สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสะสมแคดเมียมในพืชสวนครัว

นางสาวบุญญมาลย์ รุจิสุข
นางสาวปิ่นหทัย โตปู่
นางสาวศิริพรรณ ธำรงคุณากร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขหมู่ 107847
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553
b.12211679
i.

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Accumulation of Cadmium on Culinary Herbs

Miss Bunyamarl Rujisuk

Miss Pinhathai Topoo

Miss Siriphan Thamrongkunagon

A Special Project submitted in Partial Fulfillment of the Requirement of the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การสะสมแคดเมียมในพืชสวนครัว	
นักศึกษา	นางสาวบุญญมาลย์	รุจิสุข
	นางสาวปิ่นหทัย	โตปู่
	นางสาวศิริพรรณ	ธำรงคุณากร
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2549	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		**ลายมือชื่อ**
ประธานกรรมการ	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	----------
กรรมการ	ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	----------
กรรมการ	ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	----------

(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การสะสมแคดเมียมในพืชสวนครัว

นักศึกษา นางสาวบุญญมาลย์ รุจิสุข

นางสาวปิ่นหทัย โตปู่

นางสาวศิริพรรณ ธำรงคุณากร

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ เป็นการศึกษาความสามารถในการสะสมโลหะหนักแคดเมียม ในพืชสวนครัว 2 ชนิด คือ กระเพรา และ โหระพา ทำการทดลองและศึกษาโดยแบ่งส่วนต่างๆของต้นพืช คือส่วนที่กินได้(ใบ) และ ส่วนที่กินไม่ได้(ลำต้น+ราก) ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทำการเก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ห้วยแม่ตาว อ.แม่สอด จ.ตาก โดยแบ่งดินที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ดินชุดที่ 1 ดินธรรมชาติที่ใช้เพาะต้นพืชและใช้เป็นชุดควบคุม ดินชุดที่ 2 และ 3 เก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ 2 บริเวณที่ปริมาณการปนเปื้อนแตกต่างกัน จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่มีการปนเปื้อน พบว่าตัวอย่างที่ใช้เป็นดินร่วนปนทราย มีค่าพีเอช 6.21±0.07 และ 6.21±0.07 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 1.53±0.02 และ 2.10±0.43 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำหนักดินแห้ง100 กรัม ความชื้น 0.60±0.01 และ 0.50±0.01 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 1.31±0.00 และ 1.60±0.01 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรียวัตถุ 2.26±0.01 และ 2.76±0.02 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 4.42±0.48 และ 31.61±3.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง ดินที่เก็บรวบรวมมีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและแหล่งเกษตรกรรม

จากการศึกษาผลของระยะเวลาที่มีผลต่อการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆของต้นพืชพบว่าในดินชุดที่ 2 และชุดที่ 3 การดูดซึมและดูดซับแคดเมียมเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดิน โดยการดูดซึมแคดเมียมมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามระยะเวลาในการปลูกต้นพืช และที่ระยะเวลา 28 วัน พบว่าปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในต้นโหระพา มีสัดส่วนที่สูงกว่าปริมาณที่สะสมอยู่ที่ต้นกระเพรา เนื่องจากการเจริญเติบโตของต้นโหระพาที่ดีกว่าต้นกระเพรา และจะมีการสะสมบริเวณรากและลำต้นได้สูงกว่าที่ใบ

คำสำคัญ : แคดเมียม การปนเปื้อนของดิน การสะสมแคดเมียมในพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Accumulation of Cadmium on Culinary Herbs

Name Bunyamarl Bujisuk

Pinhathai topoo

Siriphan thamrongkunagon

Department Chemistry

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2006

Special Project Advisor Asst.Prof.Pitsamai Chairatu-tai

Abstract

This special project studied on the ability to absorb and adsorb cadmium from the contaminated soil with *Ocimum sanctum linn* and *Ocimum basilicum Linn.* Soil using in this study was collected from contaminated area near Mae Tao creek, Maesod districted, Tak province. The experiment was designed with three type of soil: (i) controlled (ii) low contaminated and (iii) high contaminated. From physical and chemical characterization of contaminated soil samples, it was found that contaminated soil using in this study was sandy clay loam texture with pH of 6.21±0.07 and 6.21±0.07, cation exchange capacity of 1.53±0.02 and 2.10±0.43 meq/100 g dry soil, moisture content of 0.60±0.01 and 0.50±0.01%, Organic carbon of 0.31±0.01 and 1.60±0.01%, organic matter of 2.26±0.01 and 2.76±0.02 % and total cadmium concentration of 4.42±0.48 and 31.61±3.01 mg/kg dry soil. Since total cadmium concentration was below standard for living and agricultural purpose.

After 28 days, it was found that *Ocimum basilicum Linn* absorb and adsorb cadmium from the contaminated soil higher than *Ocimum sanctum linn* .The results of the experiment suggest that certain *Ocimum basilicum Linn* accessions are suitable for phytoextraction of moderately heavy metal contaminated soils . It was found that the accumulation of cadmium in root and shoot is higher than the leaf.

Keywords : cadmium, contaminated soil, accumulated cadmium in plant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีในครั้งนี้ ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา เสนอแนะแนวทางให้คำแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องมาอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการควบคุมโครงงานพิเศษที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและคำติชมเพิ่มเติมทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์, เจ้าหน้าประจำภาควิชาเคมีทุกท่าน และนักศึกษาปริญญาโท ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกอย่างดียิ่งในด้านอุปกรณ์ สารเคมี และงานด้านเอกสารต่างๆ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำโครงงานพิเศษจนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ รวมทั้งให้กำลังใจในการทำโครงงานพิเศษมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจและคำปรึกษามาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

นางสาวบุญญมาลย์ รุจิสุข
นางสาวปิ่นหทัย โตปู่
นางสาวศิริพรรณ ธำรงคุณากร

ขอขอบพระคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ภาวะมลพิษของดิน	3
2.2 ธาตุพิษในดิน	4
2.3 สมบัติของดิน	5
2.3.1 สมบัติทางกายภาพ	5
2.3.2 สมบัติทางเคมี	8
2.4 การป้องกันและกำจัดสารอนินทรีย์เคมีที่ปนเปื้อน	11
2.4.1 การลดการนำดินไปใช้	11
2.4.2 การทำให้มลสารไม่สามารถเคลื่อนที่ได้	11
2.4.3 การบำบัดทางชีวภาพโดยอาศัยพืช	12
2.5 โลหะหนักที่ทำการศึกษา	13
2.5.1 แคดเมียม	13
2.5.1.1 ประโยชน์และโทษของแคดเมียม	14
2.5.1.2 การเกิดปฏิกิริยาในดินของแคดเมียม	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1.3 ลักษณะการแพร่กระจายและการปนเปื้อน	16
2.5.1.4 ปริมาณในดินและพืช	16
2.6 พืชที่ใช้ในการศึกษา	16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	21
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	21
3.1.1 สารเคมี	21
3.1.2 อุปกรณ์	22
3.2 การเตรียมตัวอย่างดินและพืช	22
3.2.1 การเตรียมดิน	22
3.2.2 การเตรียมพืช	23
3.3 การทดลอง	23
3.4 การเก็บตัวอย่างพืช และดิน	24
3.5 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	24
3.6 การศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของพืช	25
3.7 การศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อการสะสมแคดเมียมในต้นพืชดินและในดิน	25
3.8 การศึกษาผลของการเปรียบเทียบการสะสมแคดเมียมในพืช 2 ชนิด	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	26
4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	26
4.1.1 ค่าพีเอชในดินก่อนและหลังจากการปลูกพืช	27
4.1.2 อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon, %OC) และอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter, %OM)	27
4.1.3 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	30
4.2 ลักษณะการเจริญเติบโตของพืช	30
4.3 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการสะสมแคดเมียมในต้นพืชดินและในดิน	31
4.4 ผลของการเปรียบเทียบการสะสมแคดเมียมในพืช 2 ชนิด	36
4.5 ศึกษาปริมาณแคดเมียมที่สะสมในส่วนที่กินได้ของต้นพืชทั้ง 2 ชนิด	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก	42
ภาคผนวก ข	49
ภาคผนวก ค	51
ภาคผนวก ง	61
ภาคผนวก จ	66
ภาคผนวก ฉ	75
ภาคผนวก ช	77
ภาคผนวก ซ	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่า CEC ของดินประเภทต่าง ๆ และในอินทรียวัตถุ	11
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและอินทรีย์วัตถุกับค่า CEC	11
ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน	24
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	27
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพีเอชก่อนและหลังการปลูกพืชทั้ง 2 ชนิดในดิน 3 ชุด	28
ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะอาการของพืช	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สภาพการดูดซับและการดูดซึม	7
รูปที่ 2.2 สภาพละลายได้ของธาตุอาหารพืชในช่วง pH ต่าง ๆ ของดิน	10
รูปที่ 2.3 ผลกระทบต่อดินที่ดูดซับโลหะ Pb, Cu, Zn และ Cd	12
รูปที่ 2.4 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกะเพรา	17
รูปที่ 2.5 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของโหระพา	18
รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของต้นกระเพราในดิน 3 ชุด	29
รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของต้นกระเพราในดิน 3 ชุด	29
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของพืชทั้ง 2 ชนิด ที่ปลูกในดินทั้ง 3 ชุด	30
รูปที่ 4.4 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในต้นกระเพราที่ปลูกในดินชุดที่ 2 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน	32
รูปที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในต้นโหระพา ที่ปลูกในดินชุดที่ 2 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน	33
รูปที่ 4.6 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในต้นกระเพรา ที่ปลูกในดินชุดที่ 3 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน	34
รูปที่ 4.7 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในต้นโหระพา ที่ปลูกในดินชุดที่ 3 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน	35
รูปที่ 4.8 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในดินและพืชทั้งสองชนิด ที่ระยะเวลา 28 วัน	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้

มล.	มิลลิลิตร
มก./กก	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
Abs	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
kg/cm^3	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
meq/g	มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ND	ไม่สามารถอ่านค่าได้ (No Detect)
ppm	หนึ่งส่วนในล้านส่วน (part per million)
pH	พีเอช
CEC	ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
OC	อินทรีย์คาร์บอน
OM	อินทรียวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมดิน และน้ำ ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หรือจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ล้วนแต่ส่งผลกระทบในระยะยาวต่อสภาพแวดล้อม เช่น ปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียมในดินที่ห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตากที่มีการทำเหมืองแร่สังกะสี ซึ่งในแหล่งแร่สังกะสีมักพบแร่แคดเมียมปะปนอยู่ด้วย จึงมีความเป็นไปได้ที่พื้นดินในบริเวณดังกล่าว จะมีการปนเปื้อนของโลหะหนักค่อนข้างสูง จากการตรวจสอบของนักวิจัยจากสถาบันจัดการคุณภาพน้ำอิวมีร่วมกับนักวิชาการจากกรมวิชาการการเกษตร พบว่าปริมาณแคดเมียมในดินสูงเกินค่ามาตรฐานที่สหพันธ์แห่งชาติยุโรปกำหนดไว้ และร้อยละ 80 ของตัวอย่างข้าวที่นำมาวิเคราะห์มีปริมาณที่สูงเกินค่ามาตรฐานที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งชาติกำหนดไว้ (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา 2547) เทคนิคที่ใช้ในการกำจัดหรือฟื้นฟูดินที่มีโลหะหนักปนเปื้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การปรับเสถียร การใช้พืชบำบัด การชะล้าง การตกตะกอน เป็นต้น การใช้พืชบำบัด (Phytoremediation) คือการนำพืชมาดึงหรือดูดซับสารพิษมาสะสมในต้นพืช ประกอบด้วยกระบวนการย่อย คือการดูดซึมโลหะหนัก (Rhizofiltration) การทำให้อยู่ในรูปที่เสถียร (Phytostabilization) การสกัดออก (Phytoextraction) การใช้เอนไซม์(phytostimulation) พืชหลายชนิดสามารถดูดซับโลหะหนัก (Cd, Cu, As, Pb, Ni, Zn, Hg) ที่ปนเปื้อนในดินมาสะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นพืชและพืชนั้นยังสามารถเจริญเติบโต ได้แก่ พืชตระกูลหญ้า (Canadian wildryl, Thlaspi, Urtica, Alyssim, Chenopodium, Polygonum sachalase) ผักชนิดต่างๆ (แครอท มันฝรั่ง ผักกาดหอม สควอส) และผลไม้ (ลูกแพร์ แอปเปิ้ล ลูกพลับ) (Baker และคณะ, 1991, Sung และคณะ, 2002) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่พืชไม้ใบหลายชนิดที่คนไทยนิยมรับประทานสดๆ เช่น กระเพรา โหระพา จะดึงหรือดูดซับเอาโลหะหนักจากดินมาสะสมไว้ที่ส่วนต่าง ๆ ของต้นโดยที่พืชยังสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ และธรรมชาติของพืชเหล่านี้จะแพร่พันธุ์ได้เองหลังจากดินมีความชื้นเหมาะสม ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาปริมาณแคดเมียมที่สะสมในส่วนต่างๆ ของพืชสวนครัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อการสะสมแคดเมียมในดินและต้นพืช
2. ศึกษาผลของชนิดต้นพืชที่มีต่อการสะสมแคดเมียมในดินและต้นพืช
3. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักในต้นพืช

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. การทดลองนี้ใช้ดินที่เก็บจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนจากการทำเหมืองแร่สังกะสีบริเวณห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยเก็บดินในพื้นที่ 2 แหล่ง คือ บริเวณที่มีการปนเปื้อนน้อย (น้อยกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และบริเวณที่มีการปนเปื้อนมาก (มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
2. พืชที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กระเพรา และโหระพา
3. โลหะหนักที่ทำการศึกษา คือ แคดเมียม
4. สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอช, เปอร์เซ็นต์ความชื้น, ค่าการการแลกเปลี่ยนประจุบวก , ปริมาณสารอินทรีย์ และปริมาณแคดเมียมทั้งหมด
5. ระยะเวลาที่ศึกษา 1 เดือน โดยทำการเก็บตัวอย่างทุก 7, 14, 21 และ 28 วัน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงปริมาณโลหะหนักที่พืชใบสามารถดูดซึมหรือดูดซับเข้าไปสะสมตามส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ภาวะมลพิษของดิน

ภาวะมลพิษของดิน (Soil Pollution) หมายถึง ภาวะการปนเปื้อนของดินด้วยสารมลพิษ (Soil Pollution) มากเกินขีดจำกัด จนมีอันตรายต่อสุขภาพอนามัย ตลอดจนการเจริญเติบโตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ดังนั้นภาวะมลพิษของดินจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสารมลพิษในดินและดินจะเสียได้ก็ต่อเมื่ออัตราการเพิ่มสารมลพิษลงไปในดินมีมากกว่าการสลายตัวของสารมลพิษนั้นจนเกิดการสะสมมลพิษมากถึงขั้นเป็นอันตรายต่อสภาวะแวดล้อม

ปัญหาดินเป็นพิษสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม (สุธีลา และคณะ, 2544) คือ

1. ดินเป็นพิษในภาคเกษตรกรรม

การใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิต ถ้าใช้ไม่ถูกต้องแล้วก็จะมีโทษตามมา เพราะปุ๋ยเคมีจะมีผลให้เกิดขบวนการมากมาย เช่น การแปรรูปของธาตุ (transformation) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การดูดซึม (absorption) การตกตะกอน (precipitation) การตรึงธาตุต่าง ๆ (fixation) การดูดอาหารโดยรากพืช (absorption by plant root) การสูญเสียธาตุอาหารในสภาพก๊าซ (gaseous losses) และขบวนการอื่น ๆ

