหลุดออกมาจากการจับตัวกับดิน โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวจะประกอบด้วยส่วนหัวที่มีขั้วและส่วนหางที่ไม่มีขั้ว ถ้าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่ำมันจะกระจายตัวอยู่เป็น โมเลกุลเหล่านี้จะจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่าไมเซลล์ (Micelles) โดยหันส่วนหัวออกสู่ส่วนที่เป็นน้ำ ขณะที่ส่วนหางหันเข้าสู่ศูนย์กลางซึ่งไม่มีน้ำ โดยศูนย์กลางซึ่งไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic center) นี้สามารถกักหดยค่น้ำมันเอาไว้ได้จากหดยค่น้ำมันเหล่านี้สามารถที่จะย่อยสลายไปตามธรรมชาติหรือย่อยสลาย โดยการใช้แบคทีเรียช่วย แต่ในกรณีของโลหะซึ่งมักจะมีประจุเป็นบวก (Cationic) เช่น ตะกั่ว เมื่อทำปฏิกิริยากับพวกสารลดแรงตึงผิวชีวภาพประเภทประจุลบ (Anionic biosurfactant) จะเกิดพันธะไอออนิก (Ionic bond) ซึ่งพันธะนี้จะมีการยึดจับที่แข็งแรงกว่าพันธะที่เกิดระหว่างตัวโลหะกับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแล้วก็เพียงแต่สูบน้ำลงไปดินเพื่อจะล้างสารที่ปนเปื้อนออกมา (Nadarajah et al., 2001)

2.4 การดูดซับแคดเมียมในดิน

การดูดซับแคดเมียมในดินมีผลต่อการประเมินความเป็นพิษของแคดเมียม เนื่องจากความเป็นพิษของแคดเมียมไม่ได้ขึ้นกับปริมาณที่มีอยู่ในดินเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับสมมูลของปริมาณแคดเมียมในสารละลายดินและปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับไว้ ดินที่มีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมสูง มีปริมาณแคดเมียมในสารละลายดินน้อย มีผลทำให้ความเป็นพิษของแคดเมียม

น้อยลง ในทางตรงข้าม ดินที่มีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมต่ำจะมีแคดเมียมในสารละลายดินมาก ความเป็นพิษของแคดเมียมก็จะมากด้วย (พิชิต และคณะ, 2543) ดังนั้นพืชที่ปลูกในดินที่มีปริมาณแคดเมียมในสารละลายสูงหรือมีความสามารถในการดูดซับต่ำ จึงมีโอกาที่จะดูดซับแคดเมียมเข้าสู่ต้น ได้สูง

2.5 การตรึงโลหะหนักของพืช

การตรึงโลหะหนักจะสามารถลดการชะละลายและลดส่วนที่จะนำไปใช้โดยพืชผ่านกระบวนการดูดซับ, การแลกเปลี่ยนไอออน, การตกตะกอน (Tang et al., 2004) ตัวอย่างการศึกษาการเติมสารเคมีเพื่อบำบัดดิน ได้แก่ การใช้ฟอสเฟตละลาย (K_2HPO_4 , DAP) ฟอสฟอรัสบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว จะก่อให้เกิด Pyromorphite เป็นรูปซึ่งมีความสามารถในการละลายได้ต่ำและละลายได้น้อยกว่าตะกั่วที่อยู่ในดินรวมทั้ง PbO และ $PbCO_3$ (Brown et al., 2005), ขณะที่การใช้หินฟอสเฟต (Phosphate rock, PR) เป็นสารที่เติมเพื่อบำบัดดินก็ประสบความสำเร็จ แม้จะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้น้อย แต่อาจจะปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในปริมาณที่เพียงพอเพื่อบำบัดดิน, การใช้สารเคมีสังเคราะห์ Hydroxyapatite มาใช้ในภาคสนามมักไม่ค่อยเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ (Chen et al., 2006) ขณะที่การศึกษายางฉบับรายงานว่า การใช้ไฮดรอกซีอะพาทิตหรือเมแกนีสออกไซด์สามารถลดความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วละลายในดิน (Chen et al., 2000)

การเติมสารเคมีบางชนิดเพื่อตรึงโลหะหนักในดินด้วย โคลโลไมด์, ฟอสเฟต, สารอินทรีย์ลงในดินที่ปนเปื้อน สามารถลดการละลายของโลหะหนักด้วยกระบวนการตกตะกอน, การดูดซับหรือการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Chen et al., 2000)

การใช้ฟอสเฟตเพื่อตรึงโลหะหนักในดินเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดในสถานที่จริง โดยเฉพาะแคดเมียมและตะกั่ว สารประกอบฟอสเฟตของแคดเมียมและตะกั่วที่เกิดขึ้นมีความสามารถในการละลายต่ำจะถูกยึดไว้ในโครงสร้างของดิน (Hodson et al., 2001) การเติม Hydroxyapatite, หินฟอสเฟต หรือกรรพอสฟอริค ในดินหรือน้ำที่ปนเปื้อนตะกั่ว สามารถลดการละลายของตะกั่วได้โดยการเกิดเป็น Lead orthophosphate สารที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบมักถูกนำมาใช้ในภาคสนามเนื่องจากมีราคาถูกและสามารถใช้ดินที่บำบัดแล้วเพื่อการเกษตรต่อไปได้ตามปกติ การเกิดเป็น Pyromorphite นอกจากจะลดการเคลื่อนที่ของตะกั่วแล้วยังสามารถลดการนำไปใช้โดยพืชด้วย (Tang et al., 2004; Chen et al., 2005) นอกจากนี้ นักวิจัยบางคนคาดว่ามีความเกี่ยวข้องกันกับปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วและอะพาไทต์ ได้แก่ การเกิดสารประกอบตะกั่วฟอสเฟตที่มีเสถียรภาพมากขึ้น เช่น $Ca_{10-x}Pb_x(PO_4)_6(OH)_2$ ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างตะกั่วและแคลเซียมใน Hydroxyapatite lattice และการละลายของหินฟอสเฟตหรือ Hydroxyapatite ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) แล้วตามด้วยกระบวนการตกตะกอน Pyromorphite-like

mineral ($Pb_{10}(PO_4)_6X_2$ เมื่อ $X = OH^-, Cl^-, F^-$, etc) หรือ Hydroxypyromorphite เป็นกลไกหลัก (Chen et al., 2005; Adriano et al., 2004)

สารเคมีชนิดอื่นๆ ที่สามารถลดการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักด้วยกระบวนการดูดซับ ได้แก่ เหล็กออกไซด์ สามารถลดตะกั่วและอาร์เซนิกที่จะถูกชะออกมา, โคลนแดง ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอลูมิเนียม ได้ลดยางจากเครื่องกำเนิดฝุ่นแบบไซโคลน และสลัดจ์จากระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการลดการชะของโลหะหนักออกมา และลดส่วนที่พืชจะนำไปใช้ เนื่องจากองค์ประกอบที่มีอลูมิเนียมและเหล็กออกไซด์ปริมาณสูง, ปุ๋ยคอกที่มีเหล็กปริมาณสูง สามารถลดการนำตะกั่วไปใช้โดยพืช เช่นเดียวกับสังกะสีและแคลเซียม (Brown et al., 2005) กลไกที่สำคัญในการตรึงโลหะหนักยังคงยากที่จะอธิบายได้ชัดเจน แม้ว่ากลไกที่ถูกเสนอจะอยู่บนพื้นฐานของกระบวนการดูดซับบนพื้นผิวและตามด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนของแคลเซียม งานวิจัยส่วนมากเสนอแนะว่าการละลายของสารประกอบฟอสเฟต ปล่อยไอออนลบของฟอสเฟต ออกมาแล้วเกิดกระบวนการตกตะกอนในรูปของแข็งซึ่งมีค่าความสามารถในการละลายต่ำและมีเสถียรภาพสูงกว่า (Raicevic et al., 2005)

สารเคมีสามารถตรึงโลหะหนักได้จาก 1) ความเป็นต่างจากการละลายของสารเคมีต่อดินที่เป็นกรด ทำให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งประกอบด้วยโลหะหนัก เช่น โลหะฟอสเฟต, โลหะคาร์บอเนต เป็นองค์ประกอบหลัก หรือการตกตะกอนร่วมในไฮดรอกไซด์เป็นองค์ประกอบรอง 2) การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นด่าง สนับสนุนการดูดซับของโลหะหนักผ่านกระบวนการ Surface complexation ซึ่งปกติบนผิวของแร่จะมีประจุเป็นบวกในสภาวะที่ pH ต่ำ เนื่องจากการดูดติดกับโปรตอน และต้องการประจุลบ เมื่อ pH สูงขึ้นนำไปสู่การ Deprotonation ของพื้นผิว ดังนั้นเมื่อ pH สูงขึ้น ไอออนบวกจึงก่อรูปเป็นสารประกอบที่มีเสถียรภาพกับไอออนลบบนพื้นผิว อนุภาคดินเหนียวในดินตามธรรมชาติจะแสดงให้เห็นกระบวนการ Surface complexation เนื่องจากมีพื้นผิวจำเพาะที่สูง อย่างไรก็ตาม ไอออนลบของอาร์เซนิกในสารละลาย ก็อาจถูกตรึงด้วยเมื่อ pH สูงขึ้นจากการเติมสารเคมีที่ใช้บำบัด 3) การตรึงโลหะหนักจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน เช่น ซีโอไลต์ ซึ่งเป็นผลึกของ Aluminium-silicates มีธาตุหมู่ 1 และ 2 เป็น Counter ion เป็นโครงข่ายกรวยสามเหลี่ยมของ $[SiO_4]^-$ และ $[AlO_4]^-$ และยึดติดุมด้วยการแชร์ออกซิเจน การแทนที่ของซิลิกา ด้วยอลูมิเนียมทำให้เกิดประจุลบในโครงสร้างซึ่งอาจมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity, CEC) มีค่าสูง การดูดซับโลหะหนักบน Hydroxyapatite ได้แก่ Cd, Cu, Ni, Sr และ Zn ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของแคลเซียมบนอนุภาคของ Apatite ในดิน การตกตะกอนในรูปของโลหะฟอสเฟตเป็นกลไกหลักในการตรึงโลหะหนัก ซึ่งมีความสามารถในการละลายต่ำในช่วง pH ที่กว้าง ทำให้การใช้ฟอสเฟตในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักเป็นเทคโนโลยีที่ได้เปรียบในการบำบัดโลหะหนักในดิน (Adriano et al., 2004)

การใช้สารประกอบฟอสเฟตที่มีความสามารถในการละลายสูง เช่น Diammonium phosphate (DAP อัตรา 2,300 มก. P/กก.) มีประสิทธิภาพสูงในการตรึงแคลเซียม, ตะกั่ว และสังกะสี ในดิน โดยการทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะฟอสเฟต (Adriano et al., 2004) แต่การเติมสารประกอบฟอสเฟตในรูปที่มีความสามารถในการละลายสูงมักเสี่ยงต่อการเกิดกระบวนการ Eutrophication หากใส่ในปริมาณมาก (Chen et al., 2000) งานวิจัยอื่นแสดงให้เห็นว่า สารประกอบฟอสเฟตในรูปที่มีความสามารถในการละลายสูง เช่น เกลือฟอสเฟต มีศักยภาพในการก่อให้เกิด Lead pyromorphite กว่า การใช้หินฟอสเฟต, การใช้สารเคมีในรูป Na_2HPO_4 และ Pyrophosphate มีประสิทธิภาพสูงในการตกตะกอนและเพิ่มการดูดซับของตะกั่วและสังกะสี, ปุ๋ยในรูปของแคลเซียมและอลูมิเนียมฟอสเฟต เป็นสารเคมีที่มีศักยภาพเป็นไปได้ในการนำมาบำบัดดิน เนื่องจากหาได้ง่ายและมีปริมาณมาก (Basta and McGowen, 2004)

การใช้ปูนขาวอีกเป็นวิธีใช้อย่างกว้างขวางในการบำบัดดิน pH ที่สูงขึ้นเป็นผลจากการปล่อย Hydroxyl ion จากการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะในรูปของโลหะคาร์บอเนต ลดการนำไปใช้หรือการดูดซับโดยพืช (Lee et al., 2004) สารที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์, แคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนต สามารถลดการละลายได้ของโลหะหนักและเพื่อความเป็นด่างให้แก่ดิน พร้อมกับการเพิ่มความสามารถในการดูดซับของอนุภาคดิน (Basta and McGowen, 2004) ตารางที่ 3 แสดงค่าคงที่ทางเทอร์โมไดนามิกของการละลายได้ของ แคลเซียม, ตะกั่ว และสังกะสี และปฏิกิริยาการละลาย แคลเซียมฟอสเฟต, มีค่า $\text{Log } K_{sp}$ ต่ำที่สุดเป็น -38.1, Lead chloropyromorphite มีค่า $\text{Log } K_{sp}$ ต่ำที่สุดเป็น -76.8 และ Zinc pyromorphite มีค่า $\text{Log } K_{sp}$ ต่ำที่สุดเป็น -63.1 ตามลำดับ

2.5.1 กลไกการตรึงโลหะหนักในดิน

ไอออนของโลหะหนักจะถูกตรึงให้อยู่ในดินด้วยปฏิกิริยา การดูดซับ, การตกตะกอน, การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน การดูดซับเป็นกระบวนการสะสมของไอออนของโลหะบริเวณผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว ซึ่งอาจรวมถึงการแลกเปลี่ยนไอออน, การก่อตัวเป็นผิวเชิงซ้อน, การตกตะกอน และการแพร่ (Adriano et al., 2004)

การดูดซับ (Absorption) ไอออนในสารละลายจะดูดติดกับไอออนบนผิวของดินด้วยแรงเหนี่ยวทางไฟฟ้าสถิตย์ การดูดติดของไอออนในสารละลายด้วยประจุบนผิวสามารถแบ่งออกเป็น การดูดซับจำเพาะ (Specific adsorption) และการดูดซับไม่จำเพาะ (Nonspecific retention) โดยทั่วไปการดูดซับไม่จำเพาะ คือ กระบวนการที่ประจุบนไอออนถูกทำให้เป็นกลางด้วยประจุบนอนุภาคดิน โดยแรงยึดเหนี่ยวทางไฟฟ้าสถิต ขณะที่การดูดซับจำเพาะ หมายถึง พันธะทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างไอออนและพื้นผิวดูดซับบนผิวดิน ซึ่งนอกจากการดูดซับ ไม่จำเพาะแล้ว ยังมีกระบวนการอื่นที่เกี่ยวข้องกับการตรึงของโลหะหนักในดิน ได้แก่ การตกตะกอน และการเกิดเป็นสารเชิงซ้อน

สมบัติของดินและองค์ประกอบของสารละลายในดิน มีผลต่อสมดุลของโลหะระหว่างสารละลายและของแข็ง ความเข้มข้นของโลหะในสารละลายขึ้นกับ pH, สารอินทรีย์ และอิออนลบของสารอินทรีย์ ตามธรรมชาติ (Adriano et al., 2004)

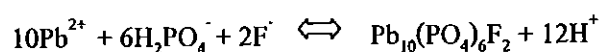
การเกิดสารเชิงซ้อน (Complexation) งานศึกษาจำนวนมากพบว่า อิออนลบเชิงซ้อนมีผลต่อการดูดซับของโลหะหนักในดิน เช่น คลอไรด์ ในสารละลายสามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับแคดเมียม เป็น $CdCl^+$ ซึ่งส่งผลทำให้การดูดซับของแคดเมียมบนอนุภาคดินลดลง

ในทางตรงกันข้ามกับ แคดเมียมสามารถดูดติดกับ Kaolinite ได้มากขึ้นหากมีสารอินทรีย์เนื่องจากสารอินทรีย์สามารถดูดติดอยู่บนผิวของดินเหนียว สารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของดินจะมีลิแกนด์ที่สามารถจับกับโลหะหนัก เมื่อ pH สูงขึ้น หมู่ฟังก์ชัน Carboxyl, Phenolic, Alcoholic และ Carbonyl ของสารอินทรีย์ในดินจะมีความชอบในการจับกับอิออนของโลหะหนักสูงขึ้นตามลำดับ $Cu^{2+} > Cd^{2+} > Fe^{2+} > Pb^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Mn^{2+} > Zn^{2+}$ (Adriano et al., 2004)

การตกตะกอน (Precipitation) กระบวนการตกตะกอน ดูเหมือนจะเป็นกระบวนการที่มีอำนาจเหนือกว่ากระบวนการอื่น ในดินที่เป็นด่าง และมีอิออนลบ เช่น ซัลเฟต, คาร์บอเนต, ไฮดรอกไซด์ และฟอสเฟต โดยเฉพาะที่มีโลหะหนักความเข้มข้นสูง การตกตะกอนร่วมของโลหะหนัก โดยเฉพาะที่มี Ion oxyhydroxide ก็สามารถเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกัน เช่นเดียวกับ การตกตะกอนของโลหะฟอสเฟต

การใช้ปูนขาวมักสนับสนุนให้เกิดการตรึงของโลหะหนัก เช่น ทำให้ดินที่ถูกบำบัดมี pH สูงขึ้นประมาณ 7.18 – 8.04 ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนของโครเมียม (Cr^{3+}) ในรูป $Cr(OH)_3$, การเพิ่มขึ้นของ pH มักจะส่งผลให้ประจุลบของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งสนับสนุนต่อการดูดซับของโครเมียม (Adriano et al., 2004)

Ma et al. (1995) เสนอว่า ตะกั่วถูกตรึงด้วย Hydroxyapatite เป็นผลมาจากการละลายของหินฟอสเฟต ตามด้วยการตกตะกอนของ Pyromorphite – like mineral ($Pb_{10}(PO_4)_6X_2X=OH^-, Cl^-, F^-$) เป็นกลไกหลัก ตัวอย่างดังสมการข้างล่าง (Cao et al., 2004)



การแลกเปลี่ยน (Ion Exchange) การตรึงของตะกั่วเป็นผลมาจากการเกิดเป็นสารประกอบตะกั่วฟอสเฟต เช่น $Cd_{(10-x)}Pb_x(PO_4)_6(OH)_2$ ผ่านทางกระบวนการแลกเปลี่ยนอิออน โดยที่อิออนของตะกั่วเข้าไปแลกเปลี่ยนกับแคลเซียมใน Hydroxyapatite (Cao et al., 2004)

2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับแคดเมียมในดินและการดึงดูของพืช

2.6.1 ความเป็นกรด-ด่างของดิน

พิชิตและคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาการดูดซับแคดเมียมในดิน พบว่า เมื่อดินมีพีเอชสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของดินจะเพิ่มขึ้น การที่ดินมีความสามารถดูดซับแคดเมียมได้มากจะทำให้พืชสามารถดูดดึงแคดเมียมได้น้อยลง เช่น ดินที่มีพีเอชต่างกัน ดินที่เป็นกรด ทำให้พืชเจริญเติบโตได้น้อยกว่าดินที่เป็นกลาง แต่ปริมาณแคดเมียมในพืชที่ปลูกในดินที่เป็นกรดจะสูงกว่าในดินที่เป็นกลาง (Lehoczy, E. et al., 1997)