นอกจากนี้แล้วก็ยังมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งสารกำจัดศัตรูพืชนี้เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาโดยกระบวนการทางเคมีและ/หรือสกัดจากธรรมชาติ ปัญหาดินเป็นพิษเนื่องจากสารกำจัดศัตรูพืชนี้ขึ้นอยู่กับความคงทนในดิน และความเป็นพิษของสารนั้นที่จะทำลายสิ่งมีชีวิตในดิน/จุลินทรีย์ดินรวมทั้งส่งผลทางลบแก่พืชที่จะเจริญเติบโตในบริเวณนั้น

2. ดินเป็นพิษในภาคอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีตั้งแต่เล็กถึงขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจึงมีหลายประเภท พิษภัยของของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนในดินจึงแตกต่างกันออกไป เช่น การปนเปื้อนของเกลืออนินทรีย์ปริมาณมาก ก็อาจทำให้ดินมีสภาพเป็นดินเค็มได้ กรดหรือด่างก็อาจทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดจัดหรือด่างจัด สารพิษต่าง ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นอันตราย เช่น โลหะหนัก โลหะหนักปนเปื้อนในดินโดยทั่วไป ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ปรอทและโลหะอื่น ๆ

นอกจากของเสียแล้ว กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทั้งแบบใช้เคมีและชีวภาพจะมีสารปนเปื้อนทั้งสิ้น โดยโลหะหนักที่พบในกากตะกอนมีอยู่ 4 รูป คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 รูปที่ถูกดูดซับหรือแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปแบบนี้พบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในปริมาณมาก

2.2 รูปที่ธาตุโลหะต่าง ๆ ในดินถูกจับอยู่กับสารอินทรีย์และวัตถุอินทรีย์ ซึ่งพืชยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ธาตุนี้จะถูกปลดปล่อยออกจากดินอย่างช้า ๆ ตามระยะเวลา

2.3 รูปออกไซด์ของคาร์บอเนตหรือเหล็ก รูปแบบนี้พืชจะดูดซับได้น้อยเนื่องจากโลหะหนักในดินจะจับอยู่กับคาร์บอเนตและออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ทำให้โลหะรูปนี้ถูกปลดปล่อยออกมาได้น้อย แต่หากดินมีสภาพเป็นกรดโลหะรูปนี้ก็สามารถที่จะละลายออกมาได้

2.4 รูปที่เหลือซึ่งประกอบด้วยซัลไฟด์และสารประกอบที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ รูปนี้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่ารูปแบบอื่น ๆ

จะเห็นได้ว่าจากแหล่งกำเนิดสารมลพิษ เช่น สารเคมีปราบศัตรูพืช ปุ๋ย จากภาคเกษตรกรรม วัตถุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรม หากเกินความสามารถที่ดินจะรับไว้ได้ ดินก็จะปลดปล่อยสารมลพิษเหล่านั้น ไม่ว่าจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ ไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัส หรือสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมและจะแพร่กระจายได้ในรูปสารละลายหรือสารแขวนลอยในน้ำในดิน รวมทั้งปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดินต่อไป

2.2 ธาตุพิษในดิน

ธาตุพิษ (Toxic Elements) โดยทั่วไปหมายถึง โลหะหนักและธาตุอื่นซึ่งเป็นสารมลพิษในดิน ธาตุพิษเหล่านี้ปนเปื้อนในดินเนื่องจากมีการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปสารประกอบและส่วนประกอบของเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ

ธาตุโลหะที่ปนเปื้อนในดินอาจอยู่ในรูปต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ละลายในสารละลายดิน (Soluble Form)
2. ถูกดูดซับในตำแหน่งผิวของอนุภาคคอลลอยด์ดิน (Adsorbed Form)
3. ตกตะกอนหรือตกตะกอนร่วมกับสารอื่น (Precipitated Form)
4. ถูกตรึงและจับกับสารแขวนลอยอื่นหรือแร่ในดิน (Fixed , Occluded Form)
5. เปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางชีวภาพ (Organic Form)

ธาตุโลหะในรูปที่หนึ่งและสอง จัดเป็นรูปที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile) ในดินสามารถถูกพืชนำไปใช้ได้ ส่วนสามรูปหลังเป็นรูปที่ไม่เคลื่อนที่ (Immobile) แต่เนื่องจากกระบวนการในดินมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเป็นพลวัต (Dynamic) จึงอาจมีการเปลี่ยนแปลงธาตุที่ปนเปื้อนในดินให้อยู่ในรูปต่าง ๆ ที่กล่าวได้ตลอดเวลา

ซึ่งสามารถแบ่งธาตุออกได้ตามลักษณะสภาวะมลพิษเป็น 2 พวก คือ

1. **มลสารที่ก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาว** ได้แก่ สารมลพิษซึ่งตกค้างอยู่ในดินเป็นระยะเวลานาน และมีพืชที่สามารถทนต่อมลพิษนี้ได้ในปริมาณที่จำกัด ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว และปรอท ซึ่งธาตุเหล่านี้ถ้ามีอยู่ในดินในปริมาณมากพืชจะไม่สามารถใช้และเก็บสะสมได้มาก ดังนั้นในปีแรก ๆ ที่ดินได้รับมลพิษเหล่านี้จึงอาจมองเห็นปัญหาได้ไม่ชัดเจนเพราะธาตุเหล่านี้แพร่กระจายสู่ห่วงโซ่อาหารได้ในปริมาณที่น้อย
2. **มลสารที่ก่อให้เกิดปัญหาในระยะสั้น** ได้แก่ สารมลพิษที่ละลายน้ำได้ง่าย พืชสามารถดูดซึมได้ทันทีและดูดซึมในปริมาณมาก ทำให้เกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว ได้แก่ โบรอน แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี

ซึ่งการถูกดูดซับของธาตุโลหะหนักในดินเกิดขึ้นโดยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น พันธะไอออนิก แรงดึงดูดแวนเดอร์วาล์ว (Van Der Walls Attration) พันธะไฮโดรเจน (H-bonding) พันธะโคออร์ดิเนต (Coordinate bonding) การแลกเปลี่ยนลิแกนด์ (Ligand exchange) หรือพันธะทางเคมีอื่น ๆ และธาตุแต่ละชนิดอาจถูกดูดซับได้ด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน

2.3 สมบัติของดิน

2.3.1 สมบัติทางกายภาพ

2.3.1.1 เนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

เนื้อดินสามารถบอกถึงปริมาณคอลลอยด์อนินทรีย์ได้อย่างคร่าว ๆ ทั้งนี้เพราะอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากเมื่อยู่ในสภาพคอลลอยด์จึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักสูง ดินที่มีเนื้อละเอียดขึ้นจะมีพื้นที่ผิวสูงขึ้น การเพิ่มพื้นที่ผิวให้สูงขึ้นในดินเนื้อหยาบก็สามารถทำได้เช่นกันโดยการเติมคอลลอยด์อินทรีย์ลงไป ซึ่งได้แก่ ฮิวมัส การเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดินเมื่อสารอินทรีย์สลายตัวก็จะให้ฮิวมัสแก่ดินได้

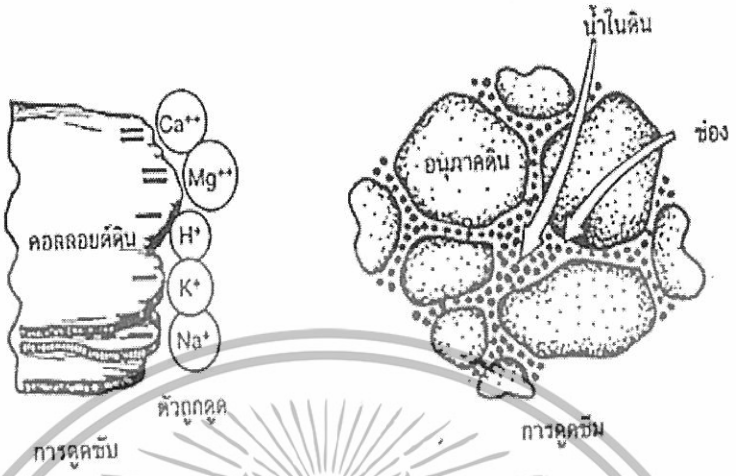
2.3.1.2 เนื้อดินกับความพรุนของดิน (Soil Porosity) ดินเนื้อหยาบจะมีช่อง (Pore) ขนาดใหญ่อยู่มากแต่จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เมื่อดินแห้งลงจะอุ้มน้ำได้น้อยทำให้ก๊าซถ่ายเทได้ดี ส่วนในดินที่มีปริมาณซิลท์สูง เมื่อฝนตกหรือระหว่างให้น้ำจะสูญเสียโครงสร้างดินได้ง่าย ซิลท์จะไหลลงอุดตันช่องทำให้ผิวหน้าดินปิด ดังนั้นแม้การให้น้ำเพียงเล็กน้อยอาจทำให้ช่องบนผิวหน้าดินปิดได้ ทำให้น้ำและแก๊สไหลถ่ายเทได้น้อยลง อนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากและส่วนใหญ่อยู่ในสภาพคอลลอยด์ จึงยากที่จะบ่งบอกและปริมาณช่องที่มีอยู่ในดินนี้ เนื่องจากอนุภาคดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนียวอาจเกาะยึดกันเองเป็นเม็ดดินที่เสถียร (Stable Aggregate) ซึ่งในสภาพเช่นนี้ดินเหนียวจะมีความพรุนสูงมาก ในทางตรงกันข้ามหากอนุภาคไม่เกาะยึดกันอยู่ในสภาพฟุ้งกระจาย ดินเหนียวลักษณะเช่นนี้จะแน่นทึบมาก น้ำและอากาศไหลถ่ายเทได้ยากมาก จะอย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้ว ช่องขนาดเล็ก (Micropore) ในดินก็ยังมีความสัมพันธ์กับเนื้อดินโดยที่ดินเนื้อละเอียดจะมีช่องขนาดเล็กมากกว่าดินเนื้อหยาบ ซึ่งช่องขนาดเล็กจะสามารถดูดซึมน้ำเอาไว้ได้ ทำให้ดินเนื้อละเอียดสามารถอุ้มน้ำได้ (Available Water Capacity – AWC) มากกว่าดินเนื้อหยาบ ส่วนของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีความสำคัญต่อพืชและต่อจุลินทรีย์ดินเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งวัสดุเหลือใช้ และต้องการให้ดินและพืชเป็นตัวการกำจัดสารมลพิษและวัสดุเหลือใช้ดังกล่าว

2.3.1.3 เนื้อดินกับการดูดซับ (Adsorption) และการดูดซึม (Absorption) กระบวนการดูดซับ (Adsorption) หมายถึง กระบวนการที่เกิดขึ้นระดับโมเลกุลระหว่างสารที่เป็นตัวดูดซับ (Adsorbant) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ากับสารที่เป็นตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเป็นอย่างมาก ส่วนการดูดซึมเป็นกระบวนการที่มีสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปเกี่ยวข้องด้วยเช่นเดียวกันกับการดูดซับ และอาจมีกลไกอื่น ๆ นอกเหนือไปจากการดึงดูดในระดับโมเลกุลเกี่ยวข้องด้วย สารชนิดหนึ่งจะดูดซับสารอื่นได้มากน้อยเพียงใด ยอมขึ้นอยู่กับว่าสารชนิดนั้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากน้อยเพียงใด ในดินการดูดซับที่สำคัญได้แก่การดูดซับน้ำและการดูดซับไอออนในสารละลายดิน ซึ่งในดินตัวดูดซับก็คืออนุภาคดินเหนียวและอนุภาคอินทรียวัตถุ เพราะมีขนาดเล็กมากจึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง นอกจากนั้นอนุภาคทั้งสองชนิดยังมีประจุไฟฟ้าซึ่งส่วนใหญ่เป็นประจุลบจึงสามารถดูดซับไอออนที่มีประจุบวกได้เป็นอย่างดี ทำให้น้ำซึ่งเป็นสารประกอบมีขั้ว (Polar Compound) อาจถูกดูดซับได้โดยกระบวนการนี้เช่นกัน การดูดซึมที่สำคัญในดินก็คือการดูดซึมน้ำ น้ำจะถูกดินดูดไว้ในช่องระหว่างอนุภาคดิน ช่องในดินไม่อาจดูดซึมน้ำไว้ได้ทั้งหมดทั้งนี้เพราะแรงดูดซึมจำเป็นต้องเอาชนะอิทธิพลของแรงดึงดูดของโลกให้ได้ แรงดูดซึมนี้มีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับขนาดของช่อง ยิ่งช่องมีขนาดเล็กแรงดูดซึมก็ยิ่งมาก ดังนั้นปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมไว้จึงมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคดิน ดินที่มีอนุภาคดินเหนียวในปริมาณมาก (ดินเนื้อละเอียด) จะดูดซึมน้ำได้มากปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่สูงก็จะอุ้มน้ำไว้ได้มากเช่นเดียวกัน (รูปที่ 2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สภาพการดูดซับและการดูดซึม

2.3.1.4 เนื้อดินกับอินทรียวัตถุในดิน ดินเนื้อละเอียดจะมีอินทรียวัตถุสูงกว่าดินเนื้อหยาบ เนื่องจากดินเนื้อละเอียดอุ้มน้ำและดูดซับไอออนที่เป็นธาตุอาหารพืชได้มาก พืชพรรณที่ขึ้นในดินจึงมีปริมาณมากกว่าที่ขึ้นในดินเนื้อหยาบ เมื่อซากพืชเหล่านี้ทับถมในดินจึงทำให้ดินเนื้อละเอียดมีการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในอัตราที่มากกว่า อีกประการหนึ่งดินเนื้อหยาบมีการระบายอากาศที่ดีกว่าเนื้อดินละเอียด อัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุจึงสูงกว่าทำให้เหลือปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่าดินเนื้อละเอียด

2.3.1.5 เนื้อดินกับสภาพความชื้นดินและการเคลื่อนย้ายของน้ำ ความแตกต่างในด้านความสามารถอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ของดินเป็นผลมาจากความแตกต่างของเนื้อดิน ดังนั้นเนื้อดินจึงเป็นปัจจัยควบคุมระดับในการชะละลาย (Leaching) ของดินแทรกซึมลงของน้ำจากบนดินเข้าสู่ผิวดิน ซึ่งทั้งอัตราการแทรกซึมลงของน้ำและความสามารถอุ้มน้ำของดินสามารถปรับได้โดยการเพิ่มประมาณอินทรีย์ในดินและการปรับปรุงโครงสร้างดิน เพราะฉะนั้นการทำลายอินทรียวัตถุในดินและการทำลายโครงสร้างดินจนเป็นการลดอัตราการไหลซึมและลดความจุในการอุ้มน้ำของดิน

2.3.1.6 ความหนาแน่นและความพรุนของดิน ความหนาแน่นของดินแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ความหนาแน่นรวม (bulk density, Db) และความหนาแน่นอนุภาค (particle density, Dp) ซึ่งความหนาแน่นรวม หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของดินขณะที่แห้งสนิทกับปริมาตรทั้งหมดของดิน (ปริมาตรของส่วนประกอบทุก ๆ ส่วนรวมกัน) ส่วนความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาค หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของดินขณะที่ดินแห้งสนิทกับปริมาตรของส่วนที่เป็นอนุภาคดิน (soil particle) เท่านั้น

2.3.2 สมบัติทางเคมี

2.3.2.1 ความเป็นกรด – ด่างของดิน (soil pH) การวัดความเป็นกรด – ด่างของดินคล้ายคลึงกับการวัดความเป็นกรด – ด่างของน้ำ สิ่งที่แตกต่างและควรคำนึงถึงเป็นอย่างมากก็คือดินมีความเป็นกรดอยู่ 2 ชนิด คือ กรดจริง (active acidity) และกรดแฝง (potential acidity)

ดินมีทั้งประจุบวกและลบแต่มีประจุลบมากกว่า ซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์อย่างมาก เพราะธาตุต่าง ๆ ในสารละลายดินรวมทั้งธาตุอาหารของพืชในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ก็อยู่ในรูปประจุ ธาตุอาหารพืชโดยส่วนใหญ่มีประจุเป็นบวก ดังนั้นจึงถูกดินซับเอาไว้ ไม่ไหลตามน้ำลงไปจนเลยระดับความลึกของรากพืช ซึ่งทำให้ธาตุอาหารเหล่านี้สูญเสียไป ดังนั้นพืชจึงสามารถดึงดูดธาตุอาหารที่ถูกดินดูดซับเอาไว้นี้ไปใช้ได้

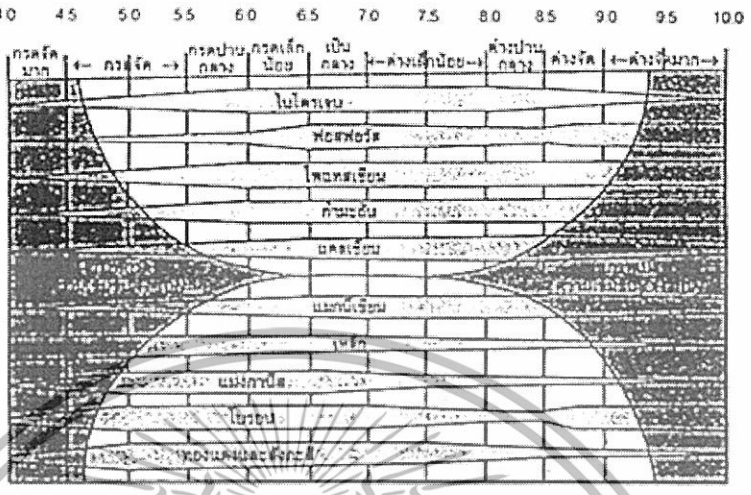
ไฮโดรเจนอิออนมีประจุบวก ดังนั้นส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดินดูดซับจึงเรียกว่าสภาพกรดแฝง ซึ่งจะสมดุลกับไฮโดรเจนที่ไม่ถูกดูดซับ ซึ่งเรียกว่า สภาพกรดจริง ค่าพีเอชของดินที่วัดได้ คือ การวัดสภาพกรดจริง ดังนั้นดินเหนียวและดินทรายที่มีค่าพีเอชเท่ากัน (ค่าสภาพความเป็นกรดจริงเท่ากัน) จะมีความต้องการปูนในการปรับระดับพีเอชไม่เท่ากันได้ ทั้งนี้เพราะดินทั้งสองชนิดมีค่าความเป็นกรดแฝงไม่เท่ากัน เนื่องจากดินเหนียวมีค่าประจุลบมากกว่าจึงมีสภาพกรดแฝงมากกว่า ส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดูดซับจะมีปริมาณมากกว่าส่วนที่ไม่ถูกดูดซับมาก และจะปลดปล่อยจากส่วนที่ถูกดูดซับออกมาเพียงบางส่วน ลักษณะคล้ายกับการแตกตัวของกรดอ่อน นอกจากนี้พีเอชของดินยังเกี่ยวพันกับสภาพละลายได้ (solubility) ของธาตุด้วย เนื่องจากน้ำในดินเป็นตัวทำละลายธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคดินและธาตุที่เติมลงไปในดิน ดังนั้นสภาพละลายได้ของธาตุจึงขึ้นอยู่กับค่า pH ของดิน ตัวอย่างสภาพละลายได้ของธาตุอาหารพืชในสภาพความเป็นกรด – ด่างของดินได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมจะพบในดินที่เป็นกรดในปริมาณต่ำทำให้พืชอาจจะขาดธาตุเหล่านี้ได้ ธาตุฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้น้อยทั้งในสภาพที่ดินเป็นกรดหรือเป็นด่าง จุลธาตุทั้งหลายได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง โบรอน พืชสามารถดูดไปใช้ได้ดีในสภาพดินเป็นกรด ในดินที่มีธาตุเหล่านี้มากอยู่แล้ว ก็อาจละลายได้มากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชได้ สำหรับโมลิบดินัมนั้นจะละลายได้ดีเมื่อ pH ของดินสูงขึ้น (ดินเป็นกรดน้อยลง) ธาตุโลหะหนักหลายชนิด เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง จะละลายได้ดีในสภาพดินเป็นกรดเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 ความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน (cat ion exchange capacity – CEC) การที่ดินมีประจุไฟฟ้าเป็นผลเนื่องมาจากอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุในดิน อนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมาก เป็นอนุภาคอนินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน โดยส่วนใหญ่อนุภาคดินเหนียวมีรูปร่างแบนบางทำให้โอกาสที่อะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่รอบนอกจะหลุดออกไปมีได้มากขึ้น เมื่อสารประกอบใดมีการสูญเสียอะตอมไปก็จะมีประจุทันที บริเวณขอบของอนุภาคจึงมีประจุ นอกจากนี้อะตอมของธาตุอื่นที่มีขนาดเท่ากันกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบในอนุภาคดินเหนียวแต่มีจำนวนประจุไม่เท่ากัน อาจหลุดเข้าไปแทนที่ซึ่งจะทำให้อนุภาคมีประจุได้ ในอินทรียวัตถุนั้น การแตกตัวของกลุ่มอนุมูลบางตัวจากสารประกอบอินทรีย์ก็จะทำให้มีประจุได้เช่นกัน ประจุที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นประจุลบ ดินจึงมีความสามารถในการดึงดูดแคทไอออนได้ และเนื่องจากดินแต่ละชนิดมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุไม่เท่ากันจึงมีความจุในการดึงดูดแคทไอออนไว้ไม่เท่ากัน แคทไอออนที่ถูกดูดซับ (adsorbed cations) กับคอลลอยด์ดินเหล่านี้จะสามารถแลกเปลี่ยนกันได้กับแคทไอออนในสารละลายดิน จึงเรียกว่าแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cations) ดังนั้นความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนจึงหมายถึงปริมาณแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็น meq/100g ของดินแห้ง

กระบวนการแทนที่แคทไอออนแลกเปลี่ยนได้โดยแคทไอออนในสารละลายดินเรียกว่าการแลกเปลี่ยนแคทไอออน (cation exchange) ซึ่งในดินแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้ส่วนใหญ่จะเป็น Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, Al^{3+} และ H^{+} แคทไอออน 4 ตัวแรกมีชื่อเรียกรวมกันว่าเบสแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable base) ในดินบางสภาพเช่นดินน้ำขังจะมี Mn^{2+} หรือ Fe^{2+} ละลายได้มาก และถูกดูดซับเป็นส่วนใหญ่ ในสภาพดินเป็นกรดจะประกอบด้วย Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} และ Al (Al^{3+} หรือ $Al[OH]^{2+}$) เป็นแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้เป็นส่วนใหญ่ ในสภาพดินเป็นด่าง Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะจับกับประจุลบของดินเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในดินเค็ม Na^{+} จะเป็นแคทไอออนหลักที่ถูกดินดูดยึดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สภาพละลายได้ของธาตุอาหารพืชในช่วง pH ต่าง ๆ ของดิน

การที่ดินมีแคทไอออนที่ถูกดูดซับสมดุลกับแคทไอออนในสารละลายดิน ทำให้ดินมีสภาพคล้ายสารละลายบัฟเฟอร์ การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในดิน เช่น การปรับพีเอชหรือการไล่ Na^+ ออกจากดินจึงเป็นไปอย่างช้า เพราะเมื่อแคทไอออนในสารละลายดินมีปริมาณน้อยลง แคทไอออนส่วนที่แลกเปลี่ยนได้จะถูกปลดปล่อยจากส่วนที่เป็นของแข็งออกมาสู่ส่วนที่เป็นสารละลายดินทีละน้อย ดินที่มีค่า CEC สูง จึงมีกำลังบัฟเฟอร์ (buffer power) สูงด้วย

เนื้อดินและอินทรียวัตถุในดินเป็นตัวกำหนดค่า CEC ตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าทรายไม่มีประจุ ขณะที่ดินเหนียวมีค่า CEC สูงสุดแต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่าอินทรียวัตถุ ในสภาพดินทั่วไปค่า CEC จึงขึ้นอยู่กับปริมาณดินเหนียวและอินทรียวัตถุ (ตารางที่ 2.2) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวหากทราบปริมาณดินเหนียวและอินทรียวัตถุแล้ว ก็อาจประเมินค่า CEC ได้อย่างคร่าว ๆ โดยทั่วไปดินเหนียว 1% จะทำให้ดินมี CEC ประมาณ 0.5 meq และอินทรียวัตถุ 1% จะทำให้ดินมี CEC ประมาณ 2 meq

ในดินทั่วไป CEC ของหน้าดินมีค่าระหว่าง 0.5-5 meq/100g ถ้าระดับ CEC ของดินต่ำหมายความว่า ดินชนิดนั้นมีปริมาณดินเหนียวหรืออินทรียวัตถุน้อย (ศุภมาศ, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่า CEC ของดินประเภทต่าง ๆ และในอินทรียวัตถุ

ส่วนประกอบของดิน	CEC (meq/100g)
ทราย	0
ซิลท์	3-7
ดินเหนียว	22-63
อินทรียวัตถุ	200-400

ที่มา : ศุภมาศ ; 2539

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและอินทรียวัตถุกับค่า CEC

เนื้อดิน	อินทรียวัตถุ (%)	ดินเหนียว (%)	CEC (meq/100g)
ทราย	1.7	7	6
ร่วนปนทราย	3.2	13	13
ร่วน	4.2	17	20
ร่วนปนซิลท์	5.4	18	24
ร่วนเหนียว	5.5	31	27

ที่มา : ศุภมาศ ; 2539

2.4 การป้องกันและกำจัดสารอนินทรีย์เคมีที่ปนเปื้อน

วิธีการลดปัญหาดินที่ปนเปื้อนด้วยสารประกอบอนินทรีย์มี 3 วิธี ดังนี้

2.4.1 การลดการนำดินไปใช้

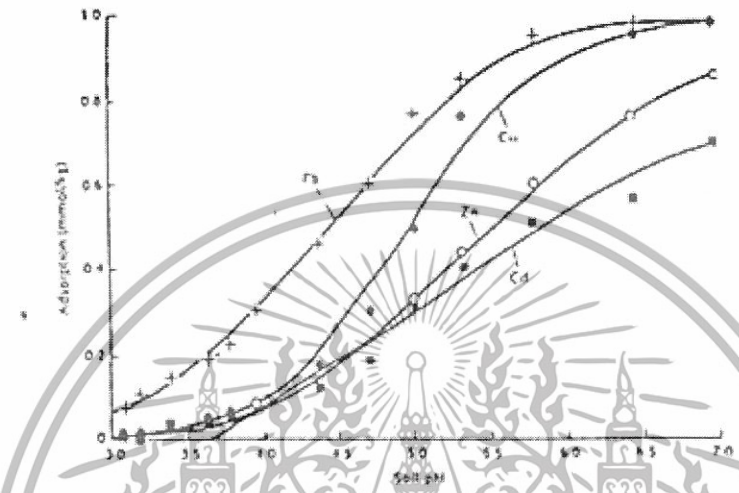
ขั้นแรกจะต้องลดการปนเปื้อนที่ไม่จำเป็นในอุตสาหกรรม การดำเนินงานและท่อไอเสียจากแหล่งที่เคลื่อนที่ เช่น รถบรรทุก รถโดยสาร โดยจะต้องรู้แหล่งกำเนิดมลสารที่ทำให้ดินปนเปื้อน ถ้าการปนเปื้อนเกิดขึ้นโดยอุบัติเหตุควรทำให้มีปริมาณลดลง ควรลดการนำดินไปใช้กับสารพิษโดยตรง จากยาฆ่าแมลง สารเติมแต่ง น้ำที่มีสิ่งปนเปื้อน และขยะที่เป็นของแข็ง

2.4.2 การทำให้มลสารสามารถเคลื่อนที่ได้

การจัดการดินและพืชผลที่เพาะปลูก สามารถช่วยลดการปนเปื้อนของสารอนินทรีย์เคมีในสิ่งแวดล้อม โดยขั้นแรกควรให้สารเคมีที่ปนเปื้อนอยู่ในดินมากกว่าจะถูกดูดซึมโดยพืช ทำให้ลดการปนเปื้อนของมลสารผ่านห่วงโซ่อาหาร ธาตุจำนวนมากสามารถเคลื่อนที่ได้เล็กน้อย และจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยถ้าอยู่ในดินที่มีพีเอชเป็นกลางหรือเป็นด่าง ดังรูปที่ 2.3 ความเป็นกรด-เบสในดินจะช่วยลดความสามารถในการเคลื่อนที่ของโลหะได้โดยที่ดินที่มีสภาวะเป็นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถดูดซับโลหะได้มากที่สุด โดยเฉพาะ Pb และ Cu ดังนั้นในพื้นที่ที่ต้องการบำบัดตะกอนควรมีค่าพีเอชประมาณ 6.5 หรือสูงกว่า



รูปที่ 2.3 ผลกระทบต่อดินที่ดูดซับโลหะ Pb, Cu, Zn และ Cd (Brady และ Well , 1996)

2.4.3 การบำบัดทางชีวภาพโดยอาศัยพืช

การบำบัดทางชีวภาพโดยอาศัยพืชนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 6 วิธีการดังนี้ คือ

1. การแยกสกัดสารอันตรายด้วยพืชหรือการสะสมของเสียอันตรายในต้นพืช (Phytoextraction หรือเรียกว่า Phytoaccumulation) เป็นการดูดซับและการขนย้ายของเสียอันตรายที่ปนเปื้อนในดินเข้าสู่ต้นพืช โดยจะเข้าทางรากพืชและเข้าสู่ส่วนบนของพืช คือ ลำต้นและใบ ซึ่งบางครั้งเรียกว่า การสะสมสูงสุด (Hyperaccumulation)

2. การยับยั้งการเคลื่อนที่ของสารอันตรายด้วยพืช (Phytostabilization) เป็นการใช้ชนิดของพืชปลูกลงดินเพื่อช่วยบังคับไม่ให้สารอันตรายมาปนเปื้อนในดิน และน้ำใต้ดินมีการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนย้ายต่อไป ตลอดจนพืชยังช่วยดูดซับและสะสมของเสียอันตรายได้บนรากพืช หรือให้มีการตกตะกอนบริเวณของรากพืชหรือเรียกว่า Rhizosphere