2.6.2 อิทธิพลของโลหะหนักและธาตุอื่นๆ

ลักษณะของปฏิกริยาร่วมระหว่างโลหะหนักด้วยกันมี 2 อย่าง คือ การแก่งแย่ง (Antagonism) และการดูดยึดด้วยกัน (Synergism) (ทัศนีย์, 2543) ปฏิกริยาการแก่งแย่ง หรือการดูดยึดด้วยกันของโลหะและธาตุอื่นๆ มีอิทธิพลต่อการละลายในดิน การดูดดึงและการเคลื่อนย้ายแคดเมียมของพืช เช่น Yanshan, C. et al. (2004) ได้รายงานไว้ว่า เมื่อมีการใส่กำมะถันในดินที่มีการปนเปื้อน ทำให้พืชดูดดึงแคดเมียมได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ แคลเซียมและสังกะสีที่มีอยู่ในดินจะลดการดูดดึงแคดเมียมของพืช (อรวรรม, 2522) Davies (1980) ศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณแคดเมียมในใบและรากของข้าวโพดเพิ่มขึ้น ปริมาณสังกะสีจะลดลง และหากปริมาณเหล็กในใบและรากของข้าวโพดสูงขึ้น ปริมาณแคดเมียมจะเพิ่มขึ้นด้วย

2.6.3 ชนิดและส่วนต่างๆของพืช

ปริมาณโลหะหนักในพืชจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ ดินที่ปลูก ชนิดพืช ส่วนของพืช และอายุพืช พืชแต่ละชนิดจะสะสมโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้ต่างกัน ตัวอย่างเช่น ผักกาดขาวสามารถสะสมแคดเมียมไว้ในต้น ได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผักคะน้าและผักกวางตุ้ง (บุปผา , 2527) ในการศึกษาการสะสมโลหะหนักในส่วนต่างๆของพืช ทัศนีย์ (2543) ได้อ้างถึงผลงานของ Takekawa (1978) ที่ว่าแคดเมียมจะสะสมอยู่ในรากข้าวมากที่สุด รองลงมาเป็นกาบใบ ลำต้น และใบ และมีการสะสมน้อยที่สุดในข้าวกล้อง นอกจากนี้ Pepper et al. (1983) รายงานว่า ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในข้าวโพดจะมีปริมาณลดหลั่นกันไปด้วยนี้ ใบ > ต้น > ผัก

2.7 ผักกาดเขียวปลี (Mustard green)

เป็นพืชในตระกูลเดียวกับกะหล่ำปลี กะหล่ำดอกและคะน้า เป็นผักอายุปีเดียวอายุการเก็บเกี่ยว 55-75 วัน ก้านและใบสีเขียว อ่อนกรอบ โคนก้านยึดติดกับรากและพื้นดินปลีสีเขียวอ่อนมีใบอ่อนหุ้มม้วนอยู่โดยรอบ สามารถปลูกได้ตลอดปีในประเทศไทยจะปลูกมากในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะ ในจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ตาก น่าน นครราชสีมา และในเขตภาคตะวันตก คือ กาญจนบุรีผักกาดเขียวปลีเป็นผักที่ไม่นิยมบริโภคสด จะนิยมนำมาคองใน

ระยะแรกจะเป็นการครองในระดับครอบครัว ในประเทศไทยจึงมีการนิยมมาก ทำให้เกษตรกรเพิ่มพื้นที่ปลูกมากขึ้น ผักกาดเขียวปลีสามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมที่สุดคือ ดินร่วนซุย โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินน้ำไหลทรายมูลสภาพของดินเป็นกลาง แปลงปลูกควรได้รับแสงแดดเต็มที่ ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 15-20 องศาเซลเซียส

พันธุ์ผักกาดเขียวที่นิยมส่วนใหญ่ก็นำมาจากประเทศจีนและไต้หวัน เช่น มรกต 90 ผลผลิตต่อไร่สูง หัวขนาดสม่ำเสมอ หัวแน่น อายุเก็บเกี่ยว 50-60 วัน หลังย้ายปลูก ระยะปลูกนิยมใช้หัววาน โดยหัววานให้สม่ำเสมอ ถอนแยกให้ต้นห่างกันประมาณ 20 เซนติเมตร การเตรียมดินให้ไถดินลึกประมาณ 20-30 เซนติเมตร ตากดินไว้ 7-10 วัน ย่อยดินให้ละเอียด ผสมปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก อัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ให้เข้ากันเรียบร้อยแล้วปรับหน้าดินให้เรียบ ยกแปลงให้สูงประมาณ 20 เซนติเมตร กว้าง 1.20 เมตร ส่วนการปลูกแบบหัววานเมล็ดโดยตรง นิยมใช้ในการปลูกแบบยกร่อง ดังนั้นก่อนหัววานเมล็ดควรผสมกับทรายเสียก่อน โดยเมล็ดพันธุ์ 1 ส่วน ผสมกับทรายละเอียด 3 ส่วน แล้วหัววานให้กระจายทั่วแปลง จากนั้นคลุมฟาง รดน้ำตามให้ชุ่ม โดยใช้เมล็ดพันธุ์ 2 กิโลกรัม / ไร่ เมื่อต้นกล้าอายุได้ 15-20 วัน จึงแยกให้มีระยะห่างตามกำหนด ส่วนการดูแลรักษาและการให้น้ำผักกาดเขียวปลี เนื่องจากผักกาดเขียวปลีเป็นผักที่ต้องการน้ำมาก มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นต้องให้น้ำอย่างเพียงพอและสม่ำเสมออย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง โดยใช้ระบบพ่นฝอยหรือใช้สายยางฉีดหัวผักบัวรดอย่าให้ขาดน้ำในระยะการเจริญเติบโต เพราะจะทำให้ชะงักการเจริญเติบโต การใส่ปุ๋ยผักกาดเขียวปลีเป็นผักกินใบและก้านใบ ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) หรือแอม โมเนียซัลเฟต (21-0-0) อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อกล้าเจริญเติบโตได้ 10 วัน เพื่อเร่งการเจริญเติบโตทางใบและก้านใบให้เร็วขึ้น หรือใช้ปุ๋ยสูตร 20-11-11 หรือสูตร 15-15-15 หรือใกล้เคียงใส่ครั้งที่ 2 เมื่อกล้าอายุ 17 วันในอัตรา 30-50 กิโลกรัม/ไร่ หลังจากใส่ปุ๋ยทุกครั้งควรมีการรดน้ำตามทันทีอย่าให้ปุ๋ยตกค้าง

การป้องกันโรคและการกำจัดศัตรูพืช การพรวนดินและการกำจัดวัชพืช ควรทำในระยะแรกๆ พร้อมกับการถอนแยก โรคที่เกิดขึ้นกับผักกาดเขียวปลีเช่น a) โรคเหี่ยว โดยผักจะเกิดอาการใบร่วงเหลืองเริ่มเหี่ยว จนเหี่ยวทั้งต้นไม่ควรปลูกพืชซ้ำกัน b) โรคราน้ำค้างป้องกันกำจัดโดยคลุกเมล็ดด้วยสารเมทาแลคซิล ในอัตรา 7 กรัมต่อเมล็ด 1 กิโลกรัม เก็บใบล่างที่แสดงอาการของโรคออก c) โรคเน่าคอดิน สามารถป้องกันและกำจัดโดยแปลงปลูกควรมีการระบายน้ำที่ดีไม่ควรหัววานเมล็ดผักแน่นเกินไป ใช้ยาป้องกันกำจัดเชื้อรา ละลายน้ำราดลงไปบนผิวดินให้ทั่วแปลง 2-3 ครั้งเช่น พวคสารเทอราโคล เบนฟอร์ด ส่วนศัตรูพืชจำพวกแมลง เช่น เพลี้ยอ่อน สามารถป้องกันและกำจัดโดยใช้สารเคมีกลุ่มมาลาไธออน เช่นมาลาเทน มาลาไธออน 83% ในอัตรา 30-50 ซีซี/น้ำ 20 ลิตรพ่น 2 ครั้งเพลี้ยอ่อน แต่ละครั้งห่างกัน 7 วัน และหนอนไขผัก ป้องกันและกำจัดโดยใช้สารเคมีกำจัดด้วงหนอนโดยตรง การใช้เชื้อแบคทีเรียบาซิลลัสทรูรินเจนซัลทำลาย และหมั่นตรวจดูแลแปลงอยู่เสมอ เมื่อพบด้วงหนอนควรรีบทำลายทันที

การเก็บเกี่ยว ผักกาดเขียวปลีมีอายุการเก็บเกี่ยว ประมาณ 45-55 วัน เมื่อเก็บเกี่ยวให้สังเกต ใบนอกจะเริ่มแข็งและเข้าปลีแน่นสมควรตัดก่อนปลีจะคลายความแน่น ตัดให้โคนต้นเสมอกันแล้ว เอาออกมาลอกใบ ไม่ควรตัดใบออกมากเกินไป

2.8 เถ้าลอย (Fly Ash)

เป็นวัสดุพลอยได้จากการเผาถ่านหินที่อุณหภูมิสูงระหว่าง 900 - 1,100 °C เมื่อไอร้อนลอยขึ้นไป และเกิดการถ่ายเทความร้อน จนไอร้อนเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ละอองเถ้าซึ่งเป็นของแข็งที่เหลืออยู่ จะรวมตัวกันก่อรูป เป็นอนุภาคเล็กๆ มีพื้นฐานเป็นทรงกลม ความกลมและขนาดเล็ก และเถ้าลอยมีลักษณะเป็นอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.5 – 100 ไมโครเมตรประกอบด้วย ซิลิกาไดออกไซด์ (SiO₂) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) และเหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃) ดังนั้นจึงเป็นแหล่งอะลูมิเนียมและซิลิกอนที่ดี นอกจากนี้ยังมี Mg, Ti, Na, K, S และ P เป็นต้น นอกจากนี้ ชั้นคุณภาพการใช้เถ้าลอย ตามมาตรฐาน ASTM แบ่งได้เป็น 2 Class ดังนี้ Class F จะต้องมีอนุภาคเล็กกว่า 5 ไมครอน ร้อยละ 90, Class C จะต้องมีอนุภาค เล็กกว่า 5 ไมครอน ร้อยละ 93 ขึ้นไปดังตารางที่ 2.1 ประโยชน์ของเถ้าลอยก็ยังเป็นเชื้อเพลิงสำหรับต้มน้ำ โรงงานผลิตไฟฟ้า, โรงงานกระดาษและโรงงานที่ต้องการไอน้ำในการผลิตอื่นๆ ในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่มักได้เถ้าลอยจากโรงงานผลิตไฟฟ้า และ โรงงานกระดาษ โดยทั่วไปคุณสมบัติเถ้าลอยจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามปัจจัยดังนี้เช่น ชนิดของถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้แก่ ถ่านหินพีท (Peat) ถ่านหินลิกไนต์ (Lignite) ถ่านหิน สับ ไบทูมินัส (Subbituminus) ถ่านหินไบทูมินัส (Bituminus) ถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) เป็นต้นประโยชน์ของถ่านหินนั้นในประเทศไทยนิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตหรือลดต้นทุนสิ่งก่อสร้างได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 2.1 ร้อยละองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยถ่านหิน

| | Class F | Class F | Class C | Class C |
|--------------------------------|----------|-----------|-----------|----------|
| | Low - Fe | High - Fe | High - Ca | Low - Ca |
| SiO ₂ | 46-57 | 42-54 | 25-42 | 46-59 |
| Al ₂ O ₃ | 18- 29 | 16.5-24 | 15-21 | 14-22 |
| Fe ₂ O ₃ | 16/06 | 16-24 | 50-10 | 13/05 |
| CaO | 1.8-5.5 | 1.3-3.8 | 17-32 | 16/08 |
| MgO | 0.7-2.1 | 0.3-1.2 | 4-12.5 | 3.2-4.9 |
| K ₂ O | 1.9-2.8 | 2.1-2.7 | 0.3-1.6 | 0.6-1.1 |
| Na ₂ O | 0.2-1.1 | 0.2-0.9 | 0.8-6.0 | 1.3-4.2 |
| SO ₃ | 0.4-2.9 | 0.5-1.8 | 0.4-5.0 | 0.4-2.5 |
| LOI | 0.6-4.8 | 1.2-5.0 | 0.1-1.0 | 0.1-2.3 |
| TiO ₂ | 1-2 | 1-1.5 | <1 | <1 |

2.9 หินฟอสเฟต (Phosphate Rock)

หินฟอสเฟตเป็นสินแร่ตามธรรมชาติที่มีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีธาตุอื่นๆ ปนอยู่ในปริมาณแตกต่างกัน เช่น โปแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก แมงกานีส หินฟอสเฟตส่วนใหญ่อยู่ในแร่อะพาไทต์ โดยจะเกิดอยู่ในลักษณะผลึกเล็กๆ หรือไม่เป็นผลึก เรียกว่า คอลลโลเฟน (Collophane) คุณสมบัติทางกายภาพความถ่วงจำเพาะ 3.15 – 3.20 ความแข็ง 5 สีมัลหลายสี เช่น เขียว น้ำเงิน น้ำตาล เหลือง ม่วง หรือขาว เป็นต้น หินฟอสเฟตมีความสำคัญในทางการเกษตรมาก เนื่องจากหินฟอสเฟตมีธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืชเป็นองค์ประกอบอยู่ จึงเหมาะสำหรับนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีฟอสเฟตในทางอุตสาหกรรม และนำมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง แต่การนำฟอสเฟตมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงมีประสิทธิภาพในการใช้ต่ำ และมีขอบเขตเงื่อนไขการใช้ที่จำกัดมาก กล่าวคือ ในหินฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงประมาณ 8 – 18% แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาและพืชสามารถนำไปใช้ได้เพียง 1 – 2% เท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอ กับความต้องการของพืช หากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายของหินฟอสเฟตให้มากขึ้น จะเป็นการช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืช

องค์ประกอบของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟต (Phosphate rock) หินฟอสเฟตเกิดจากการสะสมตัวของแร่ฟอสเฟต ฟอสเฟตหรือฟอสฟอไรต์ (Phosphate or Phosphorite) เป็นคำที่มีความหมายเหมือนกันกล่าวคือ เป็นกลุ่มของแร่ที่มีอนุโมลกรดฟอสฟอริก (PO₄)₃ เป็นองค์ประกอบ เช่น แร่อะพาไทต์ เป็นต้น หินฟอสเฟตที่ประกอบด้วยแร่อะพาไทต์ (Apatite) มีอยู่ 3 ชนิด ซึ่งอยู่ใน

รูปของผลึกแบบสมสัณฐาน (Isomorphous) ถือเป็นผลึกที่มีโครงสร้างเหมือนกันแต่มีสูตรเคมีต่างกัน ได้แก่ ฟลูอออะพาไทต์ (Fluorapatite : $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), คลออะพาไทต์ (Chlorapatite : $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$), ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite : $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) หินฟอสเฟตส่วนใหญ่มักพบแร่คาร์บอนेटฟลูอออะพาไทต์เป็นองค์ประกอบแร่อะพาไทต์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อของแร่แฟรงโคไลต์ (Francolite) ซึ่งเป็นวัตถุดิบพื้นฐานของสารประกอบที่มีแร่ธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นที่ต้องการต่อวงการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาก เมื่อพบแร่ที่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนแร่อะพาไทต์แต่ไม่สามารถระบุชื่อให้ชัดเจนได้เรียกชื่อว่าแร่คอลโลเฟน (Collophane) ธาตุแคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส หรือ อนุมูลฟอสเฟตและธาตุฟลูออรีนอาจถูกแทนโดยธาตุอื่นได้

2.10 ระดับมาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนัก

ระดับมาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักในดินที่ยอมรับได้ (Maximum permitted concentration) คือ ค่ากำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของโลหะหนักที่อนุญาตให้มีปริมาณสูงสุดในดินและวัสดุที่ใช้เพื่อปรับปรุงดินในการเกษตรรวมทั้งปริมาณสะสมหรือตกค้างที่พบในดินหลังการใช้วัสดุดังกล่าว ซึ่งในประเทศที่พัฒนาแล้วหลาย ๆ ประเทศ เช่น สมาชิกสหภาพยุโรป เยอรมัน ออสเตรเลีย อังกฤษ แคนาดา สหรัฐอเมริกา และ ญี่ปุ่น มีค่ากำหนดระดับมาตรฐานของโลหะหนักในดินของแต่ละประเทศแตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

พิชิต และ สุรสิทธิ์ (2542) ได้ทำการประเมินและกำหนดระดับเกณฑ์พื้นฐาน (Background levels) หรือ ระดับตรวจสอบ (Investigation levels) ของการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินประเทศไทย ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่นำมาใช้ประเมินการปนเปื้อนระยะแรก บ่งชี้ถึงอันตรายที่เกิดในระดับความเข้มข้นที่ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษในสภาพแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อมนุษย์ โดยสำรวจและเก็บตัวอย่างดินชั้นบนในพื้นที่ทำการเกษตรและแปลงทดลองปุ๋ยระยะยาวในทุกภาคของประเทศไทย จำนวน 318 ตัวอย่าง กำหนดโดยค่าความเข้มข้นที่ 95 เปอร์เซ็นไทล์ เป็นระดับเกณฑ์พื้นฐานความเข้มข้นของสังกะสี แคลเซียม และตะกั่ว ในดินของประเทศไทย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 70, 0.15 และ 55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของ โลหะหนักในดินที่ยอมรับได้ในบางประเทศ

| ประเทศ | ระดับมาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของธาตุโลหะหนัก ในดินที่ยอมรับได้ในบางประเทศ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) | | |
|----------------------|--|----------|--------|
| | สังกะสี | แคดเมียม | ตะกั่ว |
| กลุ่มสหภาพยุโรป (EU) | 300 | 3 | 100 |
| อังกฤษ | 280 | 1-3 | 35 |
| เยอรมัน | 300 | 3 | 50 |
| ฮอลแลนด์ | 200-500 | 1-5 | 50-150 |
| ญี่ปุ่น | 150 | - | 400 |

ที่มา : ปริคา และคณะ (2541) และทัศนีย์ (2543)



2.11 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

| ดัชนีคุณภาพดิน | หน่วย | ค่ามาตรฐาน | วิธีการตรวจวัด |
|---|------------------------|--------------------|--|
| 1) สารหนู (Arsenic) | มิลลิกรัม/ กิโลกรัม | ต้องไม่เกิน 3.9 | ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ |
| 2) แคดเมียมและ สารประกอบ แคดเมียม (Cadmium and compounds) | มิลลิกรัม/ กิโลกรัม | ต้องไม่เกิน 37 | ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ |
| 3) โครเมียมชนิด เฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium) | มิลลิกรัม/ กิโลกรัม | ต้องไม่เกิน 300 | ใช้วิธี Coprecipitation หรือวิธี Colorimetric หรือวิธี Chelation/Extraction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ |
| 4) ตะกั่ว (Lead) | มิลลิกรัม/ กิโลกรัม | ต้องไม่เกิน 400 | ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ |

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (ต่อ)

| ดัชนีคุณภาพดิน | หน่วย | ค่ามาตรฐาน | วิธีการตรวจวัด |
|---|--------------------|-------------------|--|
| 5) แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส (Manganese and compounds) | มิลลิกรัม/กิโลกรัม | ต้องไม่เกิน 1,800 | ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ |
| 6) พรอทและสารประกอบพรอท (Mercury and compounds) | มิลลิกรัม/กิโลกรัม | ต้องไม่เกิน 23 | ให้ใช้วิธี Cold-Vapor Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ |
| 7) นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, soluble salts) | มิลลิกรัม/กิโลกรัม | ต้องไม่เกิน 1,600 | ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ |
| 8) ซีลีเนียม (Selenium) | มิลลิกรัม/กิโลกรัม | ต้องไม่เกิน 390 | ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ |

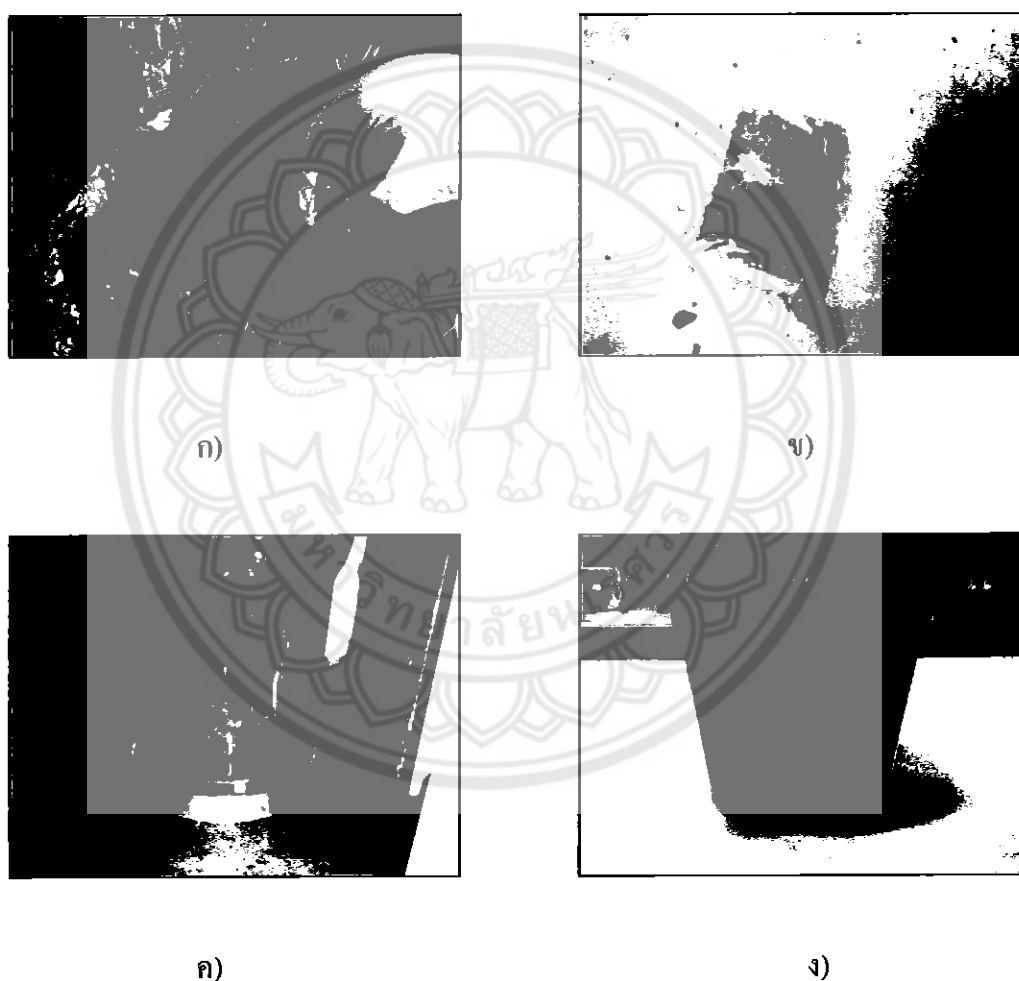
ที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ดัชนีพื้ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

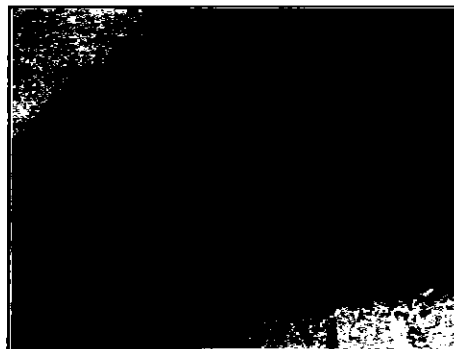
โครงการเพื่อศึกษาผลการบำบัดดินปนเปื้อนของแคดเมียมโดยวิธีทางเคมีโดยใช้ถ้ำลอย และหินฟอสเฟต ต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำการทดลองอาคารปฏิบัติการโยธา โดยมีวัสดุอุปกรณ์ดังนี้



รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ เลือกจุดเก็บตัวอย่างดินและเก็บตัวอย่างดิน ทำการเก็บตัวอย่างดินในแนวตั้งที่ดินที่ระดับความลึก 0–15 cm. มีขนาดของความกว้าง: ความยาวที่ 1:1 m ดังรูป ก), เมล็ดพันธุ์ผักกาดขาวปลีพันธุ์ *Juncea* (L.), Czern. ดังรูป ข), แคดเมียมไนเตรท (Cd (NO₃)₂·4H₂O) Lab grade จากบริษัทเวชภัณฑ์ เคมีภัณฑ์ ดังรูป ค), กระจ่างพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 นิ้วที่ใช้ในการปลูกผักกาดเขียวปลีดังรูป ง)



ก) เถ้าลอย



ข) หินฟอสเฟต

รูปที่ 3.2 เถ้าลอยดำนหิน (Fly Ash) เก็บตัวอย่างมาจาก โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ดังรูป ก), หินฟอสเฟต (Phosphate rock) นำมาจาก โรงงานปุ๋ยในท้องถิ่น ดังรูป ข)



เครื่องชั่งสารความละเอียดตำแหน่ง



เตาให้ความร้อน (Hot plate)

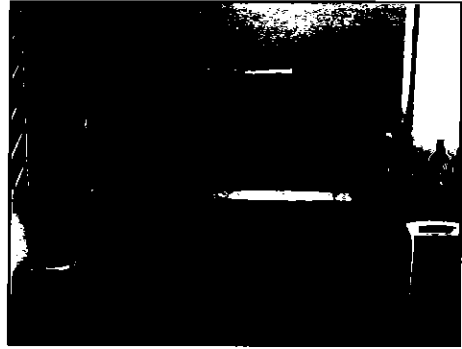
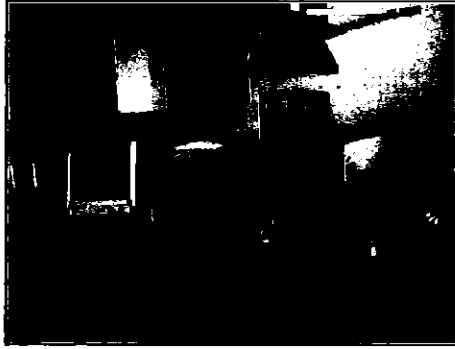


ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (Oven)



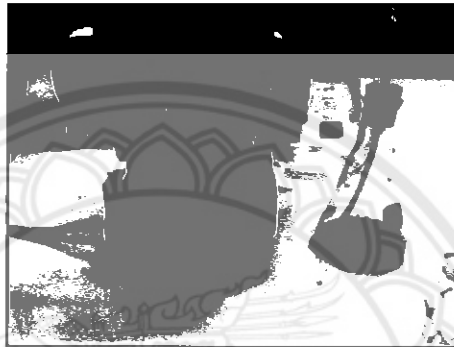
pH meter

รูปที่ 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ



Atomic absorption spectrophotometer

ตู้ดูดควัน



เครื่องดูดสูญญากาศ (Vacuum pump)

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ

3.1.6. สารเคมีและวัสดุวิทยาศาสตร์

- $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- HNO_3
- HCl
- กระดาษกรอง Whatman No.42
- เครื่องแก้ว

15507352

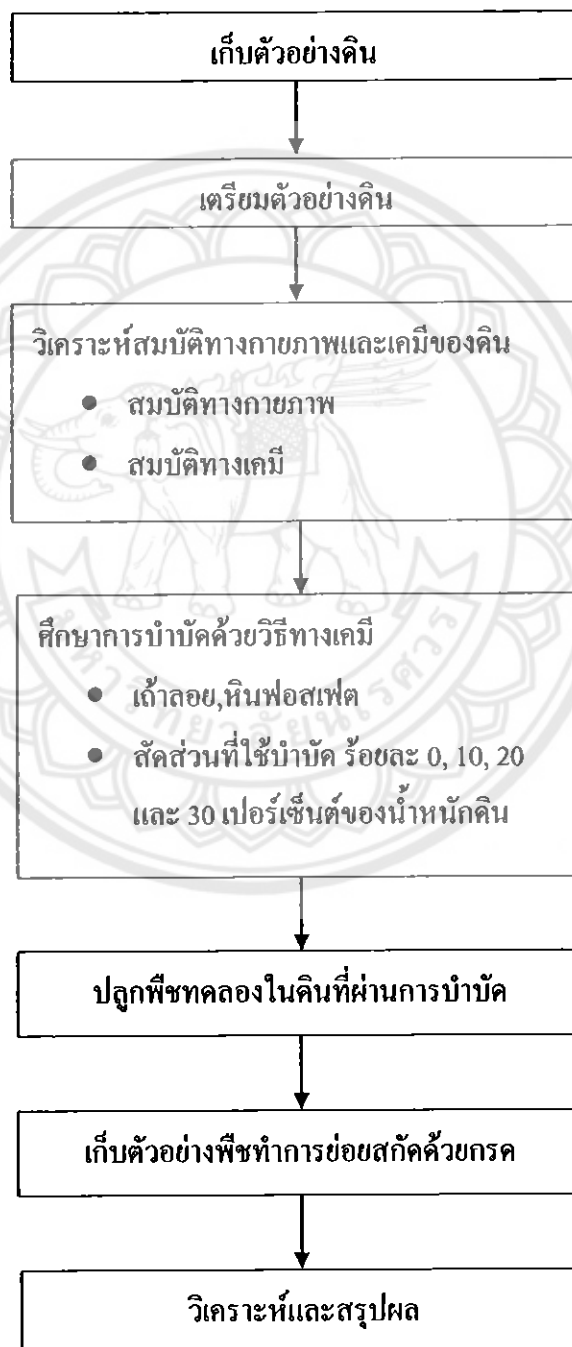
ร.ร.

๗๔๔๓๖

๒๕๕๓

3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

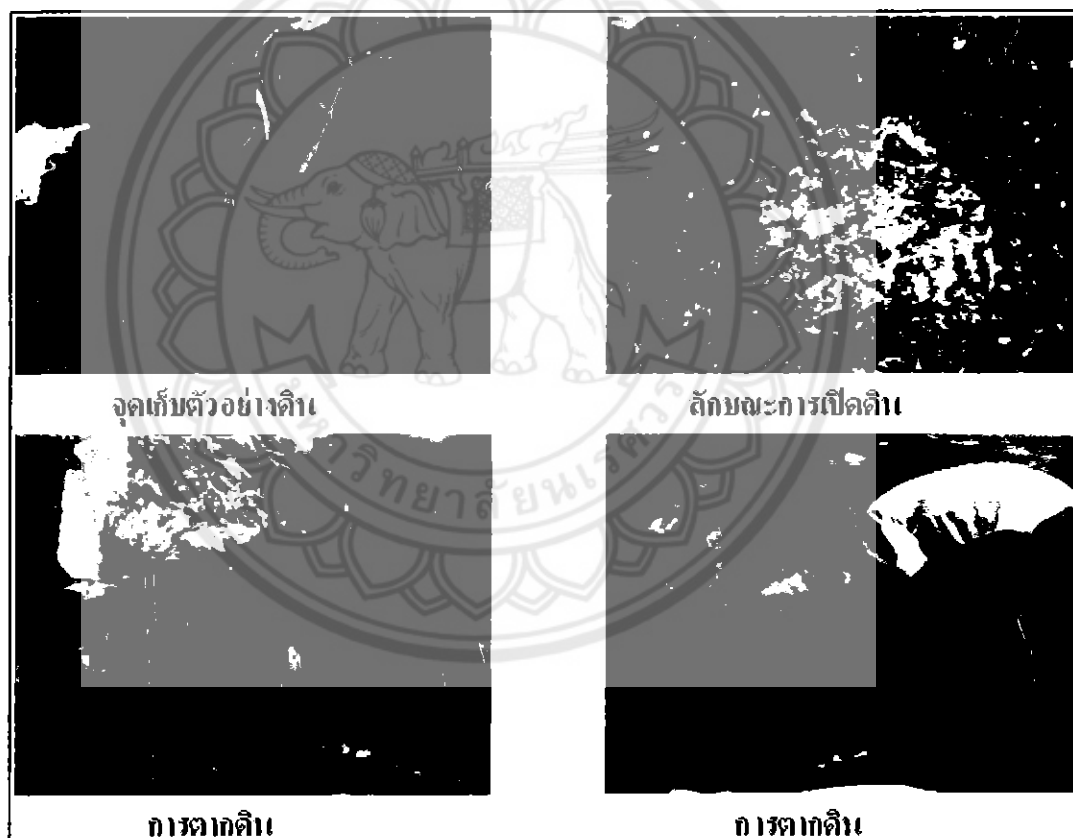
การศึกษาการลดการดูดซึมโลหะหนักออกจากดินที่บำบัดด้วยวิธีทางเคมี ทำการแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอนประกอบด้วย (1) การเตรียมตัวอย่างดิน (2) การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน (3) การบำบัดด้วยวิธีทางเคมีและ (4) การปลูกพืชทดลองในดินที่ผ่านการบำบัด โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



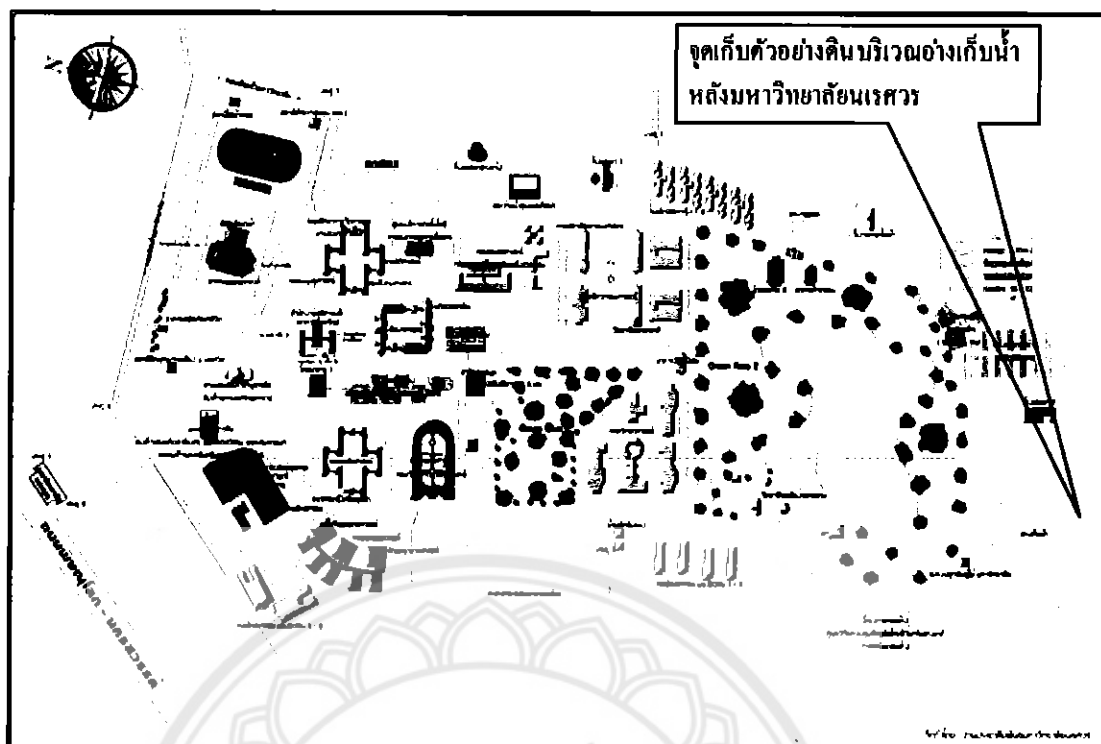
รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ เลือกจุดเก็บตัวอย่างดินและเก็บตัวอย่างดินด้วยจอบระบุตำแหน่งหรือพิกัดที่เก็บตัวอย่างดินด้วยเครื่อง GPS (Global Positioning System) ทำการเก็บตัวอย่างดินในแนวตั้งที่ระดับความลึก 0-15 ซม.และรักษาในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนและนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบต่อไป ตัวอย่างดินทั้งหมดจะถูกนำไปตากแดดให้แห้ง บด และร่อนตะแกรง 2 มิลลิเมตรเพื่อแยกอนุภาคดินที่มีขนาดใหญ่ออกก่อนนำไปวิเคราะห์ต่อไป (Lin et al, 2004) เนื่องจากมลพิษร้อยละ 90 จะปนเปื้อนกับเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร (Tawinteung, 2004) ทำการทดลองในกระถางที่มีปริมาตรกระถาง 1.50 ลิตร โดยได้ใช้ดินที่มีการสังเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียมในรูปของเกลืออินทรีย์ ในอัตราส่วน 50 mg/kg ทำการบำบัดโดยใช้ FA และ PR ในอัตราส่วน 0%, 10%, 20%, 30% ของดิน



รูปที่ 3.6 วิธีการเตรียมดินและตากดินตัวอย่าง



รูปที่ 3.7 จุดเก็บตัวอย่างดินบริเวณหลังอ่างเก็บน้ำมหาวิทยาลัยนเรศวร
ที่มา <http://web.eng.nu.ac.th/mc/mapnu.php>

3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน สมบัติทางเคมี ประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ และวิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 1 โดยที่ pH ของตัวอย่างดินทำการศึกษาโดยนำตัวอย่างดินผสมน้ำในสัดส่วน 1:1 (โดยน้ำหนัก: ปริมาตร) (Soil conservation service, 1982) สำหรับการวิเคราะห์ pH และ ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดทดสอบโดยการย่อยด้วยกรดเข้มข้นและวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic absorption spectroscopy

สมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ และวิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.1 โดยที่การวิเคราะห์การกระจายขนาดของเม็ดดิน ด้วยวิธี Standard Method for Particle-Size Analysis of Soil (ASTM:D 422-63) โดยใช้ตะแกรงสำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 75 ไมครอน ส่วนอนุภาคเล็กกว่า 75 ไมครอน วิเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนและไฮโดรมิเตอร์, ศึกษาการจำแนกชนิดของดินด้วยวิธี Method of Unified Soil Classification System (USCS), วิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินด้วยวิธี Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids By Water Pycnometer (ASTM:D 854 – 00), วิเคราะห์ปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักในดินด้วยวิธี Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass (ASTM:D 2216 – 98)