3. การกรองของเสียโดยรากพืช (Rhizofiltration) ซึ่ง Rhizo หมายถึง รากพืช วิธีการนี้เป็นการดูดซับหรือการทำให้ของเสียอันตรายตกตะกอนบนรากพืช หรือการดูดซับของเสียอันตรายไว้ในรากพืชจากการปนเปื้อนของเสียอันตรายนั้นซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนบริเวณรอบ ๆ รากพืชเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทำให้สารอันตรายระเหยด้วยพืช (Phytovolatilization) เป็นการดูดซับและการขนถ่ายสารอันตรายที่มีการปนเปื้อนโดยพืชด้วยการปลดปล่อยการปนเปื้อนและการเปลี่ยนแปลงรูปของสารปนเปื้อนออกสู่ชั้นบรรยากาศภายนอกต้นพืช

5. การทำลายของเสียอันตรายด้วยพืช (Phytodegradation) หรือเรียกว่า Phytotransfomation เป็นการทำลายการปนเปื้อนจากของเสียอันตรายโดยพืชด้วยกระบวนการเปลี่ยนแปลงภายในพืช หรือเป็นการทำลายการปนเปื้อนภายนอกของพืช ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบของเอ็นไซม์ที่พืชผลิตขึ้นมา

6. การทำลายของเสียอันตรายด้วยรากพืช (Rhizodegradation) หรือเรียกว่า Enhanced Rhizosphere Biodegradation หรือ Phytostimulation หรือ Planted Assisted Bioremediation/ Degradation เป็นการทำลายการปนเปื้อนจากสารอันตรายในดิน ตลอดจนกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ช่วยส่งเสริมและสนับสนุนในการทำลายของเสียอันตรายบริเวณรากพืช หรือเรียกว่า Rhizosphere และโดยทั่วไปกระบวนการนี้จะช้ากว่าการทำลายของเสียอันตรายด้วยพืชหรือ Phtyodegradation (GWRTAC, 1997; ITRC, 1999; and US EPA, 1997 , 1998 , 1999 , 2000)

พืชที่ปลูกในดินธรรมชาตินั้นสามารถดูดซับโลหะได้ในปริมาณมากและสะสมจนมีความเข้มข้นสูงสุดได้โดยไม่แสดงความเป็นพิษ จากการทดลองพบว่าพืชสามารถสะสม Ni ได้มากกว่า 20,000 มก./กก. , Zn 40,000 มก./กก. และ Cd 1,000 มก./กก. แต่หากสัตว์หรือคนกินพืชเหล่านี้เข้าไปก็อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ (Brady และ Well , 1996)

2.5 โลหะหนักที่ทำการศึกษา

2.5.1 แคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุหมู่ 2B มีเลขอะตอม 48 เลขมวล 112.4 มีวาเลนซ์อิเลคตรอน 2 มีไอโซโทปเสถียร 8 ไอโซโทป แคดเมียมเป็นธาตุโลหะที่อ่อน มีสีน้ำเงิน ความถ่วงจำเพาะ 8.64 จุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 767 องศาเซลเซียส ละลายได้ในกรดโดยเฉพาะกรดไนตริกและสารละลายแอมโมเนียมไนเตรท

ในธรรมชาติพบแคดเมียมในรูป greenockite (CdS) ประมาณ 0.5 ไมโครกรัมต่อกรัม และปะปนอยู่กับแร่อื่น ๆ เช่น สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยคือ พบบนผิวโลกประมาณ 0.15-0.20 ไมโครกรัมต่อกรัม พบในรูปสินแร่สังกะสีร้อยละ 0.3-1.0 ในหินแกรนิตมีแคดเมียมน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อกรัม หินชั้นมีแคดเมียมสูงถึง 11 ไมโครกรัมต่อกรัม ปริมาณแคดเมียมในน้ำและดินตะกอนจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดของดินและสภาวะแวดล้อม ค่าพีเอช ดินเหนียวและดินที่เป็นเบสดูดซับแคดเมียมในรูปคาร์บอเนตที่ละลายน้ำได้มาก ส่วนดินทรายและดินที่เป็นกรดดูดซับแคดเมียมได้น้อย

ปริมาณแคดเมียมในดินตะกอนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์และสารกลุ่มฮิวมิก ซึ่งสามารถดูดซับแคดเมียมไว้ได้ ซึ่งถือว่ากระบวนการดูดซับ (sorption process) เป็นกระบวนการสำคัญที่ลดปริมาณแคดเมียมในดินตะกอน แต่แคดเมียมในดินตะกอนจะถูกปลดปล่อยสู่แหล่งน้ำได้เมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น โดยการเกิด desorption process การย่อยสลายสารอินทรีย์โดย จุลินทรีย์ในดินสามารถลดปริมาณของแคดเมียมในดินได้

2.5.1.1 ประโยชน์และโทษของแคดเมียม

การนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ได้เพิ่มปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลการใช้แคดเมียมทั่วโลกปี ค.ศ. 1960 มีปริมาณ 11,000 ตันเพิ่มขึ้นเป็น 19,000 ตัน ในปี ค.ศ. 1985 (Alloway, 1998) โดยแคดเมียมถูกใช้ประโยชน์หลาย ๆ ด้าน เช่น ชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเพื่อป้องกันสนิม อุตสาหกรรมรถยนต์ ใช้ผสมในสีผง ยาง แบตเตอรี ใช้เป็นตัว stabilizers ในอุตสาหกรรมพลาสติก ใช้กำจัดเชื้อรา ใช้ทำเซลล์สุริยะ ใช้ในทางการแพทย์ ทันตแพทย์ ทำโลหะผสม เช่น แคดเมียมและทองแดง ซึ่งมีความคงทนต่อแรงกระแทกและทนต่ออุณหภูมิสูง โลหะผสมแคดเมียมและนิเกิลใช้ในการทำแบตเตอรีที่สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้ โลหะผสมแคดเมียมและเงินใช้ผสมเพื่อไม่ให้เงินเป็นรอยด่างเมื่อสัมผัสกับซัลไฟด์ นอกจากนี้แคดเมียมยังเป็นส่วนผสมในน้ำมันดีเซล ทำให้พบแคดเมียมในรูปฝุ่นละอองและดินชั้นบนบริเวณริมถนนในปริมาณมาก

แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่จำเป็นในการดำรงชีวิต และยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นพิษต่อร่างกาย ที่เรียกว่าโรคพิษแคดเมียม ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากร่างกายได้รับแคดเมียม แคดเมียมจะทำลายไต กระดูก ระบบเลือด กระเพาะปัสสาวะ และอวัยวะอื่น ๆ โดยมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โรคอิไต อิไต (Itai Itai) ซึ่งเป็นโรคที่มีอาการปวดในกระดูกมากเป็นสำคัญ กระดูกเสื่อม เสียรูปและมีอาการร่วมอื่น ๆ อีกมาก ได้แก่ อาการอ่อนเพลีย น้ำหนักลด คลื่นไส้อาเจียน ไอเรื้อรัง มีวงสีเหลือง หรือ Yellow ring ที่ฟัน มีภาวะเลือดจาง เกิดความดันโลหิตสูง ทำให้เกิดภาวะเส้นเลือดอักเสบ และแคดเมียมยังทำให้เกิดมะเร็งต่อมลูกหมากได้ แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางเดินอาหารและการหายใจ แต่มีการดูดซึมที่ทางเดินอาหารต่ำมาก คือ 1 เปอร์เซนต์ และถูกดูดซับที่ปอด 10-40 เปอร์เซนต์ โดยปกติคนจะรับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย 10-30 ไมโครกรัมต่อวัน แคดเมียมทำให้เกิดพิษต่อร่างกายหลายลักษณะ ถ้ามีการหายใจเอาออกไซด์ของแคดเมียมในรูปละอองไอ (Fume) หรือหมอกควันเข้าไปในร่างกายจะเป็นอันตรายต่อปอดเฉียบพลัน เกิดลักษณะปอดอักเสบ (pheumonilis) หรือน้ำขังในปอด (polnonary edema)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อร่างกายสะสมแคดเมียมเพิ่มขึ้น แคดเมียมจะไปรบกวนการเกิดเมตาบอลิซึมของเหล็ก สังกะสี ทองแดง และฟอสฟอรัส ขัดขวางการทำงานของซัลไฟดิลเอ็นไซม์ (sulfydryl enzyme) ทำให้เกิดความดันโลหิตสูงและโลหิตจาง ตับและไตถ้ามีการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูงจะมีโครงสร้างและการทำงานผิดปกติทำให้เกิด protolnuria คือ มีโปรตีนในน้ำปัสสาวะ และแคดเมียมยังทำให้เกิดความผิดปกติที่กระดูก (อภิชาติ, 2536)

2.5.1.2 การเกิดปฏิกิริยาในดินของแคดเมียม

แคดเมียมในหินอัคนีและหินตะกอนจะมีปริมาณไม่เกิน 0.3 พีพีเอ็ม และจะพบอยู่ร่วมกับสังกะสีเสมอ แต่ในสภาพดินเป็นกรดแคดเมียมมีสภาพเคลื่อนที่ดีกว่าสังกะสี และแคดเมียมมีรูปสารประกอบได้เช่นเดียวกับกลุ่มแคทไอออน Zn^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}

ในการสลายตัวของหินและแร่แคดเมียมในดินอยู่ในสภาพละลายได้ง่ายโดยจะอยู่ในรูป Cd^{2+} เป็นส่วนใหญ่ โดยอาจอยู่ในรูปไอออนเชิงซ้อน (complex ion) และสารประกอบได้ดังนี้

แคทไอออน : $CdCl^{+}$, $CdOH^{+}$, $CdHCO_3^{+}$

แอนไอออน : $CdCl_3^{-}$, $CdCl_4^{2-}$, $Cd(OH)_3^{-}$, $Cd(OH)_4^{2-}$

สารประกอบ : CdO, $CdCO_3$

ปัจจัยสำคัญที่สุดในการควบคุมการเคลื่อนที่ได้ของแคดเมียมในดิน คือ พีเอชและศักย์รีดอกซ์ ซึ่งดินที่มีศักย์รีดอกซ์สูง แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น CdO หรือ $CdCO_3$ หรืออาจอยู่รวมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน โดยในดินที่เป็นด่างแคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ขณะที่ดินเป็นกรดมีค่าพีเอชระหว่าง 4.5 ถึง 5.5 แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดี

การที่แคดเมียมในตะกอนน้ำโสโครกถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่าย เป็นเพราะไอออนบวกแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cation) สามารถไล่ที่แคดเมียมก่อนที่จะถูกดูดซับโดยอนุภาคดินตะกอน ความสามารถของการดูดซับแคดเมียมโดยตะกอนชนิดต่าง ๆ เรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ Ca-sludge > untreated sludge > Fe-sludge , Al-sludge ขณะเดียวกันเมื่ออยู่ในดินแคดเมียมโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพแลกเปลี่ยนได้ ขณะที่ทองแดงจะถูกตรึงในรูปของสารประกอบอินทรีย์ ทำให้ศักยภาพในการเคลื่อนที่และแพร่กระจายของแคดเมียมสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับจุลธาตุอื่นซึ่งเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ Cd > Zn > Cu , Ni

แคดเมียมเมื่ออยู่ในกากตะกอนที่เป็นด่าง เช่น Ca-sludge มีแนวโน้มที่จะอยู่ในลักษณะคีเลตหรือรวมกับสารอินทรีย์ที่ไม่ละลาย (insoluble organic bound) เป็นส่วนใหญ่ และปริมาณในส่วนนี้ก็จะไม่ถูกกระทบโดยการเปลี่ยนแปลงสภาพออกซิเดชัน-รีดักชันแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสภาพความเป็นด่างลดลง เช่น จนถึงสภาพพีเอช 5.0 และอากาศถ่ายเทดี แคดเมียมในดินจะเปลี่ยนจากรูปสารประกอบอินทรีย์ไปอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงศักย์รีดอกซ์และพีเอชในดินมีผลต่อการละลายและการแพร่กระจายของแคดเมียมเป็นอย่างมาก (ศุภมาศ, 2539)

2.5.1.3 ลักษณะการแพร่กระจายและการปนเปื้อน

แคดเมียมที่สะสมบนผิวดินได้มาจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 3 แหล่ง คือ

1. เหมืองแร่ตะกั่วและสังกะสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการถลุงแร่
2. กากตะกอนน้ำโสโครก
3. ปุ๋ย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยคอก

เนื่องจากแคดเมียมละลายได้ง่าย และพืชดูดซึมได้โดยเร็ว จึงได้กำหนดห้ามไม่ให้ใช้วัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งใด ๆ ที่มีแคดเมียมมากกว่า 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยมวลแห้งกับยาสูบ ผักกินใบหรือพืชหัวที่ปลูกเพื่อการบริโภค (ศุภมาศ, 2539)

2.5.1.4 ปริมาณในดินและพืช

ปริมาณแคดเมียมในดินทั่วไปมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.07 ถึง 1.0 พีพีเอ็ม โดยมีค่าเฉลี่ยสูงในดินฮิสโตซอลส์ และค่าเฉลี่ยโดยรวมของดินทั่วไปมีค่า 0.53 พีพีเอ็ม สำหรับดินที่มีการปนเปื้อน แหล่งปนเปื้อนที่สำคัญคือการถลุงแร่ กากตะกอนน้ำโสโครก และปุ๋ย การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตหรือปุ๋ยคอกเป็นเวลา 140 ปี ทำให้ดินมีแคดเมียมเพิ่มจากปริมาณที่มีอยู่เดิม 0.51 พีพีเอ็ม เป็น 0.77 พีพีเอ็ม

ปริมาณแคดเมียมในพืชทั่วไปมีค่าต่ำ จะมีค่าสูงในพืชบางชนิด เช่น ในผักกาดหอมมีปริมาณแคดเมียม 0.6 พีพีเอ็มหรือในใบผักโขม (Spinach) ในปริมาณ 0.11 พีพีเอ็ม (น้ำหนักสด) พืชกินใบ หรือพืชหัวบางชนิดจึงเป็นตัวนำแคดเมียมสู่มนุษย์ เมื่อมีการปนเปื้อนแคดเมียมจะสะสมในรากมากที่สุด โดยสะสมในใบรองลงมา และมีการเคลื่อนย้ายสู่เมล็ดได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพืชผักคือ ผักคะน้า ผักกาดขาว และกวางตุ้งแล้วผักกาดขาวสะสมแคดเมียมไว้ในต้นมากที่สุด ส่วนกวางตุ้งสะสมไว้ในรากมากที่สุด

2.6 พืชที่ใช้ในการศึกษา

2.6.1. กะเพรา

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Ocimum sanctum linn.