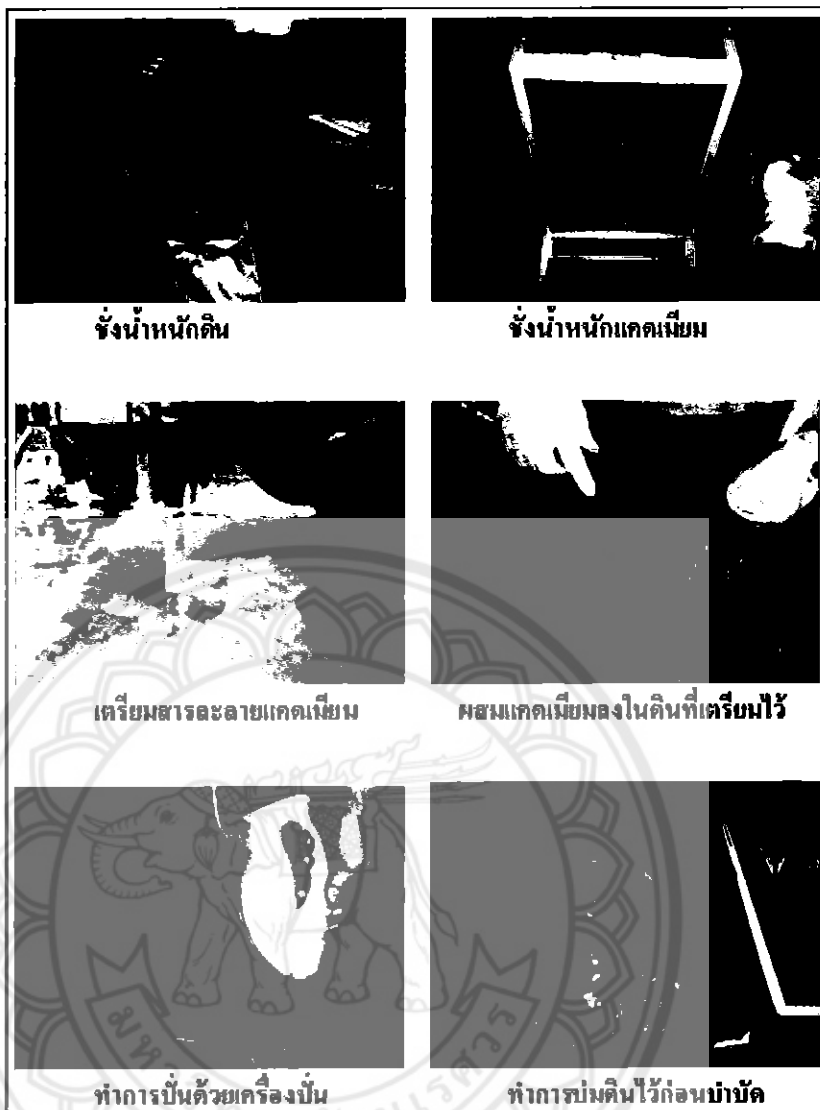
ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตัวอย่างดิน ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectroscopy หลังจากย่อยตัวอย่างด้วยกรด HNO_3 และ HClO_4 ในอัตราส่วน 1:3 โดยนำตัวอย่างดิน ประมาณ 0.5 กรัมใส่ในหลอดย่อย แล้วย่อยตัวอย่างด้วยกรดจนกระทั่งสารละลายเป็นสีใส ทิ้งไว้ให้เย็น หลังจากนั้นกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 และเจือจางด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 2 รอบหลังจากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ตามที่ต้องการ โดยใช้กรดไนตริกความเข้มข้น 10 % แล้วเก็บรักษาที่ 4 °C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectroscopy เพื่อหาปริมาณ โลหะหนัก

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีและวิธีการวิเคราะห์ดิน

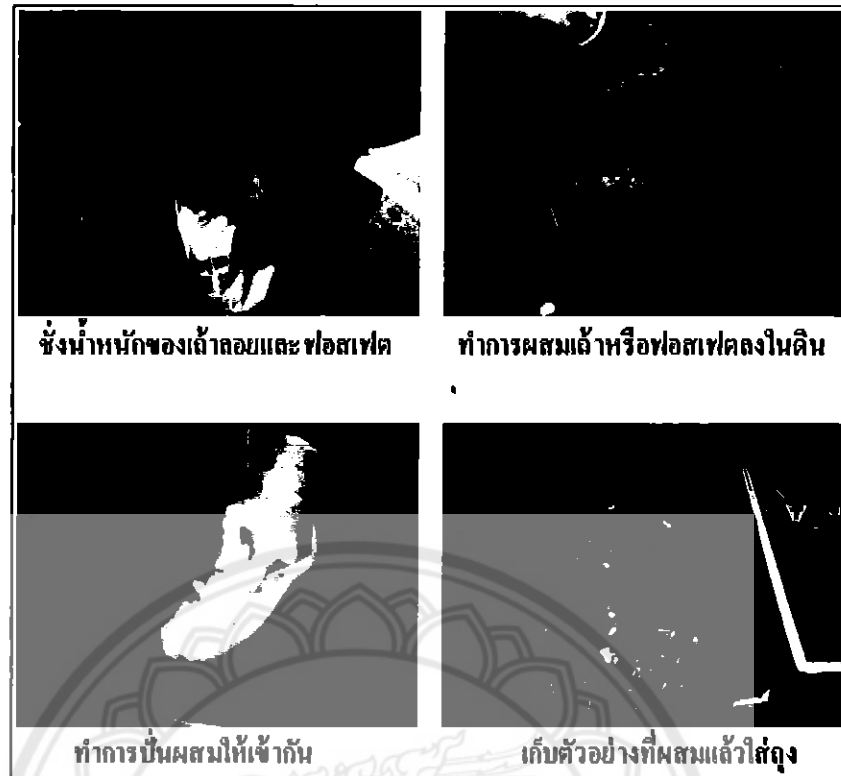
| พารามิเตอร์ | วิธีการวิเคราะห์ |
|--|--------------------------------|
| สมบัติทางกายภาพ | |
| Grain Size Determination of Sieve Analysis | ASTM D - 422 |
| Determination of Water Content and Unit Weight | ASTM D 2216 - 98 |
| Specific Gravity of Soil | ASTM D 854 - 00 |
| สมบัติทางเคมี | |
| pH | pH meter |
| Electrical Conductivity | Conductivity meter |
| Total Metal Content | Acid digestion |
| Metals Analysis | Atomic Absorption Spectroscopy |

3.2.3 การสังเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียมและบารับด้วยวิธีทางเคมี

สารเคมีชนิดต่างๆ ที่นำมาศึกษาการบำบัดดินที่สังเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียมประกอบด้วย เถ้าลอยถ่านหิน, หินฟอสเฟต สารเคมีที่ใช้มีทั้งที่อยู่ในรูปของของเสียจากกระบวนการผลิต และส่วนที่เป็นวัตถุดิบในการผลิต ได้แก่ เถ้าลอยถ่านหิน เก็บตัวอย่างมาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง, หินฟอสเฟต นำมาจากโรงงานปุ๋ยในท้องถิ่น ทำการศึกษาโดยการแปรเปลี่ยนสัดส่วนสารเคมี : ดิน โดยการควบคุมความชื้นและระยะเวลาบ่มเป็นเวลา 1 เดือน สารเคมีและตัวอย่างดินจะถูกผสมด้วยเครื่องผสมขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้นจะบ่มทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่ต้องการก่อนที่จะนำมาใส่กระถางเพื่อทำการปลูกพืชทดลอง หลังจากนั้นทำดูแลพืชทดลองจนครบอายุการเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 2 เดือน และทำการเก็บพืชทดลองตามลำดับส่วนคือ ราก, ใบ เพื่อศึกษาความสามารถในการตรึง โลหะหนัก และทำการย่อยสกัดหาปริมาณของ โลหะหนัก แคดเมียมต่อไป



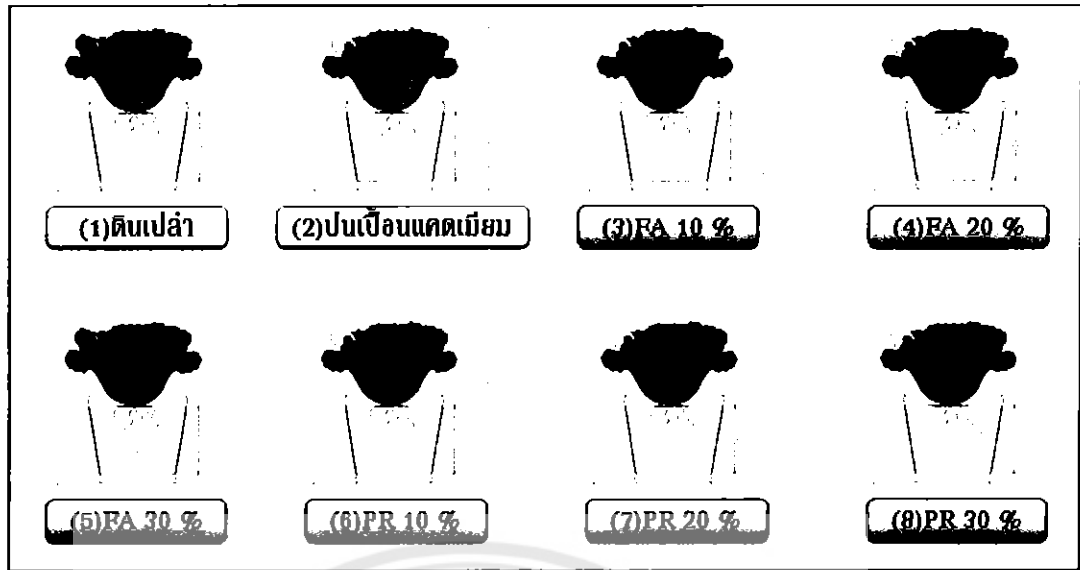
รูปที่ 3.8 วิธีการสังเคราะห์การปนเปื้อนแคะเม็ยในดินตัวอย่าง



รูปที่ 3.9 วิธีการการบำบัดดินปนเปื้อนแคดเมียมด้วยเถ้าลอย (Fly Ash) และฟอสเฟต(Phosphate rock)

3.2.4 การทดสอบการดูดซับโลหะหนักโดยพืชทดลอง

นำผักกาดเขียวปลีที่มีอายุที่ 3 สัปดาห์นำมาทดลองปลูกในดินที่ผ่านการบำบัดจะถูกบำบัดโดยวิธีทางเคมีในปริมาณที่แตกต่างกันจาก 10 %, 20% และ 30 % ดังรูปที่ 3.21 และปริมาณเถ้าลอย (Fly Ash) และหินฟอสเฟต (Phosphate rock) ที่ใช้บำบัดดังตารางที่ 3.1. หลังจากทำการบำบัดแล้วเป็นเวลา 1 เดือน โดยนำดินบรรจุในกระถางขนาดปากกระถางมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 นิ้ว และก้นกระถางมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว และความสูงกระถาง 4.5 นิ้ว ทำการดูแลพืชทดลองโดยการควบคุมปริมาณและความถี่ของน้ำที่ใช้รดพืชทดลองจนมีอายุครบเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 2 เดือน ทำการเก็บตัวอย่างพืชทดลองตามลำดับส่วน ราก, ใบ ไปทำการสกัดย่อยตัวอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมต่อไป



รูปที่ 3.10 แสดงการทดสอบการดูดซับแคดเมียม

ตาราง 3.2 ปริมาณของการเติมสารบ้ำบัดถ้ำลอย (Fly Ash) และฟอสเฟต (Phosphate rock)

| ชนิด | น้ำหนักดิน(kg) | น้ำหนัก FA , PR ใช้บ้ำบัด |
|---------------------------|----------------|---------------------------|
| ดินเปล่า | 5.27 | - |
| ปนเปื้อนแคดเมียม 50 mg/kg | 5.27 | - |
| บ้ำบัด FA 10 % | 5.27 | 0.5276 |
| บ้ำบัด FA 10 % | 5.27 | 1.0552 |
| บ้ำบัด FA 10 % | 5.27 | 1.5828 |
| บ้ำบัด PR 10 % | 5.27 | 0.5276 |
| บ้ำบัด PR 10 % | 5.27 | 1.0552 |
| บ้ำบัด PR 10 % | 5.27 | 1.5828 |



รูปที่ 3.11 การวางกระถาง

3.3 การศึกษาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในผักกาดเขียวปลี

3.3.1 ขั้นตอนการเก็บและเตรียมตัวอย่างผักกาดเขียวปลี

ทำการเก็บผักกาดเขียวปลีเมื่อครบอายุการเก็บเกี่ยวรวม 50 วันเพื่อนำผักกาดเขียวปลีไปทำการแยกส่วนวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งในส่วนที่เป็นรากและใบ ก่อนแล้วนำไปย่อยสกัดด้วยสารละลายกรด Aqua Regia (3:1 mixture of HCl: HNO₃) มีขั้นตอนดังรูปที่ 3.24

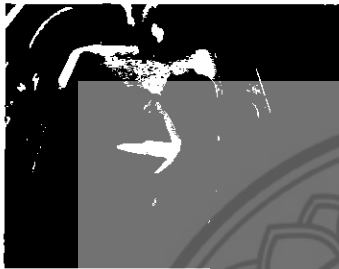
- แยกส่วนดินและผักกาดเขียวปลีออกจากกัน โดยทำแบบระวังไม่ให้รากฝอยนั้นหลุดออกไปมาก โดยการใช้น้ำประปาฉีดดินที่เกาะบริเวณราก
- ทำการล้างผักกาดเขียวปลีอีกรอบด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ผ่านการกลั่น 2 ครั้งอีกรอบแล้วล้างผักกาดเขียวปลีให้แห้งโดยใช้กระดาษซับ
- ชั่งน้ำหนักเปียกโดยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งและบันทึกผลน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 72 °C ในเวลา 72 ชั่วโมงครบกำหนดแล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้งแล้วทำการบันทึกผล
- สุ่มตัวอย่างของผักกาดเขียวทั้งส่วนรากและใบไปบดย่อยให้ละเอียดเตรียมใส่ถุงป้องกันความชื้นก่อนที่จะนำไปย่อยสกัดด้วยสารละลายกรดต่อไป



แยกพีชออกจากกระถาง

ใช้น้ำฉีดดินออก

ล้างด้วยน้ำกลั่น



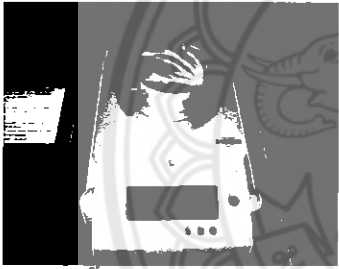
ซักด้วยกระดาษซับ



ซังน้ำหนักเปียก



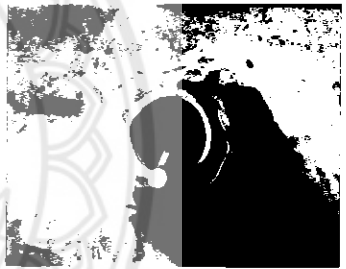
นำเข้าสู่อบ



ซังน้ำหนักแห้ง



เลือกใบและราก



บดตัวอย่างให้ละเอียด



นำใส่ถุงป้องกันความชื้น

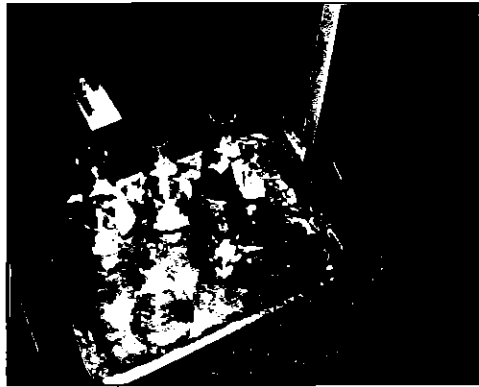
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการเก็บและเตรียมตัวอย่างผักกาดเขียวปลี

3.4 การศึกษาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินตัวอย่าง เถ้าลอยและหินฟอสเฟต

3.4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมดในดิน หินฟอสเฟตและเถ้าลอย (Total Metal Content)

โดยทำการย่อยตัวอย่างดิน ฟอสเฟตและเถ้าลอยด้วยวิธีการย่อย ก่อนแล้วนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS ซึ่งมีขั้นตอนการย่อยดังนี้

- ชั่งน้ำหนักดินฟอสเฟต และเถ้าลอยอย่างละ 0.5 กรัม และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่งลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 ml.
- เติมน้ำกลั่น 40 ml. ลงในขวดรูปชมพู่
- ทำการย่อยดิน ฟอสเฟต และเถ้าลอยด้วยเครื่องย่อยสลายตัวอย่างบนเตาให้ความร้อนในตู้ดูดควัน จนกระทั่งสารละลายเกือบแห้งแล้วค่อยเติมทีละ 40 ml. จนกระทั่งการย่อยสมบูรณ์ได้สารละลายเป็นสีใส
- นำขวดรูปชมพู่ออกจากเตาแล้วทิ้งให้เย็นใช้สารละลาย 10% HNO_3 ชะสารละลายที่ได้จากการย่อยดิน ฟอสเฟต และเถ้าลอยบริเวณข้างๆขวดรูปชมพู่
- นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml. และปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 10% HNO_3
- นำสารละลายที่ได้เทเก็บในหลอดพลาสติกและเก็บตัวอย่างในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะทำการวิเคราะห์โลหะหนัก
- วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสารละลายด้วยเครื่อง AAS



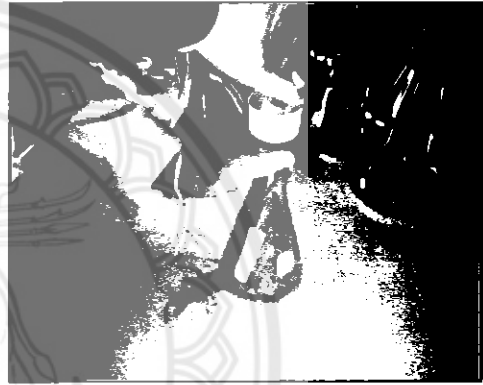
ขังนำหนักดิน ฟอสเฟต แฉ่าลอย



เติมสารเคมีใส่ขวดรูปชมพู



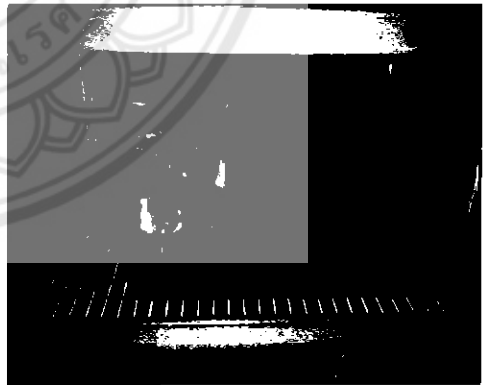
ย่อยตัวอย่างบนเตาความร้อน



กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง



ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 10% HNO₃



เก็บตัวอย่างในหลอด Centrifuge

รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมดในดิน ฟอสเฟตและแฉ่าลอย
(Total Metal Content)

3.4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมดในผักกาดเขียวปลี (Total Metal Content)

โดยทำการย่อยตัวอย่างผักกาดเขียวปลีด้วยวิธีการย่อย ก่อนแล้วนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS ซึ่งมีขั้นตอนการย่อยดังนี้

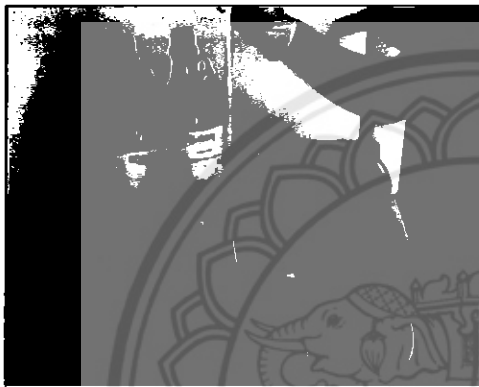
- ชั่งน้ำหนักผักกาดเขียวปลีทั้งส่วนรากและใบอย่างละ 0.5 กรัม และบดที่ก้าน้ำหนักที่แน่นอนทศนิยม 4 ตำแหน่งลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 ml.
- เติมสารละลายกรด 40 ml. ลงในขวดรูปชมพู่
- ทำการย่อยผักกาดเขียวปลีด้วยเครื่องย่อยสลายตัวอย่างบนเตาให้ความร้อนในตู้ดูดควัน จนกระทั่งสารละลายเกือบแห้งแล้วค่อยเติมกรดที่ละ 40 ml. จนกระทั่งการย่อยสมบูรณ์ได้สารละลายเป็นสีใส
- นำขวดรูปชมพู่ออกจากเตาแล้วทิ้งให้เย็นใช้สารละลาย 10% HNO_3 ชะสารละลายที่ได้จากการย่อยดิน ฟอสเฟต และเด้าลอยบริเวณข้างๆขวดรูปชมพู่
- นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml. และปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 10% HNO_3
- นำสารละลายที่ได้เทเก็บในหลอดพลาสติกและเก็บตัวอย่างในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะทำการวิเคราะห์โลหะหนัก
- วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสารละลายด้วยเครื่อง AAS



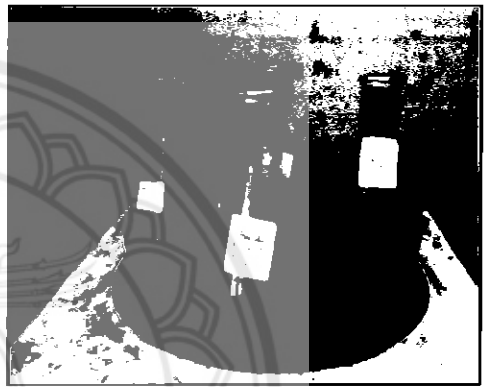
ชั่งน้ำหนักพีชอย่างละ 0.5 กรัม



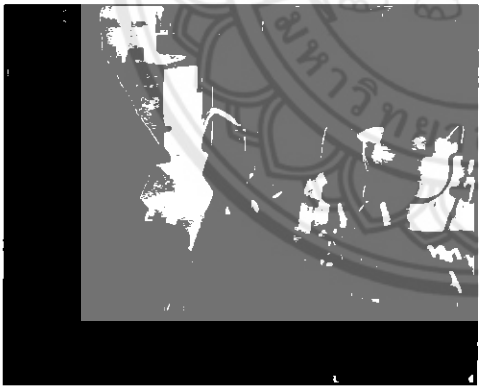
ใส่ในขวดรูปชมพู่



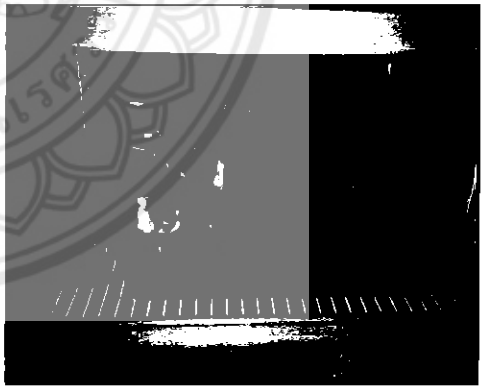
เติมสารเคมีใส่ขวดรูปชมพู่



ย่อยตัวอย่างบนเตาความร้อน



ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 10% HNO_3



เก็บตัวอย่างในหลอด Centrifuge

รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมดในผักกาดเขียวปลี (Total Metal Content)

3.4.3 วิธีการวัดผลการเจริญเติบโตของพืช

- ทำการบันทึกผลโดยการถ่ายรูปทุกๆ 1 สัปดาห์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของแต่ละกระถาง
- วัดหน่วยน้ำหนักแห้งของพืชหลังการเก็บพืช เพื่อเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักพืชของแต่ละกระถาง



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

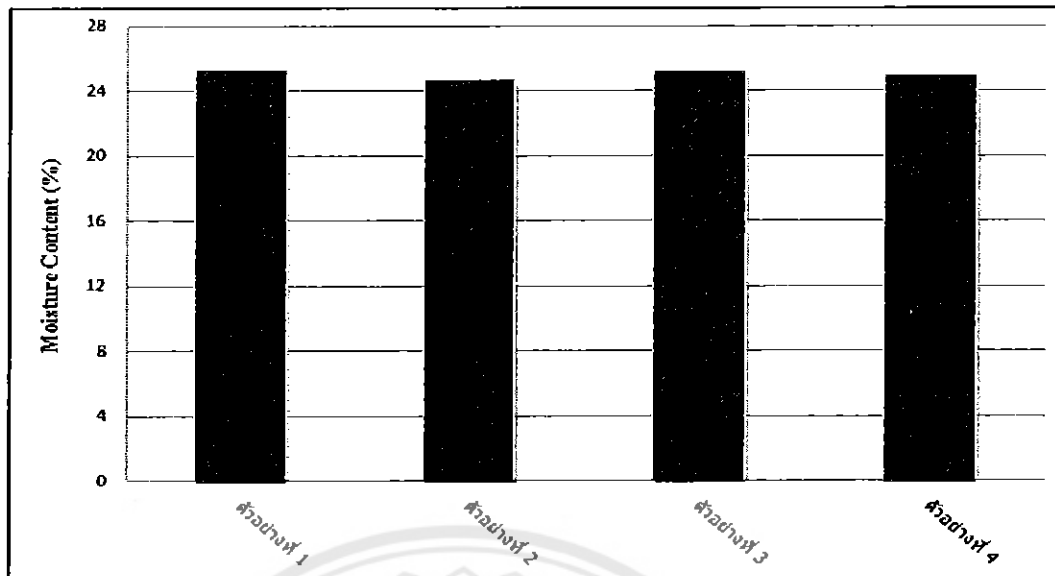
หลังจากที่ทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ ทำการเก็บตัวอย่างดินในแนวคิ่งที่ระดับความลึก 0-15 ซม.บริเวณอ่างเก็บน้ำหลังมหาวิทยาลัยนเรศวร ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อการศึกษาคุณสมบัติของดินก่อนที่จะนำดินไปใช้ในขั้นตอนต่อไป โดยทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ประกอบด้วย ความชื้น, ค่าความด่างจำเพาะ, วิเคราะห์การกระจายขนาดเม็ดดิน, pH, สภาพการนำไฟฟ้า รวม 5 พารามิเตอร์โดยอาศัยวิธีการและขั้นตอนที่ระบุไว้ในบทที่ 3 ก่อนที่จะสังเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 50 mg/kg เพื่อใช้ในการหาค่าขั้นตอนต่อไป

4.1.1 การทดลองหาความชื้นในมวลดิน

ทำการสุ่มตัวอย่างเก็บดินจำนวน 4 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตัวอย่างด้วยวิธี ASTM D 2216-98 ได้ค่าการทดลองดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 และมีค่าเฉลี่ยความชื้นเท่ากับ 25.03 %

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความชื้นในมวลดิน

| Sample No. | Moisture Content (%) |
|------------|----------------------|
| 1 | 25.28 |
| 2 | 24.69 |
| 3 | 25.23 |
| 4 | 24.94 |
| Average | 25.03 |



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความชื้นในมวลดิน

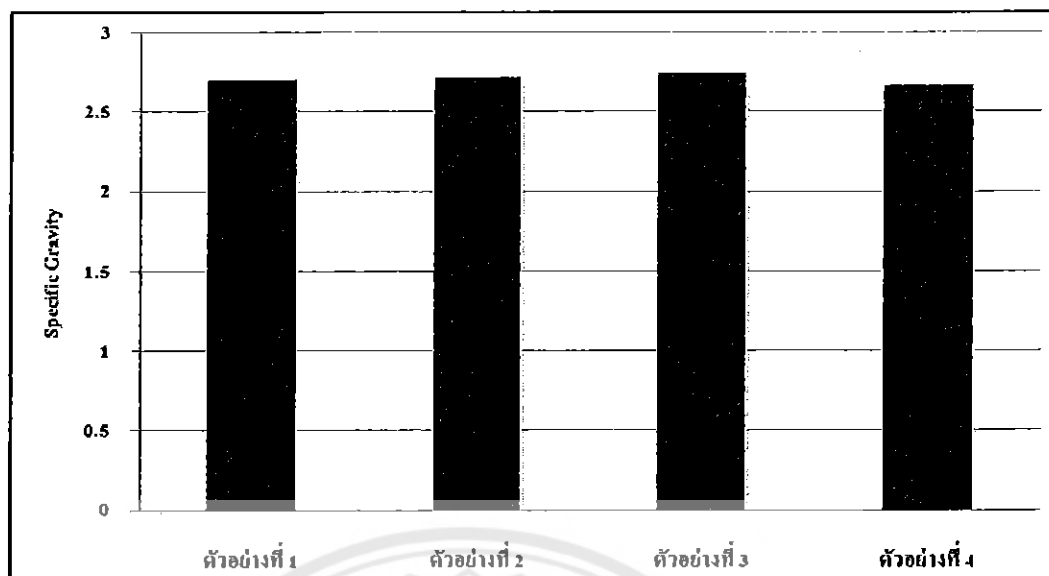
จากกราฟรูปที่ 4.1 กราฟการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในมวลดิน ที่ได้ทำการทดลอง ตัวอย่างดินทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้ค่าตามตารางที่ 4.3 ดังนี้คือ ตัวอย่างที่ 1 เท่ากับ 25.28 เปอร์เซ็นต์, ตัวอย่างที่ 2 เท่ากับ 24.69 เปอร์เซ็นต์, ตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 25.23 เปอร์เซ็นต์, และตัวอย่างที่ 4 เท่ากับ 24.94 ผลค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 25.03 เปอร์เซ็นต์

4.1.2 การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของดิน

ทำการสุ่มตัวอย่างเก็บดินจำนวน 4 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตัวอย่างด้วยวิธี ASTM D 854 - 00 ได้ค่าการทดลองดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 และมีค่าเฉลี่ยความชื้นเท่ากับ 2.71

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของดิน

| Trial No. | Specific Gravity |
|--------------------------|------------------|
| 1 | 2.70 |
| 2 | 2.72 |
| 3 | 2.74 |
| 4 | 2.67 |
| Average Specific Gravity | 2.71 |



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

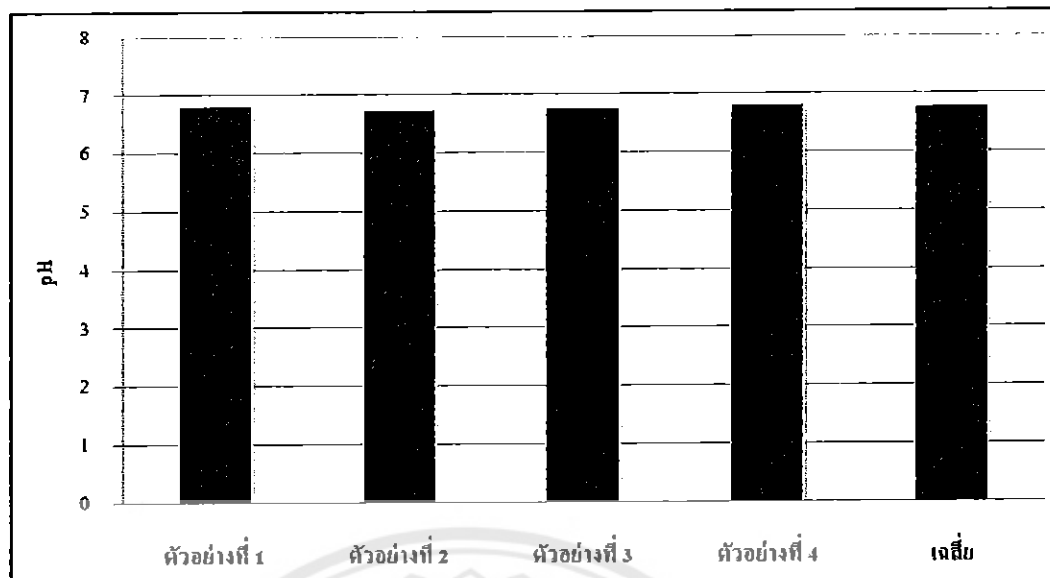
จากการวิเคราะห์หาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ที่ได้ทำการทดลองตัวอย่างดินทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้ค่าตามตารางที่ 4.2 ดังนี้คือ ตัวอย่างที่ 1 เท่ากับ 2.70, ตัวอย่างที่ 2 เท่ากับ 2.72, ตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 2.74, และตัวอย่างที่ 4 เท่ากับ 2.67 ผลค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 2.71 ตามลำดับ

4.1.3 ผลการทดลองหาค่า pH ดิน

ชั่งตัวอย่างดินเปียกมาประมาณ 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร (1:2.5) จากนั้นกวนให้เนื้อตะกอนดินผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้ประมาณ 20 - 30 นาที หรือนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็ว 2,000 - 3,000 รอบ/นาที วัดค่า pH จากสารละลายใสที่อยู่ส่วนบน วิเคราะห์หาค่าได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาค่าจากกาทดสอบหาค่า pH ของดิน

| Trial No. | ค่า pH |
|-----------|--------|
| 1 | 6.82 |
| 2 | 6.74 |
| 3 | 6.77 |
| 4 | 6.80 |
| Average | 6.78 |



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า pH ของดิน

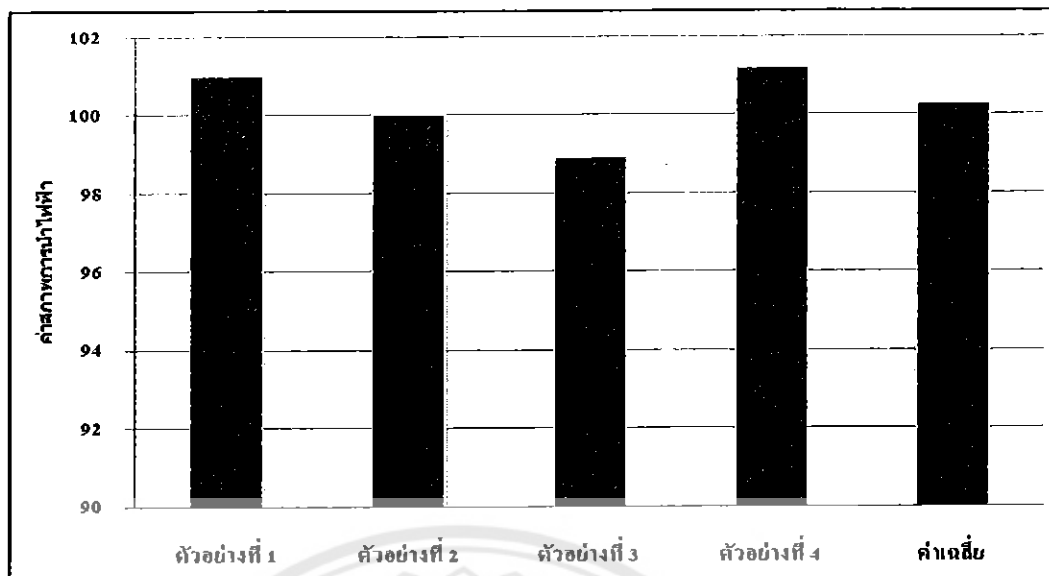
จากรูปที่ 4.3 วิเคราะห์หาค่า pH ของดิน ที่ได้ทำการทดลองตัวอย่างดินทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้ค่าตามตารางที่ ดังนี้ คือ ตัวอย่างที่ 1 เท่ากับ 6.82, ตัวอย่างที่ 2 เท่ากับ 6.74, ตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 6.77, และตัวอย่างที่ 4 เท่ากับ 6.80 ผลค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 6.78 ตามลำดับ

4.1.4 ผลการทดลองหาค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน

ซึ่งตัวอย่างดินเปียกมาประมาณ 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร (1:2.5) จากนั้นกวนให้เนื้อตะกอนดินผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้ประมาณ 20-30 นาที หรือนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็ว 2,000-3,000 รอบ/นาทีวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า จากสารละลายใส่ที่อยู่ส่วนบน แล้วทำการวัดค่าได้ดังตารางดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน

| Trial No. | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า($\mu\text{s}/\text{cm}$) |
|-----------|--|
| 1 | 101.00 |
| 2 | 100.00 |
| 3 | 98.90 |
| 4 | 101.20 |
| Average | 100.27 |



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของดิน

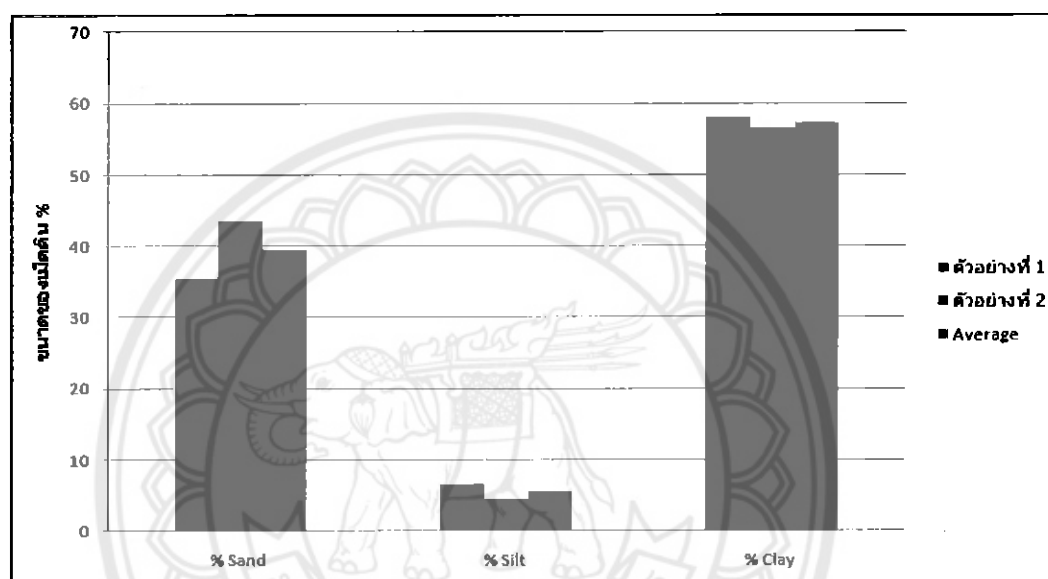
จากรูปที่ 4.4 การวิเคราะห์หาค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน ที่ได้ทำการทดลองตัวอย่างดินทั้งหมด 4 ตัวอย่างได้ค่าตามตารางที่ ดังนี้ คือ ตัวอย่างที่ 1 เท่ากับ 101.00 ($\mu\text{s/cm}$), ตัวอย่างที่ 2 เท่ากับ 100.00 ($\mu\text{s/cm}$), ตัวอย่างที่ 3 เท่ากับ 98.90 ($\mu\text{s/cm}$), และตัวอย่างที่ 4 เท่ากับ 101.20 ($\mu\text{s/cm}$) ผลค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 100.27 ($\mu\text{s/cm}$)