จัดอยู่ในตระกูล : Labiatae

ชื่ออื่น : กระเพราแดง , กระเพราขาว (ภาคกลาง) , กำก้อขาว , กำก้อดำ , กอมก้อขาว , กอมก้อดำ (เชียงใหม่-ภาคเหนือ) , ห่อตูปลู ห่อกวอซู (กะเหรี่ยง-แม่อ่องสอน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ :

ต้น เป็นไม้ล้มลุก แตกกิ่งก้านสาขา สูง 30 - 60 ซม. โคนลำต้นค่อนข้างแข็ง ตามลำต้นมีขน

ใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม รูปรี กว้าง 1-3 ซม. ยาว 2.5-5 ซม. ปลายแหลมหรือมน โคนแหลม ขอบจักฟันเลื่อยและเป็นคลื่น แผ่นใบมีขน

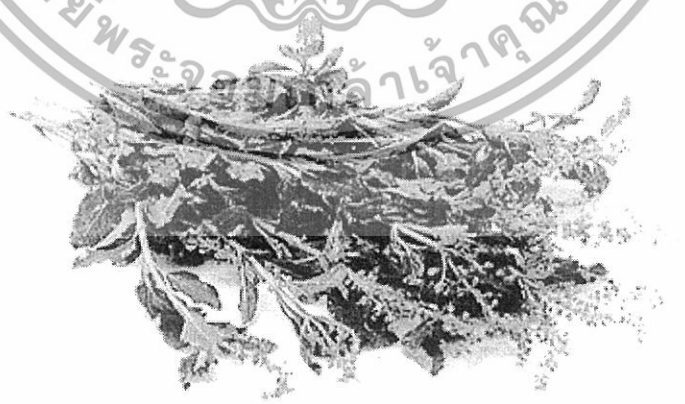
ดอก เป็นแบบช่อฉัตร ออกบริเวณปลายยอดและปลายกิ่ง ยาว 8-10 ซม. ประกอบด้วยดอกเล็ก ๆ ออกเป็นวงรอบแกนช่อเป็นชั้นๆ ก้านดอกยาว 2-3 มม. และกางออกตั้งฉากกับแกนช่อ กลีบเลี้ยงโคนติดกันเป็นรูปคล้ายระฆัง ปลายแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนบนมีกลีบเดียวค่อนข้างกลม ส่วนกลางแยกเป็น 4 แฉก ปลายแหลมเรียว ด้านในเกลี้ยง ด้านนอกมีขนตามโคนกลีบ กลีบดอกสีขาว หรือขาวปนม่วงแดง ด้านบนมี 4 กลีบ ด้านล่างมี 1 กลีบ ขนาดยาวกว่าด้านบน ตรงกลางกลีบเว้าตื้นๆ ปลายกลีบม้วนพับลง

ผล แห้งแล้วแตกออก

เมล็ด เล็ก รูปไข่สีน้ำตาล มีจุดสีเข้มเมื่อนำไปแช่น้ำเปลือกหุ้มเมล็ดพองออกเป็นเมือก

ประโยชน์ :

ใบ บำรุงธาตุไฟ ขับลมแก้ปวดท้อง แก้ลมตานซาง แก้จุกเสียด แก้คลื่นเหียนอาเจียน และขับลม



รูปที่ 2.4 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกะเพรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107847

2.6.2. โหระพา

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Ocimum basilicum Linn.

จัดอยู่ในตระกูล : Labiatae

ลักษณะของพฤกษศาสตร์ของโหระพา :

โหระพาเป็นพืชที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุสั้น มีความสูงของทรงพุ่มไม่เกิน 60 เซนติเมตร ลำต้นเป็นรูปสี่เหลี่ยม ก้านใบและลำต้นมีสีม่วงแดง ใบสีเขียว ใบเป็นรูปหอกยาวประมาณ 1-3 นิ้ว มีกลิ่นหอม ออกดอกเป็นชั้นคล้ายฉัตร ดอกสีขาว-ม่วง หรือชมพู โหระพาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิดที่มีความชื้นสม่ำเสมอ ต้องการแสงแดดเต็มที่ตลอดวันและสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี

เป็นผักที่ใช้บริโภคเป็นผักสดหรือใช้ประกอบอาหารอื่นๆ ก็ได้ ทำให้อาหารมีรสชาติและกลิ่นหอมน่ารับประทานยิ่งขึ้น ใช้ใบปรุงอาหารเป็นผักชูรสได้หลายชนิด เช่น แกงเผ็ด แกงเลียง ผัด ทอด รับประทานสด เป็นเครื่องแถมอาหารคาวหรืออาหารว่างได้เป็นอย่างดี นอกจากจะใช้เป็นอาหารแล้วยังมีคุณค่าทางยาช่วยขับลมในลำไส้ แก้ท้องอืดท้องเฟ้อ เมล็ดเมื่อแช่น้ำจะพองตัวใช้รับประทานแก้บิด ช่วยหล่อลื่นลำไส้

รูปที่ 2.5 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของโหระพา

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิชิต พงษ์สกุล และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาการดูดซับแคดเมียมในดินที่เก็บจากท้องที่ต่าง ๆ โดยการเขย่าดินในสารละลาย 0.01 M $CaCl_2$ ซึ่งมี $CdCl_2$ ละลายอยู่ในอัตรา 0, 2, 4, 8 และ 16 มก. Pb/ล. ผลการศึกษาแสดงว่าความสามารถในการดูดซับหรือความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้านทานการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (buffering capacity) ของแคดเมียมในดินแตกต่างกันมากในแต่ละตัวอย่างดิน ตั้งแต่ต่ำสุดคือ 37.44 หน่วยในดินที่จัดอยู่ในกลุ่มดินย่อย Typic Calciustools จนถึงสูงสุดคือ 1133 หน่วยในดินที่จัดอยู่ในกลุ่มดินย่อย Typic Calciustools ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของดินสูงขึ้นเมื่อดินมี pH อินทรีย์วัตถุและปริมาณดินเหนียวมากขึ้น ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับ (adsorbed cadmium) แตกต่างกันมากในดินแต่ละตัวอย่าง โดยมีค่าต่ำสุดคือ 1.39 มก./กก. ในดินที่จัดอยู่ในกลุ่มดินย่อย Typic Calciustools และค่าสูงสุดคือ 110.5 มก./กก. ในดินที่จัดอยู่ในกลุ่มดินย่อย Typic Calciustools ปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับมากขึ้นเมื่อดินมี pH อินทรีย์วัตถุและปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงขึ้น

พิชิต พงษ์สกุล และคณะ (2546) ทำการเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าว 80 ตัวอย่าง และเมล็ดถั่วเหลือง 43 ตัวอย่าง ในพื้นที่ที่มีการปนปื้อนของสังกะสีและแคดเมียมในปริมาณที่สูง ผลการวิเคราะห์ พบว่า เมล็ดข้าวกล้องมีความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในช่วง 16.45-25.89 มก./กก. ในขณะที่ดินในพื้นที่เก็บตัวอย่างนี้มีความเข้มข้นของสังกะสีสูงถึง 254-8037 มก./กก. ความเข้มข้นของสังกะสีในใบและลำต้นข้าวอยู่ในช่วง 20.84-213.6 และ 64.14-309.9 มก./กก. ตามลำดับ ความเข้มข้นดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสังกะสีในดิน นอกจากนั้นยังพบด้วยว่า ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 3.47-10.84 มก./กก. และไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในดินซึ่งอยู่ในช่วง 4610-24950 มก./กก. ในทางตรงกันข้าม ความเข้มข้นของเหล็กในใบและลำต้นอยู่ในช่วง 105.9-486.3 มก./กก. และ 48.54-189.7 มก./กก. ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในดิน ความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดข้าวกล้องอยู่ในช่วง 0.05-4.38 มก./กก. และในทางตรงกันข้ามกับสังกะสี ความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน พื้นที่ดินในบริเวณที่เก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวมีความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ในช่วง 3.77-284.8 มก./กก. นอกจากนั้นความเข้มข้นของแคดเมียมในใบและลำต้นข้าวมีความสัมพันธ์กับแคดเมียมในดิน ความเข้มข้นของสังกะสี เหล็ก และแคดเมียมในเมล็ดถั่วเหลืองอยู่ในช่วง 61.84-98.97, 43.39-67.39 และ 0.97-2.68 มก./กก. ตามลำดับ

ผลการวิจัยบ่งชี้ว่า ข้าวที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของสังกะสี และ แคดเมียมสูงสามารถควบคุมความเข้มข้นของสังกะสีและเหล็กในเมล็ดให้อยู่ได้ในระดับปกติ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับกระบวนการเมตาบอลิซึมและความต้องการธาตุอาหารของเมล็ด อย่างไรก็ตามข้าวไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่และการสะสมแคดเมียมในเมล็ดได้ เป็นผลให้เมล็ดข้าวมีอัตราส่วนของ Zn:Cd และ Fe:Cd ต่ำ ในขณะเดียวกัน ถั่วเหลืองสามารถควบคุมการสะสมของ Cd , Zn และ Fe ในเมล็ดได้ ทำให้มีอัตราส่วนของ Zn:Cd และ Fe:Cd ในเมล็ดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิชิต พงษ์สกุล (พ.ศ. 2547) ทำการตรวจวัดระดับแคดเมียมในดินและข้าว บริเวณ อ.แม่ตาว จ.ตาก แบ่งทีมวิจัยเป็น 2 ช่วง คือ 1. ศึกษาแปลงนาบริเวณ ต.พะเด๊ะ ซึ่งอยู่ใกล้บริเวณแหล่งแร่สังกะสี จากการตรวจดินในข้าว 154 แปลง พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินอยู่ในช่วง 3.4-284 มิลลิกรัมแคดเมียม/กิโลกรัมดิน สำหรับความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดข้าวที่สีแล้วจากข้าวในที่นา 9 แปลง พบว่าร้อยละ 95 ของเมล็ดข้าวที่สุ่มตัวอย่างมีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.1-4.4 มิลลิกรัมแคดเมียม/กิโลกรัมข้าว มีปริมาณมากกว่าค่าที่พบในข้าวที่ปลูกในประเทศไทยบริเวณอื่นสูงสุดถึง 100 เท่า ในปี พ.ศ. 2544-2546 ได้ทำการศึกษาที่ลำห้วยแม่ตาว ซึ่งเป็นบริเวณท้ายน้ำจากบริเวณแรก พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินอยู่ในช่วง 0.5-218.2 มิลลิกรัมแคดเมียม/กิโลกรัมดิน สำหรับความเข้มข้นของแคดเมียมจากตัวอย่างข้าวในนาข้าว 432 แปลง พบในช่วงน้อยกว่า 0.05-7.7 มิลลิกรัมแคดเมียม/กิโลกรัมข้าว

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (CH_3COONH_4)
2. สารละลายแอมโมเนียมออกซาเลท [$(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$]
3. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH)
4. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)
5. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)
6. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$)
7. ไอโซโพรพิวแอลกอฮอล์
8. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Acidified, NaCl)
9. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
10. สารละลายกรดบอริก (H_2BO_3)
11. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)
12. กรดไนตริก
13. กรดซัลฟูริก
14. กรดไฮโดรฟลูออริก
15. กรดไนตริกสำหรับล้างเครื่องแก้ว
16. สารละลายคัลกอน หรือ โซเดียมเฮกซะเมตะฟอตเฟต
17. เอมิลอัลกอฮอล์
18. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)
19. กรดฟอสฟอริกเข้มข้น (H_3PO_4)
20. อินดิเคเตอร์ แบเรียมไดฟีนิลลามีน ซัลโฟเนต (Barium diphenylamine sulfonate indicator , BDS)
21. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต
22. ปุ๋ยชีวภาพสกัด ตราไบซัน

หมายเหตุ สารเคมีทุกตัวใช้เกรดวิเคราะห์ของบริษัท Carlo Erba

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์

1. ชุดย่อยสลาย รุ่น 1200 Mega บริษัท Milestone microwave Laboratory Systems
2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปคโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption spectrophotometer) ของบริษัท พาราวินเซอร์ จำกัด รุ่น GBC 932 plus
3. กระดาษกรองละเอียด เบอร์ 42 และเบอร์ 0.45 ไมโครเมตร
4. เครื่องกรองลดความดัน รุ่น Sibata Circulating Aspirator WJ-20
5. เครื่องพีเอชมิเตอร์ รุ่น 251 บริษัท Denver Instrument
6. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument
7. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น MSBO20 CX1.5 บริษัท SUNYO
8. เครื่องเขย่า รุ่น Hetofrig CB60 VS บริษัท Heto
9. ไฮโดรมิเตอร์มาตรฐาน ASTM No.1.152 H อ่านสเกลในหน่วยกรัมต่อลิตร
10. เครื่องกวนพร้อมแท่งแม่เหล็ก
11. เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Buchi Distillation Unit B-323)
12. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
13. ตู้อบ (Oven)
14. ตะแกรงร่อนขนาด 10 เมช
15. แท่งแก้วสำหรับคนแบบ Plunger
16. บวดกลั่นเจห์ดาล (Kjeldahl falsk)
17. เครื่องแก้ว
18. ถุงเพาะชำและถาดรองกระถางต้นไม้

3.2 การเตรียมตัวอย่างดินและพืช

3.2.1 การเตรียมดิน

การทดลองนี้ใช้ดินที่เก็บจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนจากการทำเหมืองแร่สังกะสี บริเวณห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยเก็บดินในพื้นที่ 2 แหล่ง คือ บริเวณที่มีการปนเปื้อนน้อยที่สุด (ดินชุดที่ 2) และบริเวณที่มีการปนเปื้อนมากที่สุด (ดินชุดที่ 3) ปริมาณแคดเมียมที่วิเคราะห์มีค่าดังนี้คือ

ดินชุดที่ 1 ดินธรรมชาติที่ใช้เพาะต้นพืชและใช้เป็นชุดควบคุม

ดินชุดที่ 2 ดินที่มีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อน 4.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยเฉลี่ย

ดินชุดที่ 3 ดินที่มีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อน 31.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนทำการทดลองจะทำการเตรียมดินโดยนำดินทั้ง 3 ชุด ใส่ลงในถุงเพาะสีดำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว ถุงละ 0.5 กิโลกรัม เติมน้ำประปาลงไป 150 มล. ทิ้งค้างคืนเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับดินก่อนปลูกโดยแยกเป็นดินชุดที่ 1 จำนวน 12 ถุง ดินชุดที่ 2 จำนวน 24 ถุง และดินชุดที่ 3 จำนวน 24 ถุง

3.2.2 การเตรียมพืช

ต้นกระเพรา และโหระพา ที่ใช้ในการทดลอง ได้จากการเพาะจากเมล็ดพันธุ์ ในดินธรรมชาติที่มีอายุประมาณ 1 เดือน โดยเลือกต้นที่มีขนาด และความสูงของลำต้น จำนวนใบเท่ากันโดยเฉลี่ย มาใช้ในการทดลอง

3.3 การทดลอง

3.3.1 การศึกษาเบื้องต้น

นำพืชที่ได้ทำการคัดเลือกให้มีขนาด และความสูงของลำต้น จำนวนใบเท่ากันโดยเฉลี่ยมาปลูกลงถุงเพาะที่บรรจุดินปนเปื้อนแคดเมียม 1.0 กิโลกรัม ถุงละ 3 ต้น สังเกตการเปลี่ยนแปลงของต้นพืชปรากฏว่าต้นพืชสามารถเจริญเติบโตได้ประมาณ 1 เดือน

3.3.2 การปลูกพืช

1. นำดินทั้ง 3 ชุด ใส่ลงในถุงเพาะสีดำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว ถุงละ 0.5 กิโลกรัม เติมน้ำประปาลงไป 150 มล. ทิ้งค้างคืนเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับดินก่อนปลูกโดยแยกเป็นดินชุดที่ 1 จำนวน 16 ถุง ดินชุดที่ 2 จำนวน 24 ถุง และดินชุดที่ 3 จำนวน 24 ถุง