4.1.5 ผลการทดลองหาขนาดของเม็ดดิน

เตรียมตัวอย่างดิน 1,000 กรัม นำตัวอย่างดินทุบให้ละเอียดด้วยก้อนยางใส่ตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำไปล้างโดยการเปิดน้ำให้ไหลจากด้านบนของตะแกรง ซึ่งจะทำให้ดินเม็ดเล็ก ๆ ที่ติดอยู่กับดินก้อนใหญ่ไหลผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ออกไป แล้วคอยสังเกตจนกระทั่งว่าไม่มีดินไหลออกจากตะแกรงแล้วจึงหยุดล้าง นำตัวอย่างดินที่ยังเหลือค้างอยู่บนตะแกรงไปใส่ภาชนะ แล้วนำไปเข้าตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบ 8 - 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างดินที่อบแห้งแล้วไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำดินที่เหลือไปทดสอบตามหัวข้อที่ 4.3.1 (การทดสอบแบบไม่ล้างตะแกรง)

ตารางที่ 4.5 ค่าผลการทดลองหาขนาดของเม็ดดิน

| ตัวอย่างที่ | % Sand | % Silt | % Clay |
|-------------|--------|--------|--------|
| 1 | 35.5 | 6.5 | 58 |
| 2 | 43.5 | 4.5 | 56.5 |
| Average | 39.5 | 5.5 | 57.25 |



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าผลการทดลองหาขนาดของเม็ดดิน

จากกราฟรูปที่ 4.5 พบว่าขนาดดินแต่ละตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์ของ Sand, Silt และ Clay ดังนี้ ตัวอย่างดินที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ของขนาดเม็ดดินเท่ากับ 35.5, 58 และ 6.5 ตามลำดับ ตัวอย่างดินจุดที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์ของขนาดเม็ดดินเท่ากับ 43.5, 56.5 และ 4.5 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 39.5, 57.25 และ 5.5 ตามลำดับ

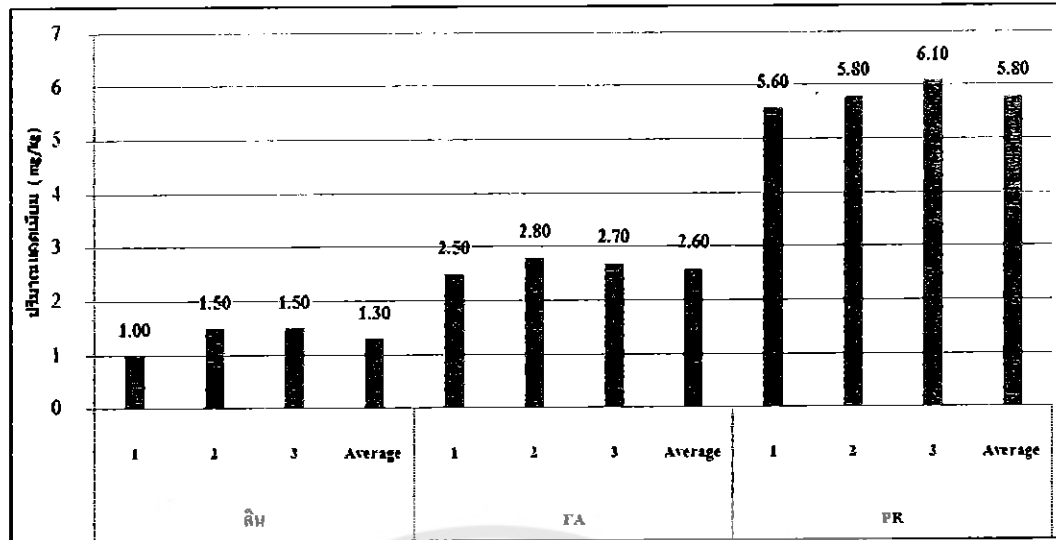
4.1.6 การทดลองหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน, แฉะลอย และหินฟอสเฟต

ก่อนที่จำทำการบำบัดดินด้วยแฉะลอยและหินฟอสเฟตได้ทำการทดสอบหาปริมาณแคดเมียมในดินที่เก็บมาจากบริเวณอ่างเก็บน้ำหลังมหาวิทยาลัยนเรศวร รวมทั้งปริมาณแคดเมียมในแฉะลอยและหินฟอสเฟต ก่อนจะนำมาใช้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน โดยทำการชั่งตัวอย่างดิน, แฉะลอย และหินฟอสเฟตเตรียมไว้อย่างละ 3 ตัวอย่างโดยแต่ละตัวอย่างละประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 ml. เติมน้ำละลายกรด Aqua Regia จำนวน 40 ml. ย่อยสลายตัวอย่างดิน, แฉะ

ลอย และหินฟอสเฟตบนเตาให้ความร้อนในตู้ดูดควัน จนกระทั่งสารละลายเกือบแห้ง ค่อยๆ เติมกรด Aqua Regia ที่ละ 40 ml และย่อยชิ้นจนกระทั่งการย่อยสมบูรณ์ได้สารละลายเป็นสีใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ใช้สารละลาย 10% HNO₃ ชะสารละลายที่ได้จากการย่อยดินบริเวณข้างๆ ขวกรูปชมพู่ นำกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml. และปรับปริมาตรครบ 50 ml. ด้วยสารละลาย 10% HNO₃ เทเก็บในขวดพลาสติกขนาด 60 ml. และเก็บรักษาตัวอย่างในตู้แช่ที่อุณหภูมิ 4 °C วิเคราะห์ปริมาณ Cd ในสารละลายด้วยเครื่อง AAS จากการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน ถ้ำลอย และหินฟอสเฟต ที่ได้ทำการทดลองตัวอย่างทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ได้ค่าตามตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน, FA และ PR

| ชนิด | ตัวอย่างที่ | ปริมาณแคดเมียม (mg/kg) |
|-----------|-------------|------------------------|
| ดิน | 1 | 0.99 |
| | 2 | 1.49 |
| | 3 | 1.49 |
| | Average | 1.29 |
| ถ้ำลอย | 1 | 2.50 |
| | 2 | 2.80 |
| | 3 | 2.69 |
| | Average | 2.60 |
| หินฟอสเฟต | 1 | 5.59 |
| | 2 | 5.80 |
| | 3 | 6.10 |
| | Average | 5.80 |



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน, FA และ PR

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินบริเวณอ่างเก็บน้ำหลังมหาวิทยาลัยนเรศวร, etailoy และหินฟอสเฟตซึ่งค่าปริมาณแคดเมียมทั้งในดินเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.29 มก./กก.-ดิน, ค่าปริมาณแคดเมียมทั้งในetailoyเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.60 มก./กก.-etailoy และค่าปริมาณแคดเมียมทั้งในหินฟอสเฟตเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.80 มก./กก.-หินฟอสเฟตตามลำดับซึ่งระดับค่ามาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่ยอมรับได้ (Maximum Permitted Concentration) คือ ค่ากำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของโลหะหนักที่อนุญาตให้มีปริมาณสูงสุดในดินและวัสดุที่ใช้เพื่อปรับปรุงดินในการเกษตรรวมทั้งปริมาณสะสมหรือตกค้างที่พบในดินหลังการใช้วัสดุดังกล่าวปริมาณแคดเมียมนั้นไม่เกิน 37 มก./กก.

4.2 ผลการทดสอบหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในกะหล่ำเขียวปดี

4.2.1 การทดสอบหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในกะหล่ำเขียวปดี

ผู้ศึกษาได้ทำการบำบัดดินปนเปื้อนแคดเมียมด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้หินฟอสเฟตและetailoy โดยทำการสังเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียมในปริมาณต่างๆ กันก่อนทำการบำบัดและทำการเติมดินทั้งหมด 8 กระถาง กระถางละ 5.2 กิโลกรัม โดยที่ 7 กระถางจะทำการสังเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียมลงในดินในปริมาณ 50 มก./กก.-ดิน และทำการบำบัดดินที่ถูกสังเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียม โดยใช้etailoyและหินฟอสเฟตเป็นอย่างละ 3 กระถางในปริมาณ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ใช้ดินทั้งหมด 8 กระถางเป็นตัวอย่างในการทำการทดสอบการดูดซับแคดเมียม โดยผักกาดเขียวปดีและเก็บตัวอย่างผักกาดเขียวนำมาย่อยสกัดด้วยสารละลายกรด Aqua Regia และวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสารละลายด้วยเครื่อง AAS และจากการวิเคราะห์หา

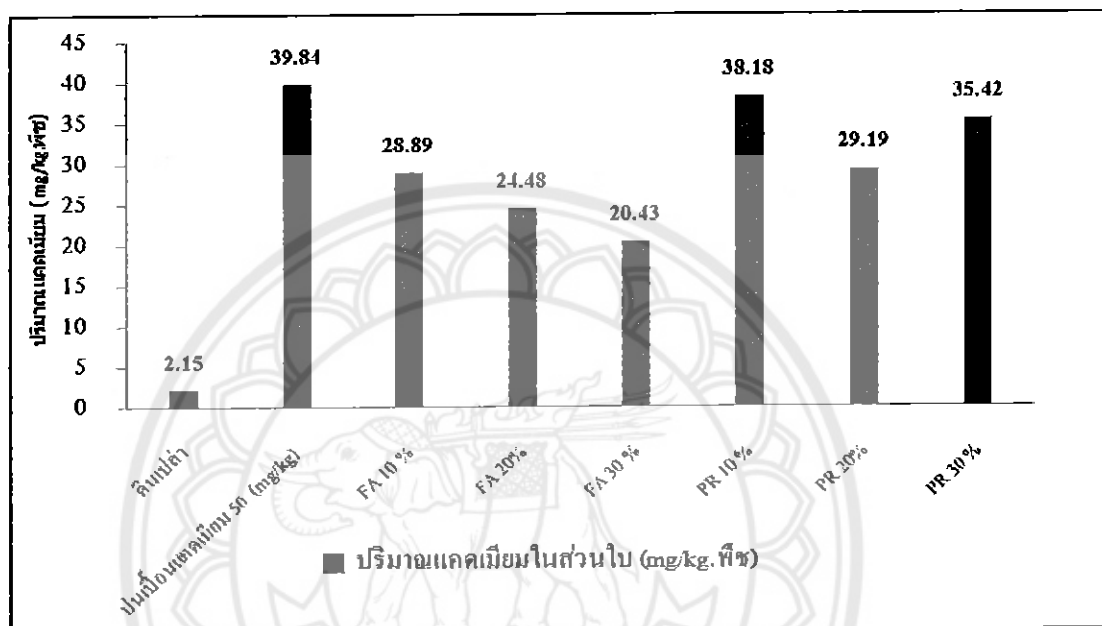
ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในผักกาดเขียวปลี ที่ได้ทำการทดลองตัวอย่างทั้งหมด 32 ตัวอย่าง ได้ค่าตามตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในกะหล่ำเขียวปลี

| กระถางที่ | ชนิด | ตัวอย่างที่ | เฉลี่ย (mg/kg) |
|-------------|-----------------------|-------------|-------------------|
| กระถางที่ 1 | ดินเปล่า | ใบ | 2.14 |
| | | ราก | 6.38 |
| กระถางที่ 2 | ดินปนเปื้อนแคดเมียม | ใบ | 39.83 |
| | | ราก | 104.60 |
| กระถางที่ 3 | น้ำบาดาลลอย 10% | ใบ | 28.88 |
| | | ราก | 50.19 |
| กระถางที่ 4 | น้ำบาดาลลอย 20% | ใบ | 24.47 |
| | | ราก | 25.65 |
| กระถางที่ 5 | น้ำบาดาลลอย 30% | ใบ | 20.42 |
| | | ราก | 18.58 |
| กระถางที่ 6 | น้ำบาดาลหินฟอสเฟต 10% | ใบ | 38.18 |
| | | ราก | 47.98 |
| กระถางที่ 7 | น้ำบาดาลหินฟอสเฟต 20% | ใบ | 29.18 |
| | | ราก | 36.82 |
| กระถางที่ 8 | น้ำบาดาลหินฟอสเฟต 30% | ใบ | 35.42 |
| | | ราก | 52.76 |

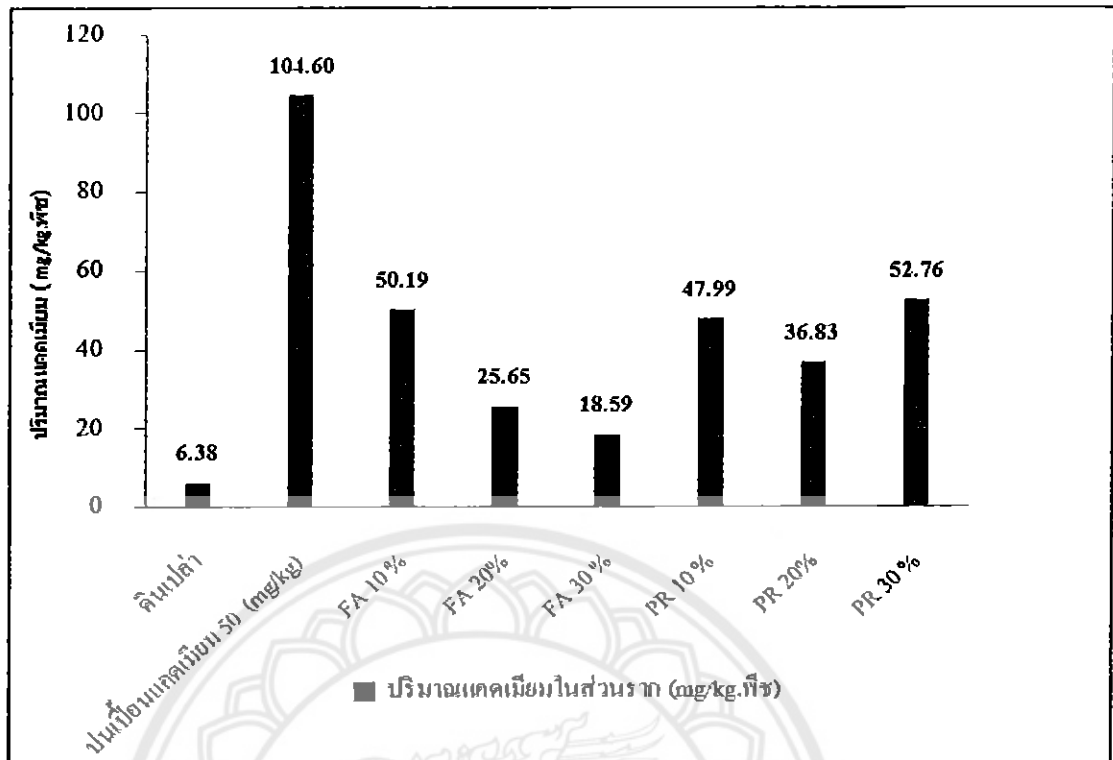
จากตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในใบและรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินเปล่ามีค่าเป็น 2.14 และ 6.38 มม./กก.-พืช ตามลำดับ, ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในใบและรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมมีค่าเป็น 39.83 และ 104.60 มม./กก.-พืช ตามลำดับ, ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในใบและรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินน้ำบาดาลลอย 10% มีค่าเป็น 28.88 และ 50.19 มม./กก.-พืช ตามลำดับ, ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในใบและรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินน้ำบาดาลลอย 20% มีค่าเป็น 24.47 และ 25.65 มม./กก.-พืช ตามลำดับ, ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในใบและรากของผักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินน้ำบาดาลลอย 30% มีค่าเป็น 20.42 และ 18.58 มม./กก.-พืชตามลำดับ, ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในใบและราก

ของฝักภาคเขียวปลีที่ปลูกในดินบำบัดหินฟอสเฟต 10% มีค่าเป็น 38.18 และ 47.98 มม./กก.-พืช ตามลำดับ, ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในใบและรากของฝักภาคเขียวปลีที่ปลูกในดินบำบัดหินฟอสเฟต 20% มีค่าเป็น 29.18 และ 36.82 มม./กก.-พืช ตามลำดับ, ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในใบและรากของฝักภาคเขียวปลีที่ปลูกในดินบำบัดหินฟอสเฟต 30% มีค่าเป็น 35.42 และ 52.76 มม./กก.-พืช ตามลำดับ



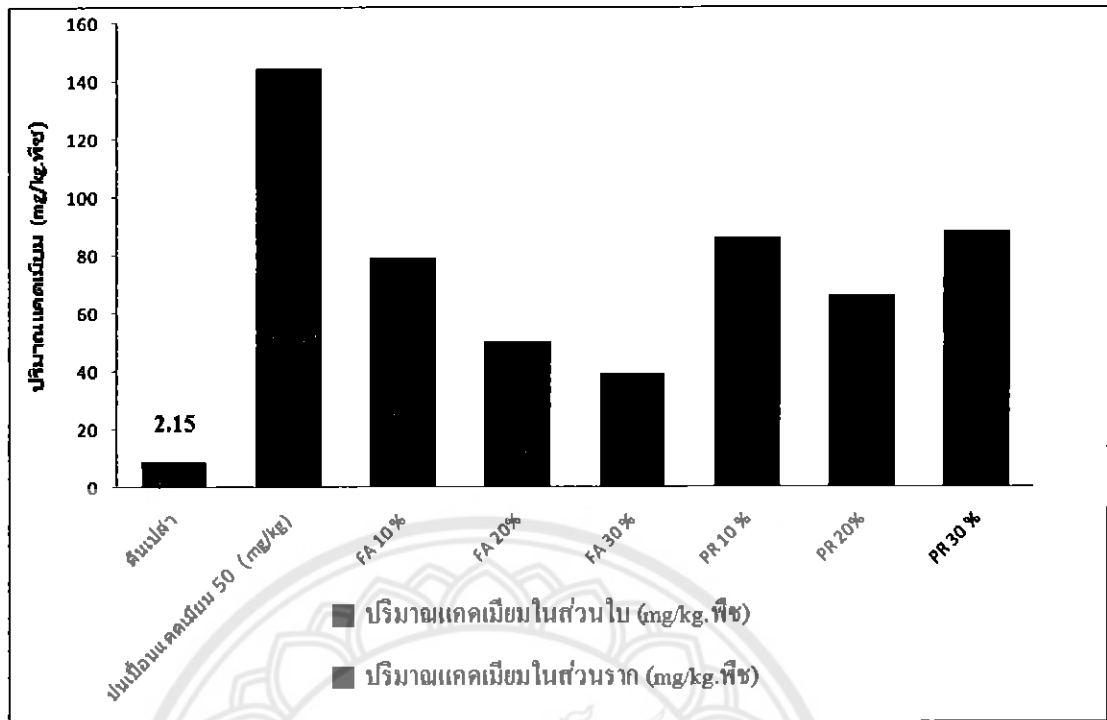
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของใบฝักภาคเขียวปลี

จากกราฟรูปที่ 4.7 ส่วนที่เป็นใบของฝักภาคเขียวปลีพบว่ากระถางที่ปนเปื้อนแคดเมียมและไม่ได้ทำการบำบัดดินนั้นมีปริมาณแคดเมียมสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระถางที่เป็นดินเปล่าซึ่งมีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่า ขณะที่กระถางที่ทำการบำบัดด้วยถ้ำลอยในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแคดเมียมลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระถางที่ปนเปื้อนแคดเมียมและไม่ได้ทำการบำบัด แสดงให้เห็นว่าถ้ำลอยสามารถลดการสะสมแคดเมียมในใบของฝักภาคเขียวปลีได้ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในใบที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมที่ไม่มีการบำบัดมีค่าประมาณ 80 % ของปริมาณแคดเมียมในดิน ในขณะที่กระถางที่ทำการบำบัดด้วยหินฟอสเฟตให้ผลที่ไม่ชัดเจน