2. นำต้นพืชที่เตรียมไว้ในข้อ 3.2.2 มาทำการย้ายลงถุงเพาะสีดำ จำนวน 3 ต้นต่อ 1 ถุง โดยในแต่ละชุดให้ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. สังเกตการเจริญเติบโตของพืช และรดน้ำที่ผสมปุ๋ยชีวภาพสกัดในปริมาณ 50 มิลลิลิตรต่อถุง โดยการฉีดสเปรย์

4. หลังจากทำการทดลองไปเป็นระยะเวลา 7 , 14 , 21 และ 28 วัน จะทำการเก็บตัวอย่างพืชและดินเพื่อวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เปอร์เซ็นต์ความชื้น ลักษณะดิน ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน และปริมาณแคดเมียมทั้งหมด

5. ทำการทดลองชุดควบคุมโดยเก็บตัวอย่างพืชและดินเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเก็บตัวอย่างพืช และดิน

1. การเก็บตัวอย่างพืช

เก็บตัวอย่างพืชในแต่ละกระถางมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (air dry) เป็นเวลา 3 วัน แยกต้นพืชออกเป็น 2 ส่วน คือ ใบ และลำต้นกับราก นำมาชั่งหาน้ำหนักเปียก (wet weight) บดให้ละเอียด เก็บใส่ถุงพลาสติกแบบซิป

2. การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินโดยทำการผึ่งดินให้แห้ง ในแต่ละถุงเพาะหลังการปลูกพืช

3.5 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

1 . การศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน

ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ทำการตรวจวิเคราะห์ คือ ค่าพีเอช ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เปอร์เซนต์ความชื้น ลักษณะดิน ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน และปริมาณแคดเมียมทั้งหมด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.1 รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน

พารามิเตอร์	วิธี/เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์
พีเอช	pH meter 1:2 (soil:water)
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	วิธีกรทำให้อิ่มตัวด้วยประจุบวก/แอมโมเนียมอะซิเทต
ความชื้น (%)	วิธีกราวิเมตริก (อบแห้งที่ อุณหภูมิ 105 ^{0})
ลักษณะดิน	วิธีไฮโดรมิเตอร์
ปริมาณสารอินทรีย์ (%)	วิธีการออกซิเดชันแบบเปียก
ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด	ย่อยในเครื่องไมโครเวฟ/ อะตอมมิกแอบซอร์บชั่น(Microwave digestion / AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของพืช

ทำการสังเกตอาการของต้นพืชพร้อมทั้งจดบันทึกลักษณะการเจริญเติบโตของต้นพืช และในการเก็บตัวอย่างพืชจะทำการวัดความยาวของรากและลำต้นของพืชเพื่อศึกษาถึงการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงเวลา

3.7 ศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อการสะสมแคดเมียมในดินและต้นพืช

ทำการศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อการสะสมแคดเมียมในดินและต้นพืชโดยการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในดินและพืช

1 นำพืชที่บดละเอียดแล้ว มาวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม โดยนำพืชไปทำการย่อยด้วยชุดย่อยสลาย (Microwave digestion) ตามวิธีมาตรฐาน US.EPA Method 3052 หลังจากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชั่นสเปคโทรมิเตอร์

2 นำดิน หลังจากการปลูกพืชมาทำการสุ่มอย่างอิสระ จากนั้นบดให้ละเอียดนำไปร่อนด้วยตะแกรงเพื่อให้ได้อนุภาคดินขนาด 2 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม โดยนำดินไปทำการย่อยด้วยชุดย่อยสลาย ตามวิธีมาตรฐาน US.EPA Method 3052 หลังจากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชั่นสเปคโทรมิเตอร์ รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในดินและพืชดังแสดงในภาคผนวก ก.

3.8 ศึกษาผลของชนิดต้นพืชที่มีต่อการสะสมแคดเมียมในดินและต้นพืช

ทำการศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อการสะสมแคดเมียมในดินและต้นพืชโดยการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในดินและพืชเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.7 โดยจะทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาการสะสมโลหะหนัก แคดเมียม ในส่วนต่างๆของต้นพืชคือส่วนที่กินได้(ใบ) และ ส่วนที่กินไม่ได้(ลำต้น+ราก) ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักด้วยการปลูกพืช 2 ชนิด คือ กระเพรา และโหระพา ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักในต้นพืช ผลการทดลองที่ได้เป็นดังนี้ คือ

4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

พืชที่ใช้ในการทดลองคือ กระเพรา และโหระพา ซึ่งทำการเพาะและปลูกในดินธรรมชาติ (ดินชุดที่ 1) จากนั้นจึงนำมาปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมที่เก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ 2 บริเวณที่ปริมาณการปนเปื้อนแตกต่างกัน จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ผลจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินพบว่าดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 3 ชุด มีค่าพีเอชเป็นกลางคือ 6.18, 6.21 และ 6.21 ตามลำดับ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกคือ 2.39, 1.53 และ 2.11 ตามลำดับ ค่าความชื้นคือ 9.08, 0.6 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนคือ 11.44, 1.31 และ 1.60 ตามลำดับ ปริมาณอินทรียวัตถุคือ 19.72, 2.26 และ 2.76 ตามลำดับ และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของดินทั้ง 3 ชุดเท่ากับ 0.00, 4.42 และ 31.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินกำหนดให้ ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินต้องไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่สามารถใช้พื้นที่นี้เพื่อการเกษตรกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สมบัติดิน	ค่าที่วัดได้		
	ดินชุดที่ 1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
ค่าพีเอช (อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:2)	6.18±0.10	6.21±0.07	6.21±0.07
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	2.39±0.42	1.53±0.02	2.10±0.43
ความชื้น (%)	9.08±0.38	0.60±0.01	0.50±0.01
การกระจายตัวของอนุภาค			
- % ทราย	55.50	58.33	72.50
- % ซิลท์	30.50	17.50	7.08
- % เคลย์	14.50	24.17	20.42
ลักษณะเนื้อดิน	ดินร่วนปนทราย	ดินร่วนปนเหนียว	ดินร่วนปนเหนียว
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)	11.44±0.81	1.31±0.00	1.60±0.01
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	20.72±1.41	2.26±0.01	2.76±0.02
ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (มก./กก.)ดินแห้ง	0.00±0.00	4.42±0.48	31.61±3.01

4.1.1 ค่าพีเอชในดินก่อนและหลังจากการปลูกพืช

จากการศึกษาค่าพีเอชในดินทั้ง 3 ชุด มีผลดังนี้ คือ ในดินชุดที่ 1, 2 และ 3 ก่อนทำการทดลองมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.18, 6.21 และ 6.21 ตามลำดับ และหลังทำการทดลองค่าพีเอชในดินที่ปลูกต้นกระเพรามีค่าเท่ากับ 5.32±0.03, 6.43±0.08 และ 7.07±0.09 ตามลำดับ ส่วนค่าพีเอชในดินที่ปลูกต้นโหระพามีค่าเท่ากับ 5.76±0.05, 6.53±0.07 และ 7.06±0.19 ตามลำดับ พบว่าค่าพีเอชมีค่าเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นค่าพีเอชของดินชุดที่ 1 ที่มีค่าลดลงอาจเนื่องมาจากการแปรสภาพของการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในดินธรรมชาติ จึงทำให้มีสภาพความเป็นกรด แสดงดังตารางที่ 4.2 แสดงค่าพีเอชก่อนและหลังการปลูกพืชทั้ง 2 ชนิดในดิน 3 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพีเอชก่อนและหลังการปลูกพืชทั้ง 2 ชนิดในดิน 3 ชุด

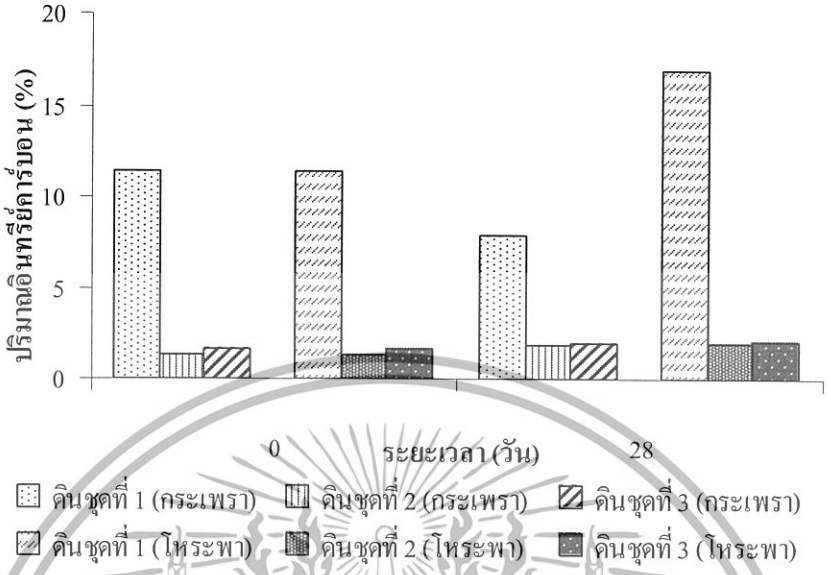
ชนิดของพืช	ดินชุดที่	ระยะเวลา (วัน)				
		0	7	14	21	28
กระเพรา	1	6.18	-*	-*	-*	5.32
	2	6.21	6.50	6.20	6.13	6.43
	3	6.21	6.77	6.63	6.62	7.07
โหระพา	1	6.18	-*	-*	-*	5.76
	2	6.21	6.47	6.06	6.42	6.53
	3	6.32	6.78	6.70	6.68	7.06

-* ไม่ได้ทำการทดลอง

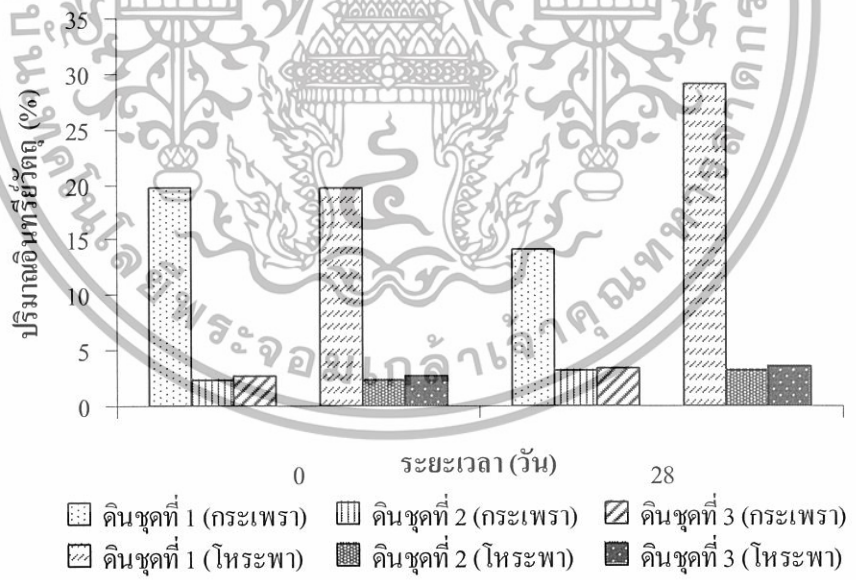
4.1.2 อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon, %OC) และอินทรียวัตถุ (Organic Matter, %OM)

จากการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของพืชทั้ง 2 ชนิดที่ปลูกในดินทั้ง 3 ชุด ปรากฏว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดินทั้ง 3 ชุด ก่อนปลูกพืช เท่ากับ 11.44, 1.31, 1.60, 19.72, 2.26 และ 2.76 ตามลำดับ ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดินทั้ง 3 ชุด หลังจากที่ปลูกต้นกระเพราแล้ว 28 วัน เท่ากับ 7.89±1.32, 1.92±0.21, 2.00±0.10, 14.18±2.28, 3.31±0.36 และ 3.45±0.17 ตามลำดับ และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดินทั้ง 3 ชุด หลังจากที่ปลูกต้นโหระพา มีค่าเท่ากับ 16.99±1.61, 1.93±0.19, 2.09±0.16, 29.29±0.84, 3.32±0.34 และ 3.61±0.28 ตามลำดับ เนื่องจากในการทดลองนี้ผู้ทำการทดลองได้มีการเติมปุ๋ยลงไปในดิน เพื่อเป็นการเติมสารอาหารเข้าไปในชุดทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของต้นกระเพราในดิน 3 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของต้นกระเพราในดิน 3 ชุด

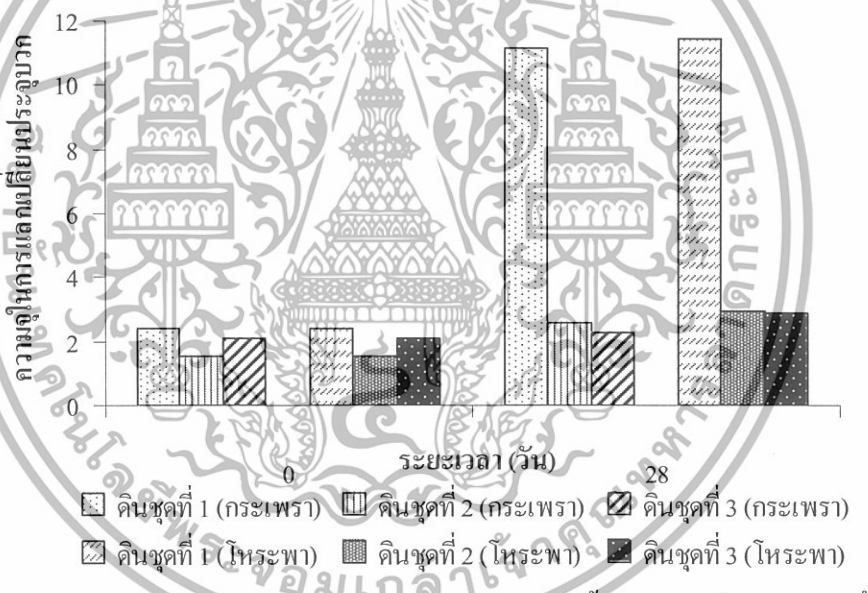


รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของต้นกระเพราในดิน 3 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

จากการศึกษาการหาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของพืชทั้ง 2 ชนิดที่ปลูกในดินทั้ง 3 ชุด ปรากฏว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินทั้ง 3 ชุด ก่อนการทดลอง มีค่าเท่ากับ 2.39, 1.53 และ 2.11 ตามลำดับ และหาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินทั้ง 3 ชุด หลังจากทำการทดลอง ดินที่ปลูกต้นกระเพราทั้ง 3 ชุด มีค่าเท่ากับ 11.20±2.85, 2.62±1.27 และ 2.26±0.95 และดินที่ปลูกต้นโหระพาทั้ง 3 ชุด มีค่าเท่ากับ 11.49±2.75, 2.98±0.86 และ 2.91±0.88 ตามลำดับ จากค่าที่ได้จะพบว่าค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุในดินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในดินชุดที่ 1 แสดงว่าในดินชุดที่ 1 มีปริมาณของสารอินทรีย์มากจึงทำให้มีการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดีกว่าดินในชุดที่ 2 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของพืชทั้ง 2 ชนิดที่ปลูกในดินทั้ง 3 ชุด