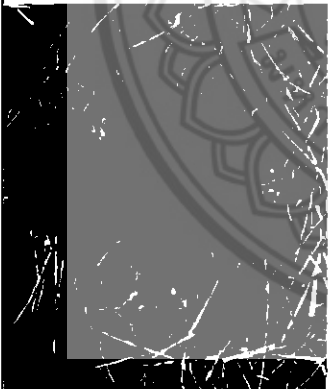
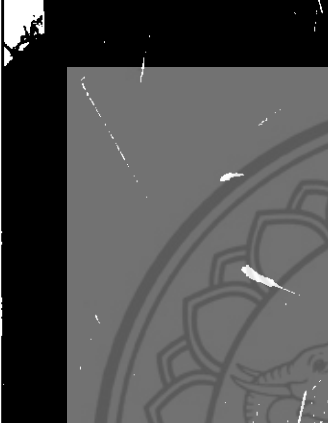



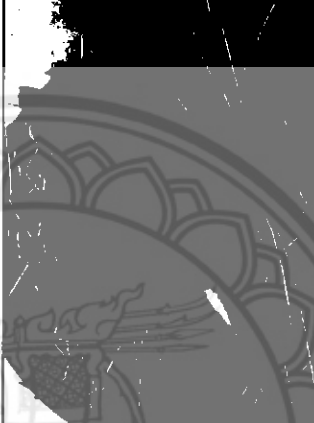

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของรากผักกาดเขียวปลี

จากกราฟรูปที่ 4.8 ส่วนที่เป็นรากของผักกาดเขียวปลีพบว่ากระถางที่ปนปุ๋ยอินทรีย์แคดเมียมและไม่ได้ทำการบำบัดดินนั้นมีปริมาณแคดเมียมสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระถางที่เป็นดินเปล่าซึ่งมีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่า ขณะที่กระถางที่ทำการบำบัดด้วยถ้ำลอยในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแคดเมียมลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระถางที่ปนปุ๋ยอินทรีย์แคดเมียมและไม่ได้ทำการบำบัด แสดงให้เห็นว่าถ้ำลอยสามารถลดการสะสมของแคดเมียมในรากของผักกาดเขียวปลีได้อย่างชัดเจนคือลดลงเหลือร้อยละ 48, 24 และ 18 เมื่อบำบัดด้วยถ้ำลอยด้วยสัดส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ ในขณะที่กระถางที่ทำการบำบัดด้วยหินฟอสเฟตให้ผลที่ไม่ชัดเจนและยังพบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในรากที่ปลูกในดินปนปุ๋ยอินทรีย์แคดเมียมที่ไม่มีการบำบัด มีค่าเป็น 2 เท่าของปริมาณแคดเมียมในดิน



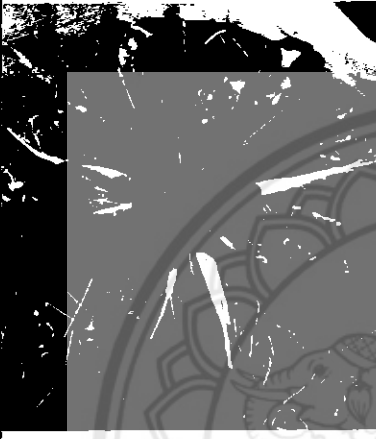


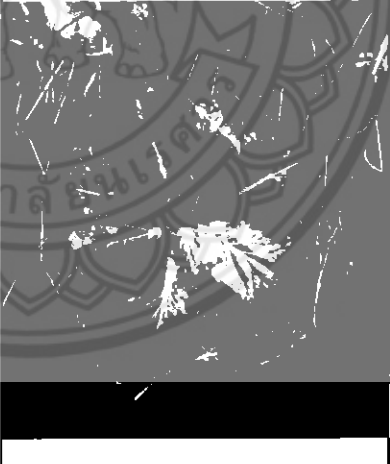
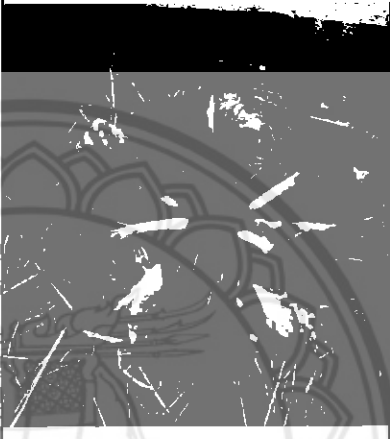



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของปลากาดเขียวปลี

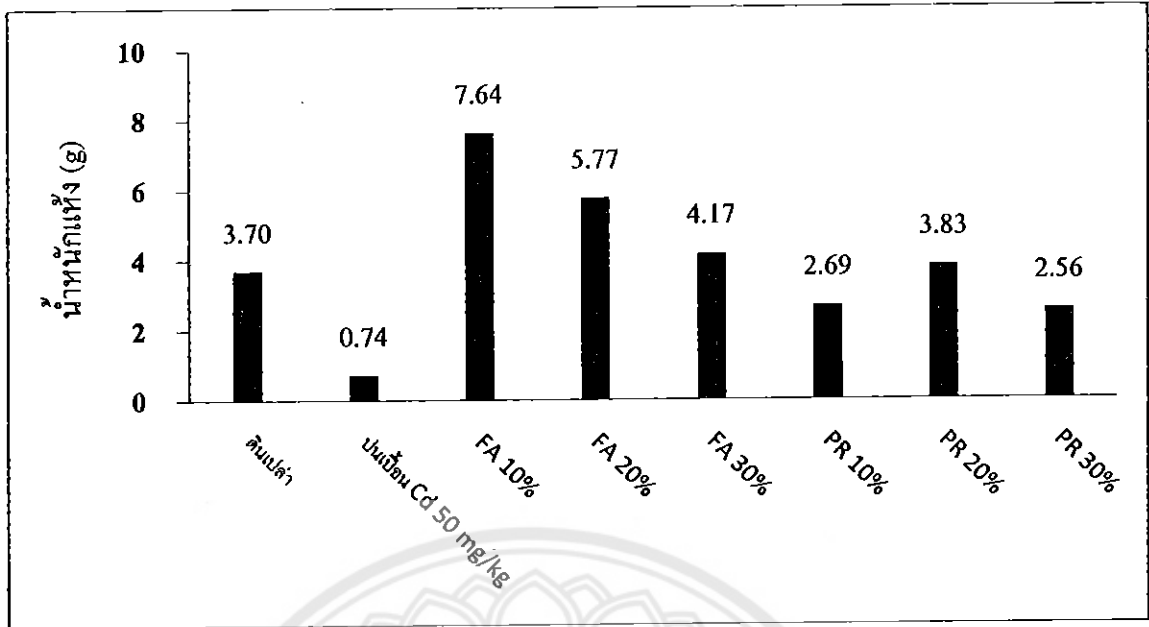
จากรูปที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมในใบและรากของปลากาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมและดินที่บำบัดด้วยเถ้าลอยละหินฟอสเฟต พบว่าเถ้าลอยส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมในรากมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับแคดเมียมในใบ ขณะที่การใช้หินฟอสเฟตส่งผลให้แคดเมียมในรากมีค่าลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่ง ขณะที่ในรากมีค่าแคดเมียมใกล้เคียงกับที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม

| | | | | | | | |
|---------------|--|------------------|--|---------------|---|---------------|--|
| ดินปล้ำ |  | ปนเปื้อนแคดเมียม |  | น้ำบัด FA 10% |  | น้ำบัด FA 20% |  |
| น้ำบัด FA 30% |  | น้ำบัด PR 10% |  | น้ำบัด PR 20% |  | น้ำบัด PR 30% |  |

รูปที่ 4.10 ภาพการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลี สัปดาห์ที่ 7

| | | | |
|---|---|--|---|
| <p>ดินปล้่า</p>  | <p>ป่นเป็อนเคดเม็ขม</p>  | <p>น้ำบ้ด FA 10%</p>  | <p>น้ำบ้ด FA 20 %</p>  |
| <p>น้ำบ้ด FA 30%</p>  | <p>น้ำบ้ด PR 10%</p>  | <p>น้ำบ้ด PR 20%</p>  | <p>น้ำบ้ด PR 30%</p>  |

รูปที่ 4.11 ภาพการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปล้ี่ ต้บดาค้ที่ 10



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าน้ำหนักหลังอบของดินผักกาดเขียวปลี

จากรูปที่ 4.12 พบว่าการบำบัดดินด้วยเถ้าลอยส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลีคือ เมื่อสัดส่วนของเถ้าลอยมากขึ้นทำให้น้ำหนักแห้งของพืชลดลง ขณะที่การบำบัดดินด้วยหินฟอสเฟตส่งผลต่อการเติบโตของผักกาดเขียวปลีไม่ชัดเจน ขณะที่การทดลองนี้อาจจะมีโอกาสตลาดเคลื่อนได้ จาก 1) ทดสอบโดยการปลูกเพียงอย่างละกระถาง 2) ผักกาดเขียวปลีที่ใช้เป็นผักกาดเขียวปลีที่เพาะไว้เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ก่อนนำมาทดลอง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปโครงการ

จากการศึกษาผลของถ้ำลอยและหินฟอสเฟตต่อการดูดซับแคดเมียมของฝักกาดเขียวปลี โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี รวมทั้งปริมาณแคดเมียมในดินตัวอย่าง ถ้ำลอย และหินฟอสเฟต ก่อนที่จะนำมาทดลอง การทดลองได้ทำการสังเคราะห์การปนเปื้อนแคดเมียมปริมาณความเข้มข้นที่ 50 mg/kg ของน้ำหนักดินแล้วทำการบำบัดด้วยถ้ำลอย และหินฟอสเฟตในอัตราส่วนที่ 10, 20, และ 30 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปใช้ปลูกฝักกาดเขียวปลีจนครบตามกำหนดเป็นเวลา 50 วันแล้วเก็บตัวอย่างฝักกาดกาดเขียวปลีนำมาย่อยสกัดด้วยสารละลายกรด Aqua Regia และวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสารละลายด้วยเครื่อง AAS สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดินตัว มีสมบัติทั้ง 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความชื้น, ค่าความถ่วงจำเพาะ, pH, สภาพนำไฟฟ้า, ขนาดผลของเม็ดดิน รวมถึงปริมาณแคดเมียมในดินตัวอย่าง ถ้ำลอยและหินฟอสเฟต พบว่าดินตัวอย่างมีค่าความชื้นเท่ากับ 25.03 %, ความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 2.71, pH เท่ากับ 6.78, สภาพการนำไฟฟ้าเท่ากับ 100.27 $\mu\text{s}/\text{cm}$, ขนาดของเม็ดดินแบ่งออกเป็น % Sand เท่ากับ 39.5, % Silt เท่ากับ 5.5, % Clay เท่ากับ 57.25 และปริมาณแคดเมียมในดินถ้ำลอยและหินฟอสเฟตมีค่าเท่ากับ 1.29, 2.60, 5.80 ตามลำดับ

5.1.2 ผลของถ้ำลอยและหินฟอสเฟตต่อการดูดซับแคดเมียมในฝักกาดเขียวปลี พบว่าดินที่บำบัดด้วยถ้ำลอยส่งผลต่อการดูดซับแคดเมียมของฝักกาดเขียวปลี เมื่อสัดส่วนการบำบัดเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแคดเมียมในฝักกาดเขียวปลีลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน และพบว่าถ้ำลอยส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมในรากมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับแคดเมียมในใบ ในขณะที่ดินที่บำบัดด้วยหินฟอสเฟตให้ผลที่ไม่ชัดเจน และดินที่บำบัดด้วยถ้ำลอยที่ 30 % ส่งผลให้ร้อยละของแคดเมียมที่ถูกดูดซับแคดเมียมของฝักกาดเขียวปลีมีปริมาณแคดเมียมน้อยสุด

5.1.3 ผลของถ้ำลอยและหินฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของฝักกาดเขียวปลี พบว่าดินที่บำบัดด้วยถ้ำลอยในสัดส่วนที่สูงขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของฝักกาดเขียวปลีทำให้น้ำหนักแห้งของฝักกาดเขียวปลีลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ในขณะที่การบำบัดดินด้วยหินฟอสเฟตส่งผลต่อการเติบโตของฝักกาดเขียวปลีไม่ชัดเจน

5.1.4 การเจริญเติบโตของฝักกาดเขียวปลีที่ทำการเก็บภาพทุกๆ 7 วันเป็นจำนวน 7 ครั้งพบว่าฝักกาดเขียวปลีที่ปลูกในดินที่บำบัดด้วยถ้ำลอยทั้งหมดจะมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่บำบัดด้วยหินฟอสเฟต

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองครั้งนี้จะเป็นการศึกษาปริมาณแคดเมียมในผักกาดเขียวปลีเพียงอย่างเดียว ขณะที่โลหะหนักชนิดอื่นที่สำคัญอีกมากที่อาจปนเปื้อนมากับดินตัวอย่าง ที่ควรทำการทดลอง เพื่อให้ทราบถึงปริมาณและแนวทางในการแก้ไขปัญหาโลหะหนักที่อาจเป็นอันตรายต่อการดำเนินชีวิต และการเกษตรต่อไป

การทดลองการดูดซับแคดเมียมของผักกาดเขียวปลีในกระถางครั้งนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนได้จากหลายสาเหตุ โดยการ 1) ผักกาดเขียวปลีเป็นผักกาดเขียวปลีที่มีอายุ 3 สัปดาห์ ซึ่งไม่ได้ทำการเพาะเมล็ดเอง 2) ทำการปลูกเพียงอย่างละกระถางเดียว



เอกสารอ้างอิง

- บุปผา แซ่มประเสริฐ. (2527). ผลกระทบของแคดเมียมในแอคติเวตสลัดจ์ที่มีต่อพืชผัก และธาตุอาหารพืชบางชนิด. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันทร์เจริญสุข. (2542). แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช. (พิมพ์ครั้งที่ 7). ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. (2543). ดินที่ใช้ปลูกข้าว. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พิชิต พงษ์สกุล และสุรสิทธิ์ อรรถจารสิทธิ์. (2542). การประเมินความปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน. วารสารดินและปุ๋ย ปีที่ 21 (2). หน้า 71-82.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. (2545). ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. (พิมพ์ครั้งที่3). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สมภพ ะปาน,สาวตรี ศรีพยัคฆ์และวาทีการ์ กริมรัมย์. (2552). ผลของเถ้าลอยและหินฟอสเฟตต่อรูปแบบของแคดเมียมในดินและตะกอนที่บำบัดด้วยวิธีทางเคมี. ปริชญานิพนธ์, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สิทธิชัย ดันชนะสถิตย์. (2528). พืชวิทยาสิ่งแวดล้อม. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- อรรรรณ สิริรัตนพิสัย. (2522). อิทธิพลของตะกั่วและแคดเมียมต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของพืชอาหารสัตว์. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Abumaizar R.J. and Smith E.H. (1999). Heavy metal contaminants removal by soil washing. *Journal of Hazardous Material*. B70: 71-86.
- Adriano D.C., Wenzel W.W., Vangronsveld J. and Bolan N.S. (2004). Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. *Geoderma*. 122: 121-142.
- Banat, I.M. (1995). Characterization of biosurfactants and their use in pollution removal-state of the art(Review). *Acta Biotechnol*. 15 : 251-267.
- Basta N.T. and McGowen S.L. (2004). Evaluation of chemical immobilization treatments for reducing metal transport in a smelter- contaminated soil. *Environmental Pollution*. 127: 73-82.
- Brown S., Christensin B., Lombi E., McLughlin., McGrath S., Colpaert J. and Vangronsveld J. (2005). An inter-laboratory study to test the ability of amendments to reduce the availability of Cd, Pb, and Zn in situ. *Environmental Pollution*. 138: 34-45.

- Cao, Wenjie / Zong, Chengqing / Xu, Bo. (2004). **Approach to interchange-format based Chinese generation**. In INTERSPEECH-2004, 1893-1896.
- Chen H.M., Zheng C.R., Tu C. and Shen Z.G. (2000). Chemical method and phytoremediation of soil contaminated with metals. **Chemosphere**. 41: 229-234.
- Chen S.B., Zhu Y.G., Ma Y.B. (2005). The effective of grain size of rock phosphate amendment on metal immobilization in contaminated soils. **Journal of Hazardous Materials**.
- Chen S.B., Zhu Y.G., Ma Y.B. and McKay G. (2006). Effect of bone char application on Pb bioavailability in Pb-contaminated soil. **Environmental Pollution**. 139: 433-439.
- Chen S., Xu M., Ma Y. and Yang J. (2006). Evaluation of different phosphate amendment on availability of metals in contaminated soil. **Ecotoxicology and Environment Safety**.
- Chen Z.S., Lee G.J., Liu J.C. (2000). The effects of chemical remediation treatment on the extractability and speciation of cadmium and lead in contaminated soils. **Chemosphere**. 41: 235-242.
- Hodson M.E., Valsami-Jones E., Cotter-Howells J.D., Dubbin W.E., Kemp A.J., Thornton I., Waren A. (2001). Effect of bone meal (calcium phosphate) amendment on metal release from contaminated soils-a leaching column study. **Environmental Pollution**. 112: 233-243
- Lee T., Lai H., Chen Z. (2004). Effects of chemical amendments on the concentration of cadmium and lead in long term contaminated soils. **Chemosphere**. 57: 1459-1471.
- Lehoczyk, E., I.Szabados, and P. Marth. (1997). Cadmium content of plant as affected by soil Cadmium concentration. **Soil and Plant Analysis in Sustainable Agriculture and Environment**. P.827-839.
- Raicevic S., Tadoicic T.K. and Zouboulis A.I. (2005). In situ stabilization of toxic metal in polluted soils using phosphates: theoretical prediction and experiment verification. **Journal of Hazardous Materials**. B117: 41-53.
- Tang X.Y., Zhu Y.G., Chen S.B., Tang L.L. and Chen X.P. (2004). Assessment of the different phosphorus fertilizers to remediate Pb-contaminated soil using in vitro test. **Environment International**. 30: 531-537.
- United Nation. (2000). **Compendium of soil clean-up technologies and soil remediation companies**. 2nd.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. (2522). อิทธิพลของตะกั่วและแคดเมียมต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของพืชอาหารสัตว์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2553,

จาก <http://www.vet.chula.ac.th/~nuclear/symposium44/Orawan.htm>.

งานประชาสัมพันธ์มหาวิทยาลัยนเรศวร. (ม.ป.ป.). แผนที่มหาวิทยาลัยนเรศวร. 4 ธันวาคม 2553,

จาก <http://web.eng.nu.ac.th/me/mapnu.php>



ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

ตารางที่ ก.1 ผลของการวิเคราะห์หาค่าความชื้นในมวลดิน ความลึก 0-15 เซนติเมตร

| Sample No. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Moisture Can No. | B-1 | B-2 | B-3 | B-4 |
| Mass of Can + Wet soil (g) | 130.4 | 130.2 | 130.1 | 130.0 |
| Mass of Can + Dry soil (g) | 108.1 | 108.4 | 107.9 | 108.1 |
| Mass of Can (g) | 19.9 | 20.1 | 19.9 | 20.2 |
| Mass of Wet soil (g) | 22.3 | 21.8 | 22.2 | 21.9 |
| Mass of Dry Soil (g) | 88.2 | 88.3 | 88.0 | 87.8 |
| Water Content (%) | 25.28 | 24.69 | 25.23 | 24.94 |
| Average | 25.03 | | | |

วิธีการคำนวณ

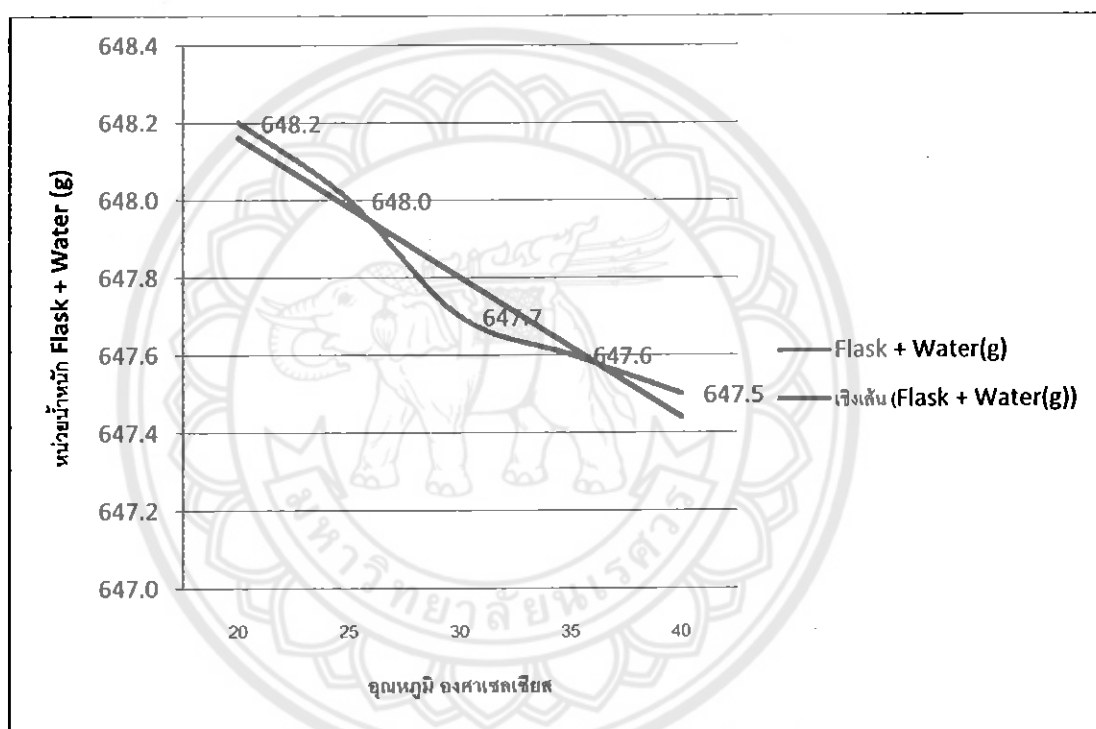
ปริมาณความชื้นในมวลดิน คิดเป็นร้อยละ (Water Content, W %)

$$W_c = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 (\%)$$

เมื่อ W_c = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน W_1 = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินรวมกับน้ำหนักดินเปียก W_2 = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินรวมกับน้ำหนักดินแห้ง

ตารางที่ ก.2 ผลของการวิเคราะห์หาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

| No. | Flask + Water (g) | Temperature ($^{\circ}\text{C}$) |
|-----|-------------------|------------------------------------|
| 1 | 648.2 | 20 |
| 2 | 648.0 | 25 |
| 3 | 647.7 | 30 |
| 4 | 647.6 | 35 |
| 5 | 647.5 | 40 |



รูปที่ ก.1 กราฟการสอบเทียบขวดวัดปริมาตร

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์หาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

| Trial No. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--------|--------|--------|--------|
| 1. Temperature °C | 30 | 25 | 30 | 25 |
| 2. Flask + Water (g) | 648.0 | 647.6 | 648.2 | 648.2 |
| 3. Flask + Water + Soil (g) | 705.1 | 707.3 | 705.5 | 704.8 |
| 4. Container No. | C-1 | C-2 | C-3 | C-4 |
| 5. Dry Soil + Container (g) | 450.7 | 260.3 | 452.0 | 449.0 |
| 6. Weight of Container (g) | 360.4 | 166.1 | 362.0 | 358.7 |
| 7. Dry soil (Ws) | 90.3 | 94.2 | 90 | 90.3 |
| 8. Correction Factor (G _r) | 0.9974 | 0.9989 | 0.9974 | 0.9989 |
| 9. Specific Gravity | 2.71 | 2.73 | 2.75 | 2.68 |
| Average | 2.71 | | | |

วิธีการคำนวณ

$$G_s = \frac{W_s K}{W_s + W_{FW} - W_{FWS}}$$

เมื่อ GS = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่อุณหภูมิ น้ำ 20°C

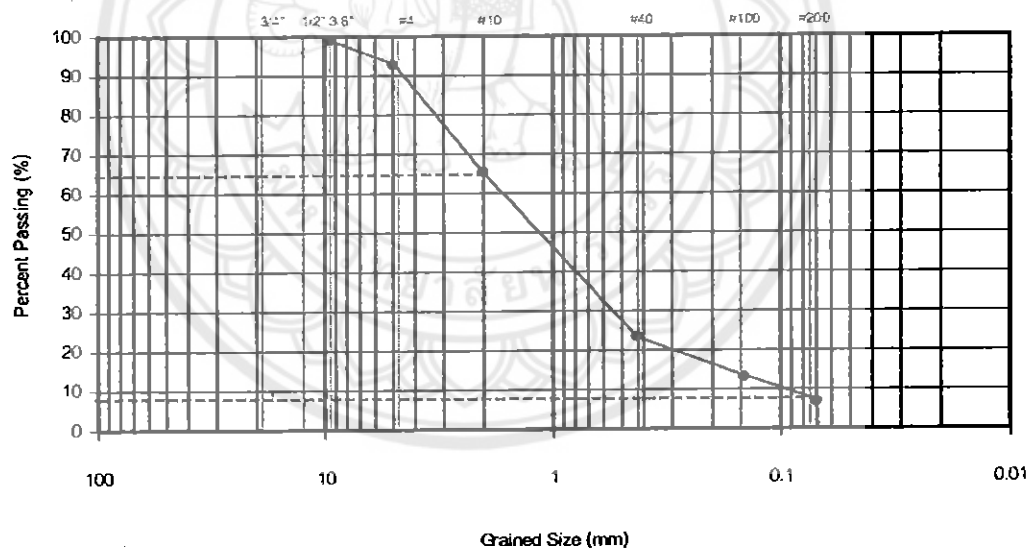
WS = น้ำหนักของตัวอย่างดินที่อบแห้ง

W_{FW} = น้ำหนักของ Volumetric Flask + น้ำ ที่อุณหภูมิหนึ่งW_{FWS} = น้ำหนักของ Volumetric Flask + น้ำ + ดินแห้ง ที่อุณหภูมิ W_{FW}

K = เป็นค่าตัวแปรปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ

ตารางที่ ก.4 ผลของการวิเคราะห์หาขนาดของดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานครั้งที่ 1

| Sieve No. | Sieve Opening (mm) | Weight Sieve (g) | Wt. Sieve + soil (g) | Wt. Soil Retained (g) | Percent Retained (%) | Cumulative Percent Retained | Percent Passing (%) |
|-----------|--------------------|------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|
| 3/8 in | 9.525 | 530 | 535 | 5 | 0.5 | 0.5 | 100 |
| #4 | 4.75 | 510 | 580 | 70 | 7.0 | 7.5 | 93 |
| #10 | 2 | 495 | 775 | 280 | 28.0 | 35.5 | 65 |
| #40 | 0.425 | 385 | 795 | 410 | 41.0 | 76.5 | 24 |
| #100 | 0.15 | 380 | 490 | 110 | 11.0 | 87.5 | 13 |
| #200 | 0.075 | 290 | 350 | 60 | 6.0 | 93.5 | 7 |
| Pan | | 315 | 380 | 65 | 6.5 | 100.0 | 0 |



รูปที่ ก.2 Particle Size Distribution Curve ของการทดลองครั้งที่ 1

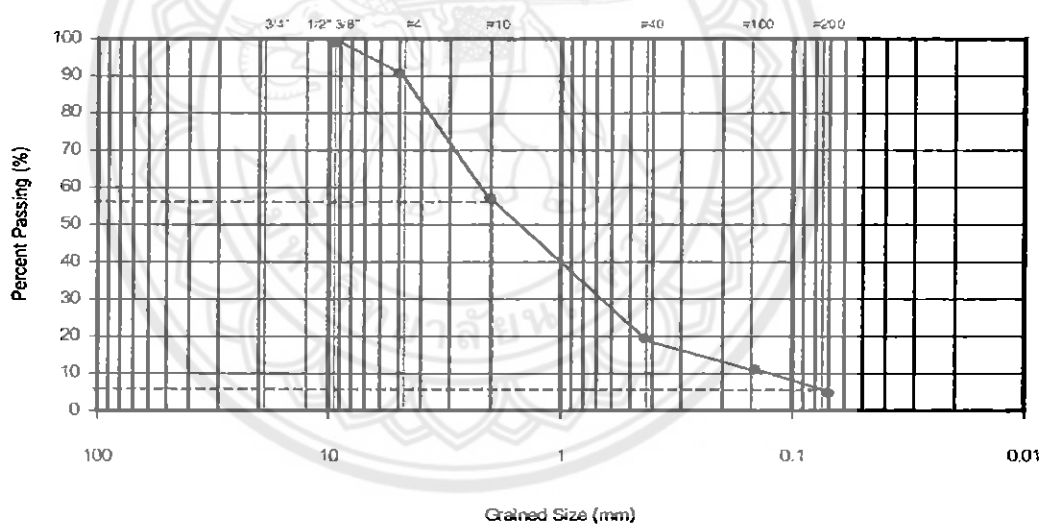
%Sand = 35.5 %

%Silt = 58 %

%Clay = 6.5%

ตารางที่ ก.5 ผลของการวิเคราะห์หาขนาดของดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานครั้งที่ 2

| Sieve No. | Sieve Opening (mm) | Weight Sieve (g) | Wt. Sieve + soil (g) | Wt. Soil Retained (g) | Percent Retained (%) | Cumulative Percent Retained | Percent Passing (%) |
|-----------|--------------------|------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|
| 3/8 in | 9.525 | 530 | 535 | 5 | 0.5 | 0.5 | 100 |
| #4 | 4.75 | 510 | 595 | 85 | 8.5 | 9.0 | 91 |
| #10 | 2 | 495 | 840 | 345 | 34.5 | 43.5 | 57 |
| #40 | 0.425 | 385 | 765 | 380 | 38.0 | 81.5 | 19 |
| #100 | 0.15 | 380 | 470 | 90 | 9.0 | 90.5 | 10 |
| #200 | 0.075 | 290 | 340 | 50 | 5.0 | 95.5 | 5 |
| Pan | | 315 | 360 | 45 | 4.5 | 100.0 | 0 |



รูปที่ ก.3 Particle Size Distribution Curve ของการทดลองครั้งที่ 2

%Sand = 43.5 %

%Silt = 56.5 %

%Clay = 4.5 %

ตารางที่ ก.6 ผลการวิเคราะห์หาค่า pH ของดินที่ความลึก 0 – 15 เซนติเมตร

| Trial No. | ค่า pH |
|-----------|--------|
| 1 | 6.82 |
| 2 | 6.74 |
| 3 | 6.77 |
| 4 | 6.80 |
| Average | 6.78 |

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองหาค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดิน

| Trial No. | ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s}/\text{cm}$) |
|-----------|---|
| 1 | 101.00 |
| 2 | 100.00 |
| 3 | 98.90 |
| 4 | 101.20 |
| Average | 100.27 |

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและการเติบโตของผักกาดเขียวปลี

ตารางที่ ข.1 น้ำหนักผักกาดเขียวปลีหลังการอบหน่วยเป็นกรัม

| ชนิด | หน่วยน้ำหนักก่อนอบ | หน่วยน้ำหนักหลังอบ |
|----------------------|--------------------|--------------------|
| ดินเปล่า | 49.161 | 3.709 |
| ปนเปื้อน Cd 50 mg/kg | 13.906 | 0.740 |
| FA 10% | 95.060 | 7.646 |
| FA 20% | 78.012 | 5.777 |
| FA 30% | 55.228 | 4.179 |
| PR 10% | 37.762 | 2.690 |
| PR 20% | 51.872 | 3.833 |
| PR 30% | 36.089 | 2.563 |

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน, FA และ PR

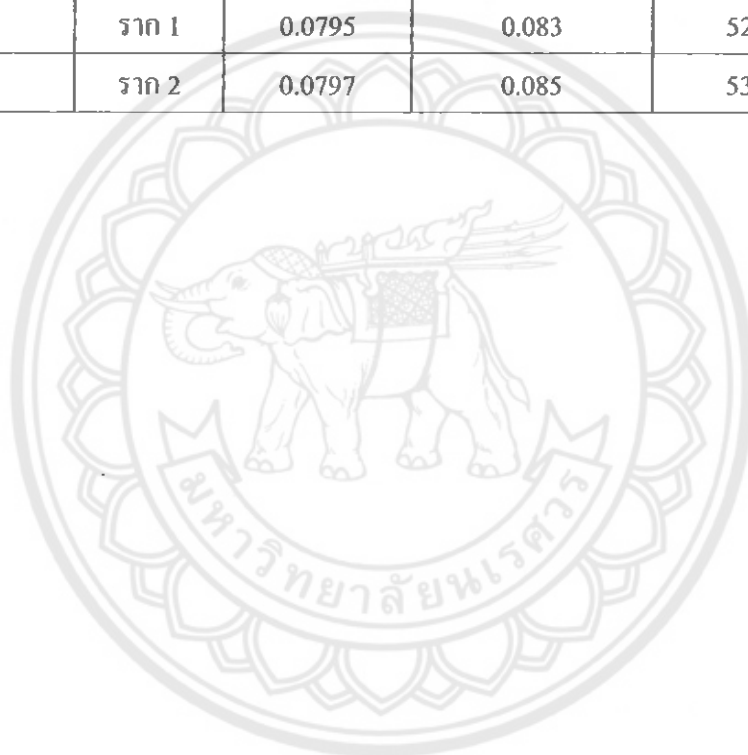
| ชนิด | ตัวอย่างที่ | น้ำหนักของ ตัวอย่าง (g) | ปริมาณแคดเมียม (mg/l) | ปริมาณแคดเมียม (mg/kg) |
|------|-------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| ดิน | 1 | 0.5001 | 0.010 | 0.99 |
| | 2 | 0.5002 | 0.015 | 1.49 |
| | 3 | 0.5002 | 0.015 | 1.49 |
| | Average | 0.5002 | 0.013 | 1.29 |
| FA | 1 | 0.5000 | 0.025 | 2.50 |
| | 2 | 0.4999 | 0.028 | 2.80 |
| | 3 | 0.5001 | 0.027 | 2.69 |
| | Average | 0.5000 | 0.026 | 2.60 |
| PR | 1 | 0.5002 | 0.056 | 5.59 |
| | 2 | 0.5000 | 0.058 | 5.80 |
| | 3 | 0.4998 | 0.061 | 6.10 |
| | Average | 0.5000 | 0.058 | 5.80 |

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในกะหล่ำเขียวปลี

| ชนิด | ตัวอย่างที่ | น้ำหนักของ ตัวอย่าง (g) | ปริมาณแคดเมียม (mg/l) | ปริมาณแคดเมียม (mg/kg) | เฉลี่ย (mg/kg) | |
|-------------|-------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|-------|
| คิน | ใบ 1 | 0.4995 | 0.021 | 2.102 | 2.14 | |
| | ใบ 2 | 0.5017 | 0.022 | 2.193 | | |
| | ราก 1 | 0.1527 | 0.019 | 6.221 | 6.38 | |
| | ราก 2 | 0.1528 | 0.020 | 6.545 | | |
| ปนเปื้อน Cd | ใบ 1 | 0.2777 | 0.233 | 41.952 | 39.83 | |
| | ใบ 2 | 0.2797 | 0.211 | 37.719 | | |
| | ราก 1 | 0.0402 | 0.088 | 109.453 | 104.60 | |
| | ราก 2 | 0.0406 | 0.081 | 99.754 | | |
| | FA 10% | ใบ 1 | 0.5002 | 0.385 | 38.485 | 28.88 |
| | | ใบ 2 | 0.5002 | 0.193 | 19.292 | |
| | | ราก 1 | 0.0779 | 0.080 | 51.348 | 50.19 |
| | | ราก 2 | 0.0775 | 0.076 | 49.032 | |
| FA 20% | ใบ 1 | 0.5003 | 0.246 | 24.585 | 24.47 | |
| | ใบ 2 | 0.5007 | 0.244 | 24.366 | | |
| | ราก 1 | 0.1471 | 0.080 | 27.192 | 25.65 | |
| | ราก 2 | 0.1472 | 0.071 | 24.117 | | |
| FA 30% | ใบ 1 | 0.4995 | 0.208 | 20.821 | 20.42 | |
| | ใบ 2 | 0.4992 | 0.200 | 20.032 | | |
| | ราก 1 | 0.1184 | 0.043 | 18.159 | 18.58 | |
| | ราก 2 | 0.1183 | 0.045 | 19.019 | | |
| PR 10% | ใบ 1 | 0.5001 | 0.376 | 37.592 | 38.18 | |
| | ใบ 2 | 0.5004 | 0.388 | 38.769 | | |
| | ราก 1 | 0.1255 | 0.125 | 49.801 | 47.98 | |
| | ราก 2 | 0.1256 | 0.116 | 46.178 | | |

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในกะหล่ำเขียวปติ (ต่อ)

| ชนิด | ตัวอย่างที่ | น้ำหนักของ ตัวอย่าง (g) | ปริมาณแคดเมียม (mg/l) | ปริมาณแคดเมียม (mg/kg) | เฉลี่ย (mg/kg) |
|--------|-------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|
| PR 20% | ใบ 1 | 0.5003 | 0.297 | 29.682 | 29.18 |
| | ใบ 2 | 0.5001 | 0.287 | 28.694 | |
| | ราก 1 | 0.1249 | 0.087 | 34.828 | 36.82 |
| | ราก 2 | 0.1249 | 0.097 | 38.831 | |
| PR 30% | ใบ 1 | 0.5005 | 0.366 | 36.563 | 35.42 |
| | ใบ 2 | 0.5003 | 0.343 | 34.279 | |
| | ราก 1 | 0.0795 | 0.083 | 52.201 | 52.76 |
| | ราก 2 | 0.0797 | 0.085 | 53.325 | |



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายศิริกร แสนธิไชยา
 ภูมิลำเนา 177 หมู่ 10 ต. บ่อภาค อ. ขาดิระการ
 จ. พิชณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 23
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: sirakron_envi@hotmail.com



ชื่อ นายมงคล ยาวิชัย
 ภูมิลำเนา 282 หมู่ 5 ต. แม่คะ อ. ฝาง
 จ. เชียงใหม่

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนฝางชนูปถัมภ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: bird_yawichai@hotmail.com

ชื่อ นายทัญญู คิ้วบ้านยาง
ภูมิลำเนา 197 หมู่ 7 ต.บางระกำ อ.บางระกำ
จ. พิจิตร โลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิจิตรโลก
พิจิตรคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: kuilwood@hotmail.com