4.2 ลักษณะการเจริญเติบโตของพืช

จากการสังเกตการเจริญเติบโตของพืชที่ศึกษา คือ ต้นกระเพรา ต้นโหระพา สามารถบอกแนวโน้มของแคดเมียมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตได้ คือ ชุดควบคุม (ดินไม่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม) พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่เมื่อนำมาปลูกลงดินที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมต่างกัน ในดินชุดที่ 2 ปริมาณแคดเมียม 4.42 มก./กก. และดินชุดที่ 3 ปริมาณแคดเมียม 31.61 มก./กก. พบว่า ต้นกระเพรา และต้นโหระพามีการเจริญเติบโตลดลง คือ พืชแสดงอาการใบเหลือง รวมทั้งมีอาการเหี่ยวแห้งและตายไป และเมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด ตามช่วงระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า ต้นกระเพรามีการเจริญเติบโตลดลงมากกว่าต้นโหระพา และจะมีอาการใบเหลือง ใบร่วง และเหี่ยว ส่วนของลำต้นจะแห้งและตายในที่สุด ก่อนถึงกำหนดการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

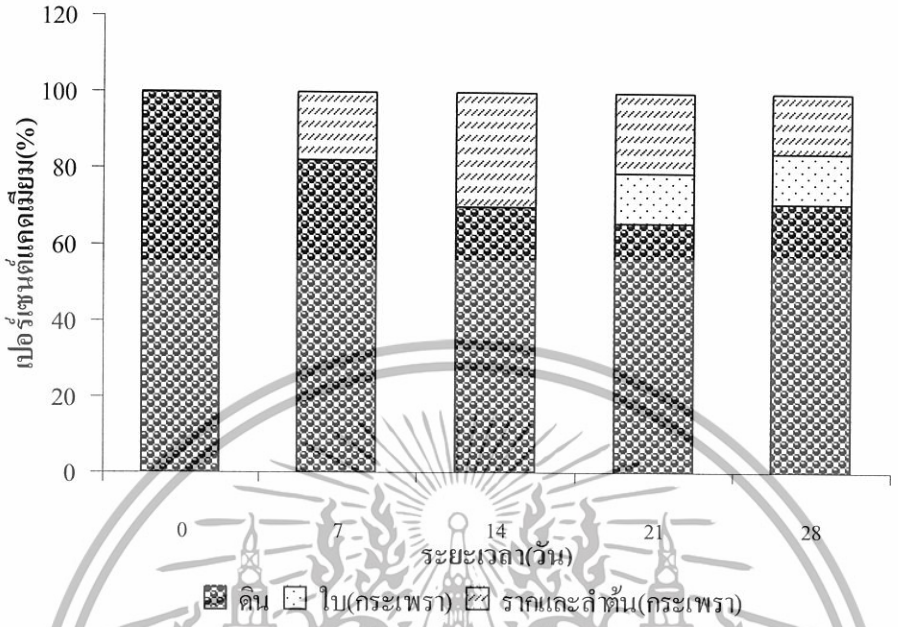
ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะอาการของพืช

ชุดการทดลอง	ระยะเวลา (วัน)	ดินชุดที่ 1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1. กระเพรา	0	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ
	7	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ
	14	เจริญเติบโตปกติ	ใบเหลือง ใบร่วง	ใบเหลือง ใบร่วง
	21	เจริญเติบโตปกติ	ใบร่วง ใบเหี่ยว	ใบเหี่ยว ลำต้นแห้ง
	28	เจริญเติบโตปกติ	ใบเหี่ยว ลำต้นแห้ง ตายทั้งหมด	ลำต้นแห้ง ตายทั้งหมด
2. โหระพา	0	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ
	7	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ
	14	เจริญเติบโตปกติ	ใบเหลือง ใบร่วง	ใบเหลือง ใบร่วง
	21	เจริญเติบโตปกติ	ใบเหลือง ใบร่วง	ใบเหี่ยว ลำต้นแห้ง ตาย
	28	เจริญเติบโตปกติ	ใบเหี่ยว ลำต้นแห้ง ตาย	ใบเหี่ยว ลำต้นแห้ง ตาย

4.3 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการสะสมแคดเมียมในต้นพืชดินและในดิน

จากการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมในต้นกระเพรา และต้นโหระพาที่ปลูกในดินชุดที่ 2 ซึ่งเป็นดินที่มีการปนเปื้อนน้อย และมีปริมาณแคดเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 4.42 มิลลิกรัม/กิโลกรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แคดเมียมเท่ากับ 100% หลังจากการปลูกต้นกระเพราและโหระพาไปได้ 7, 14, 21 และ 28 วัน ทำการเก็บตัวอย่างพืชมาศึกษาปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ใน ใบ รากรวมกับลำต้นของพืช และปริมาณที่เหลือในดิน เมื่อนำมาคำนวณ โดยคิดเป็นสัดส่วนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ตามลำดับ

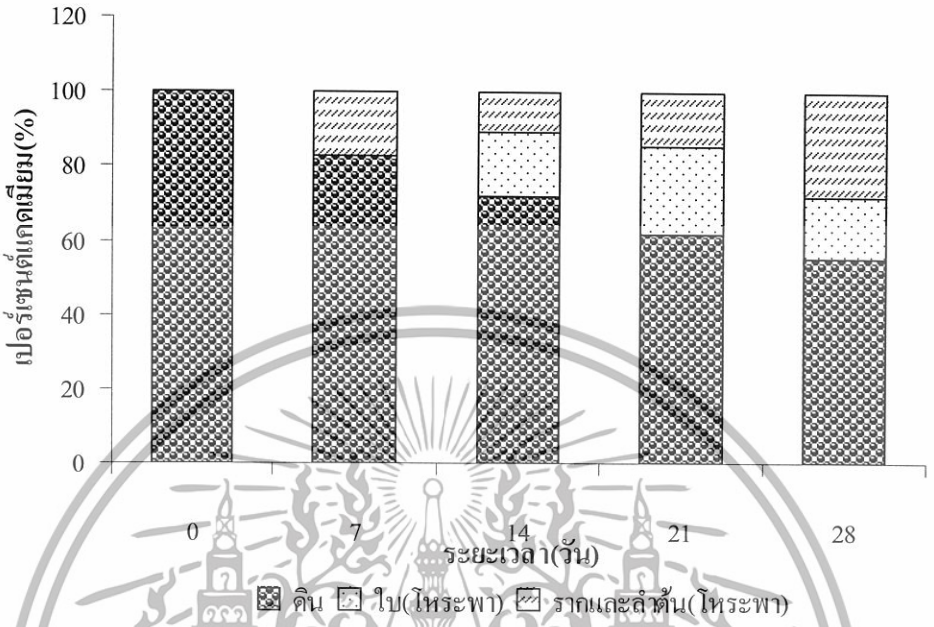
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในต้นกระเพราที่ปลูกใน ดินชุดที่ 2 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4 .4 พบว่าการสะสมของแคดเมียมในต้นกระเพราที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน มีการดูดซึมแคดเมียมเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับที่สะสมอยู่ในดิน โดยที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน การดูดซึมแคดเมียมมีอยู่ในรากและลำต้นของพืช เมื่อระยะเวลาในการปลูกพืชเพิ่มขึ้นเป็น 21 และ 28 วันจะพบว่าปริมาณการสะสมแคดเมียมมีอยู่ทั้งในใบรวมถึงรากและลำต้นซึ่งการสะสมในต้นพืชมีสัดส่วนสูงสุดอยู่ที่ระยะเวลา 21 วัน โดยปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในใบเท่ากับ 13.29% และในรากและลำต้นเท่ากับ 21.03%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

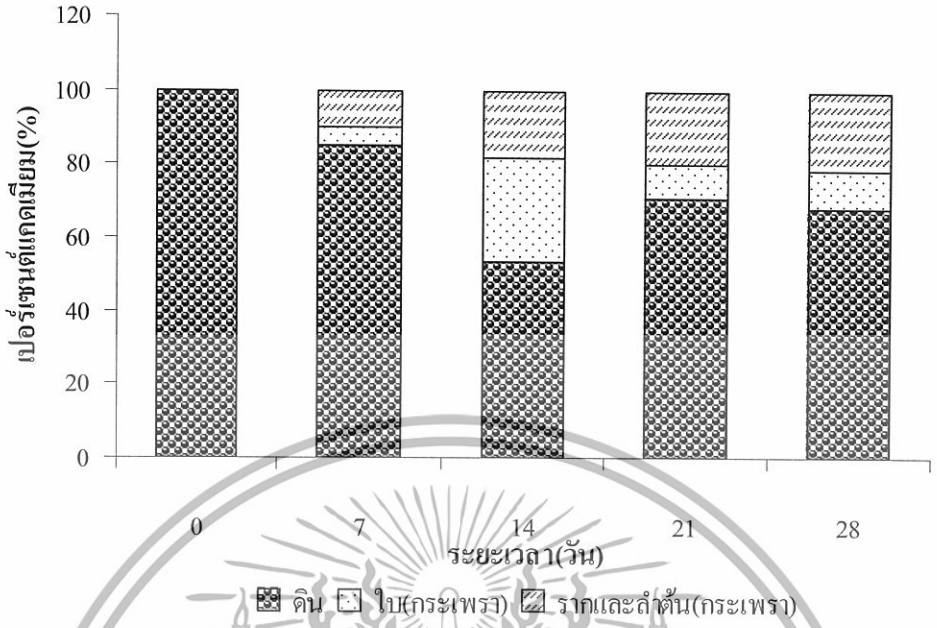


รูปที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในต้นโหระพา ที่ปลูกในดินชุดที่ 2 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.5 พบว่าการสะสมของแคดเมียมในต้นโหระพาที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน มีการดูดซึมแคดเมียมเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับที่สะสมอยู่ในดิน โดยที่ระยะเวลา 7 วันการดูดซึมแคดเมียมมีอยู่ในรากและลำต้นของพืช เมื่อระยะเวลาในการปลูกพืชเพิ่มขึ้นเป็น 14, 21 และ 28 วัน ปริมาณการสะสมแคดเมียมมีอยู่ทั้งในใบรวมถึงรากและลำต้น โดยมีการสะสมอยู่ในใบพืชสูงสุดอยู่ที่ระยะเวลา 21 วัน ปริมาณการสะสมเท่ากับ 23.78% และมีการสะสมในรากและลำต้นพืชสูงสุดอยู่ที่ระยะเวลา 28 วัน ปริมาณการสะสมเท่ากับ 21.03% เมื่อรวมผลของใบและรากกับลำต้นของพืชปริมาณของแคดเมียมสูงสุดที่ระยะเวลา 28 วันโดยมีปริมาณของแคดเมียมเท่ากับ 44.56%

สำหรับปริมาณการสะสมแคดเมียมในต้นกระเพรา และต้นโหระพาที่ปลูกในดินชุดที่ 3 ซึ่งเป็นดินที่มีการปนเปื้อนสูง และมีปริมาณแคดเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 31.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แคดเมียมเท่ากับ 100% ปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในใบ รากรวมกับลำต้นของพืชและในดิน คิดเป็นสัดส่วนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6

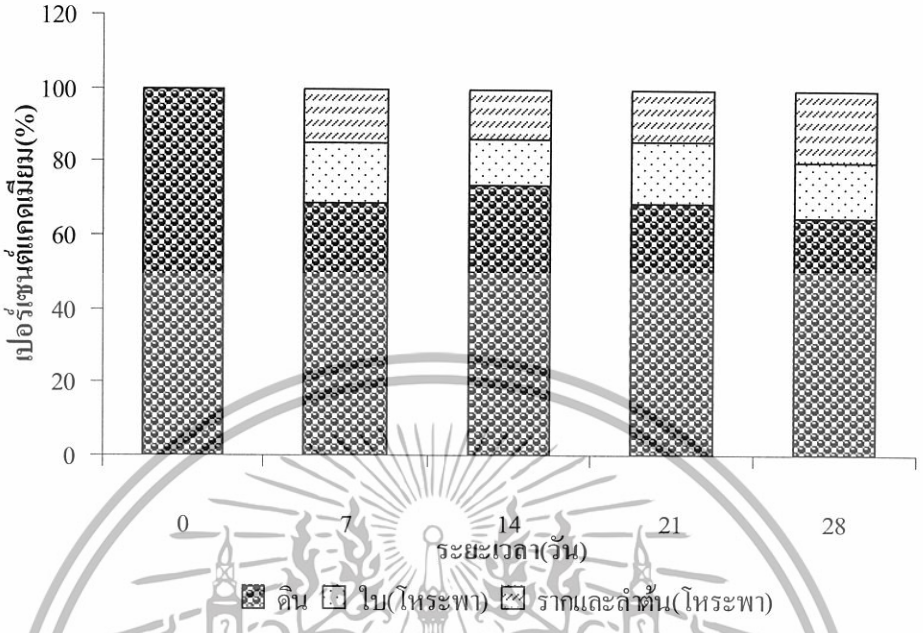
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ปริมาณแคดเมียม ที่สะสมในต้นกระเพรา ที่ปลูกในดินชุดที่ 3 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.6 พบว่าการสะสมของแคดเมียมในต้นกระเพราที่ปลูกในดินชุดที่ 3 ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน มีการดูดซึมแคดเมียมเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในดิน โดยที่ระยะเวลา 7 วันการดูดซึมแคดเมียมมีอยู่ในใบ รากและลำต้นของพืช โดยมีการสะสมอยู่ในใบพืชสูงสุดอยู่ที่ระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณการสะสมเท่ากับ 28.09% และมีการสะสมในรากและลำต้นพืชสูงสุดอยู่ที่ระยะเวลา 28 วัน มีปริมาณการสะสมเท่ากับ 21.29% เมื่อรวมผลของใบและรากกับลำต้นของพืชปริมาณของแคดเมียมสูงสุดที่ระยะเวลา 14 วันโดยมีปริมาณของแคดเมียมเท่ากับ 46.44%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



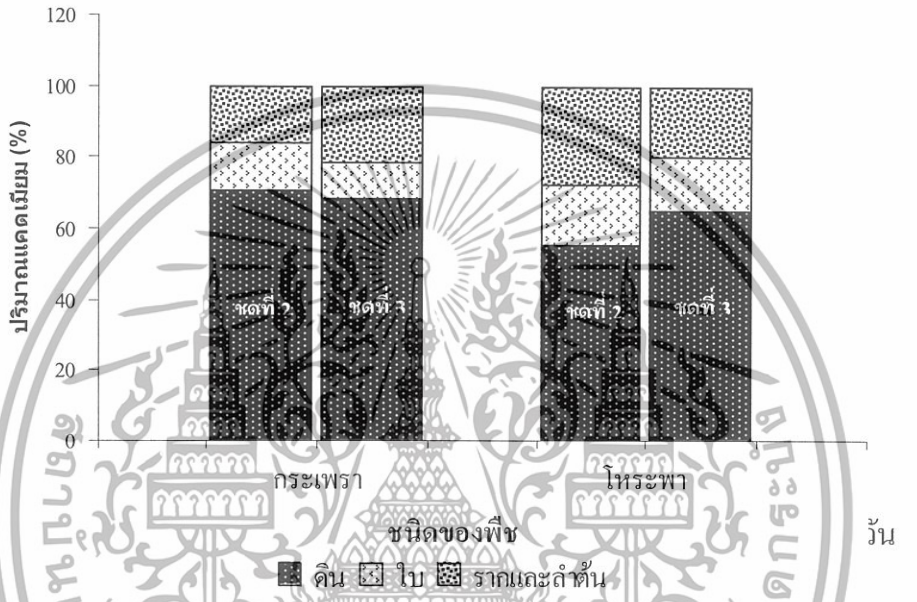
รูปที่ 4.7 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดินชุดที่ 3 และต้นโหระพา ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.7 เป็นการปลูกต้นโหระพาในดินชุดที่ 3 (ปริมาณแคดเมียมสูง) พบว่าการสะสมของแคดเมียมในต้นโหระพาที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน มีการดูดซึมแคดเมียมเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในดิน ที่ระยะเวลา 7,14, 21 และ 28 วันจะพบว่าปริมาณการสะสมแคดเมียมมีอยู่ทั้งในใบรวมถึงรากและลำต้น โดยมีการสะสมอยู่ในใบพืชสูงสุดอยู่ที่ระยะเวลา 21 วัน ปริมาณการสะสมเท่ากับ 16.62% และปริมาณการสะสมในรากและลำต้นพืชสูงสุดอยู่ที่ระยะเวลา 28 วัน มีปริมาณการสะสมเท่ากับ 19.94% เมื่อรวมผลของใบและรากกับลำต้นของพืช ปริมาณของแคดเมียมสูงสุดที่ระยะเวลา 28 วัน โดยมีปริมาณของแคดเมียมเท่ากับ 34.97%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของการเปรียบเทียบการสะสมแคดเมียมในพืช 2 ชนิด

ในการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซึมและปริมาณแคดเมียมที่สะสมในส่วนต่างๆ ของต้นโหระพา และกระเพราที่ระยะเวลา 28 วัน โดยจากการปลูกพืชพบว่าปริมาณแคดเมียมที่สะสม ใบ รากรวมกับลำต้นของพืช และในดิน แสดงได้ดังรูปที่ 4.8

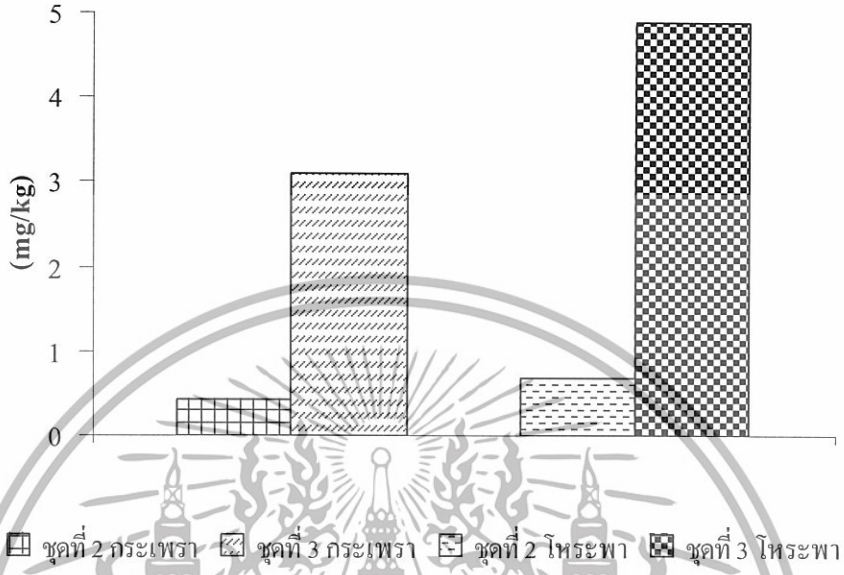


รูปที่ 4.8 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดินและพืชทั้งสองชนิด ที่ระยะเวลา 28 วัน

จาก รูปที่ 4.8 พบว่าปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ที่ต้นโหระพามีค่าสูงกว่าปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ที่ต้นกระเพราในดินทั้งสองชนิด เนื่องมาจากการเจริญเติบโตของต้นโหระพาที่ดีกว่าต้นกระเพรา โดยปริมาณแคดเมียมที่สะสมในต้นกระเพราและต้นโหระพาในดินทั้งสองชุดนั้น จะมีปริมาณแคดเมียมที่สะสมที่รากและลำต้นสูงกว่าปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ที่ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ศึกษาปริมาณแคดเมียมที่สะสมในส่วนที่กินได้ของต้นพืชทั้ง 2 ชนิด



รูปที่ 4.9 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในส่วนที่กินได้ (ใบ) ของต้นพืชทั้ง 2 ชนิด

จากรูปที่ 4.9 พบว่าปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในใบของกระเพราที่ปลูกในดินชุดที่ 2 และ 3 มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 0.42, 3.10 mg/kg และในใบโหระพาที่ปลูกในดินชุดที่ 2 และ 3 มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 0.68, 4.90 mg/kg ซึ่งยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นอันตรายต่อผู้ที่รับประทานเข้าไปมากน้อยเพียงใดเนื่องจากยังไม่มีผู้ศึกษาและข้อมูลที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาการสะสม แคดเมียม ในส่วนต่างๆของต้นพืชคือส่วนที่กินได้(ใบ) และ ส่วนที่กินไม่ได้(ลำต้น+ราก) ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักด้วยการปลูกพืช 2 ชนิด คือ กระเพรา และโหระพา และเก็บตัวอย่างพืชที่ระยะเวลา 7, 21 และ 28 วัน โดย ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ห้วยแม่ตาว จากพื้นที่ 2 บริเวณที่ปริมาณการปนเปื้อนแตกต่างกัน สำหรับพืชที่ใช้ศึกษาคือ ต้นโหระพา กระเพราจะปลูกในดินธรรมชาติ (ดินชุดที่1) เพื่อเป็นชุดควบคุม ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินชุดที่ 1, 2 และ 3 มีพีเอชเท่ากับ 6.18, 6.21 และ 6.21 ตามลำดับ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มีค่า 2.39, 1.53 และ 2.11 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำหนักดินแห้ง 10 กรัม ตามลำดับ มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 9.08±0.38, 0.60±0.01 และ 0.50±0.01 ตามลำดับ ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 11.44±0.81, 0.31±0.00 และ 1.6±0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณอินทรียวัตถุ19.72±1.40, 2.26±0.01 และ 2.76±0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด 0.00, 4.42 และ 31.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง หลังจากการปลูกพืชเป็นเวลา 28 วัน ดินชุดที่ 1, 2 และ 3 ที่ทำการปลูกกระเพรา มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.32±0.03, 6.43±0.08 และ 7.07±0.09 ตามลำดับ ส่วนค่าพีเอชในดินที่ปลูกต้นโหระพามีค่าเท่ากับ 5.76±0.05, 6.53±0.07 และ 7.06±0.19 ตามลำดับ สำหรับปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 16.99±1.61, 1.92±0.19 และ 2.09±0.16 ปริมาณอินทรียวัตถุ 29.29±0.81, 3.32±0.34 และ 3.61±0.28 ตามลำดับ และความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินทั้ง 3 ชุด เพิ่มขึ้นโดยมีค่าดังนี้ ดินชุดที่ทำการปลูกกระเพรามีค่าเท่ากับ 11.20±2.85, 2.62±1.27 และ 2.26±0.95 และดินที่ปลูกต้นโหระพาทั้ง 3 ชุด มีค่าเท่ากับ 11.49±2.75, 2.98±0.86 และ 2.91±0.88 ตามลำดับ

ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นพืชพบว่าพืชทั้งสองชนิดมีการเจริญเติบโตที่ดีในดินชุดที่ 1 ในขณะที่การเจริญเติบโตของพืชในดินชุดที่ 2 และชุดที่ 3 มีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ลดลงโดยพืชมีลักษณะอาการใบเหลือง รวมทั้งเหี่ยวแห้งและตายไป และต้นโหระพามีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นกระเพรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาผลของระยะเวลาที่มีผลต่อการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆของต้นพืชพบว่า ในดินชุดที่ 2 และชุดที่ 3 การดูดซึมแคดเมียมเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในดิน โดยการดูดซึมแคดเมียมมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามระยะเวลาในการปลูกต้นพืช และที่ระยะเวลา 28 วัน พบว่าปริมาณแคดเมียมที่สะสมอยู่ในต้นโหระพา มีสัดส่วนที่สูงกว่าปริมาณที่สะสมอยู่ที่ต้นกระเพรา เนื่องจากการเจริญเติบโตของต้นโหระพาที่ดีกว่าต้นกระเพรา และในการดูดซึมแคดเมียม สังเกตได้ว่ามีการดูดซึมในส่วนของรากและลำต้นได้ดีกว่าการดูดซึมแคดเมียมทางใบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การสะสมของแคดเมียมในรากพืชอาจมีค่ามากเกินความเป็นจริงเนื่องจากในขณะล้างดินและแช่ดินอาจมีดินปนเปื้อนแคดเมียมติดอยู่ที่รากของต้นพืช
2. ควรทำการทดลองโดยเพิ่มช่วงให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มการสะสมในต้นพืช
3. ควรเปลี่ยนชนิดของพืชที่ใช้ในการศึกษา เพื่อหาความแตกต่างการสะสมโลหะหนัก
4. การเก็บตัวอย่างดินเป็นการเก็บแบบสุ่มดังนั้นปริมาณแคดเมียมในแต่ละตำแหน่งมีค่าแตกต่างกัน
5. การแตกใบใหม่ของต้นพืชอาจมีปริมาณแคดเมียมที่สะสมในใบมากกว่าต้นพืชที่ไม่แตกใบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2535. **มาตรฐานคุณภาพดิน** [Online].Available://http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil.html

กรมพัฒนาที่ดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.2535 **คู่มือการวิเคราะห์ดิน.** กรุงเทพฯ.

พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. 2549. **"เรื่องเก่าที่คุ้นเคยกับคำใหม่ที่เรียกว่า Phytoremediation."** ปีที่ 10, ฉบับที่ 1 (ม.ค.-มี.ค. 49), หน้า 48-54.

พิชิต พงษ์สกุล และ Robert Simmons. 2547. **"แกะรอยแคดเมียมที่แม่ตาว."** 6 มีนาคม 2547, มติชนรายวัน, หน้า 1-3.

กรมวิชาการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาป้จจัยการผลิตทางการเกษตร ผลงานวิจัยปี 2539 – 2548 **"ความเข้มข้นของสังกะสี เหล็ก และแคดเมียมในข้าวและถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มีสังกะสีและแคดเมียมสูง."** ปีที่ 25 , ฉบับที่ 2 (เม.ย.-มิ.ย. 46) , หน้า 86-102.

พิชิต พงษ์สกุล, สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์ และสุรทิน แก้วโรจน์. 2544. วารสารดินและปุ๋ย **"การดูดซับแคดเมียมในดิน (Cadmium Adsorption in soils)".** ปีที่ 22, ฉบับที่ 4 (ต.ค. 43), หน้า 163-173.

ไพรบูรณ์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. **เคมีของดิน (Soil chemistry)** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยกษตรศาสตร์.

สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2538 **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี.** กรุงเทพ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยกษตรศาสตร์.

John Kania., 2002. Environmental Toxicology. **Phytoremediation** [Online].Available: http://www.colorado.edu/MCEN/EnvTox/Phytoremedy.pdf

M.B. Kirkham., 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. **Geoderma,** 137 :19-32.

Veerle M.J. Gripen, Hans J.M. Nelissen, Jos A.C.Verkleij., 2004. Phytoextraction with *Brassica napus* L.: A tool for sustainable management of heavy metal contaminated soils. **Environmental Pollution**, 144 :77-83.

Evangelou M.W.H., Daghan H., Schaeffer A., 2004. The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil . **Chemosphere**, 57: 207-213.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง

1. การวัดค่าพีเอช

1. ชั่งดินแห้ง 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไป 5 มล. พร้อมบันทึกหมายเลขตัวอย่างดิน
2. กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ขณะที่ตั้งสารละลายทิ้งไว้ ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดพีเอช กับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 (ปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องวัดพีเอช)
4. จุ่มอิเลคโทรดลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลากวนโดยใช้การหมุนอิเลคโทรดเบาๆ (ระวัง! อิเลคโทรดกระแทกแตกได้) อ่านค่าพีเอช

2. การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 5-10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล. เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (นอร์มอล) ลงไป ประมาณ 60 มล. ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน
2. นำไปปั่นเหวี่ยงนาน 5 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง
3. ชะล้างตัวอย่างดินด้วย สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 นอร์มอล ครั้งละ 30 มล. นำไปปั่นเหวี่ยงแยกเอาส่วนใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (การทดสอบแคลเซียมทำได้โดยนำส่วนใสจากการลางแต่ละครั้ง ประมาณ 10 มล. ใส่หลอดทดลองหยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 นอร์มอล , แอมโมเนียมออกซาเลท 10 % และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50 % อย่างละ 2-3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าตะกอนหรือสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่ต้องล้างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทต่อไปอีก
4. ชะล้างตัวอย่างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 นอร์มอล อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 7 ครั้ง ๆ ละ 30 มล. โดยในการล้างแต่ละครั้งให้นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงนาน 3-5 นาที เพื่อแยกส่วนใสออกจนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ในดิน ใช้หลอดหยดดูดเฉพาะส่วนที่ใสมาใส่ภาชนะอื่นเพื่อทดสอบคลอไรด์ การทดสอบคลอไรด์ทำได้โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.1 นอร์มอล ($AgNO_3$) 2-3 หยดลงในสารละลายส่วนที่ใสจากการปั่นเหวี่ยง ถ้ามาตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) เกิดแสดงว่ายังมีคลอไรด์เหลืออยู่ ต้องล้างดินด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสารละลายที่ได้จากข้างต้นไปทิ้ง นำดินที่ได้มาล้างต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (acidified NaCl) 10 % เพื่อแอมโมเนียมไอออนในดิน โดยล้างครั้งละ 30 มล. ซ้ำ 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยง (เก็บส่วนใสไว้)
6. นำส่วนใสที่ได้จากสารละลายดินมาใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรรวมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มล.
7. นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียมออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงไป 25 มล. ใส่ในขวดกลั่นเจห์ดาลโดยใช้ปลายคอนเดนเซอร์จุ่งอยู่ในสารละลายกรดบอริก 3 % จำนวน 50 มล. ซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2-3 หยด กลานจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว ขณะกลั่นควรตรวจสอบว่าน้ำหล่อเย็นที่เข้าและออก ช่วยดักให้ก๊าซแอมโมเนียกลั่นตัวได้ดีหรือไม่ ถ้าอุณหภูมิน้ำออกและที่ใช้ภาชนะที่ใส่สารละลายกรดบอริกสูงมากจะไม่สามารถจับก๊าซแอมโมเนียด้วยกรดบอริกได้สมบูรณ์ ควรใช้น้ำแข็งหล่อเย็นรอบ ๆ ภาชนะที่ใส่สารละลายกรดบอริกด้วย
8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
9. กลั่นแบลงค์ และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$CEC = \frac{[(A-B)N \times 100]}{X} \text{ มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน} \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มล.)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐาน (นอร์มอล)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

3. การหาค่าความชื้น (Cartar , 1993)

1. ชั่งกระจกนาฬิกาที่สะอาด
2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 กรัม ลงบนกระจกนาฬิกาจดบันทึกน้ำหนักเปียก
3. นำไปเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซนต์ความชื้น
   % ความชื้น = [(น้ำหนักเปียก-น้ำหนักแห้ง) x 100] / น้ำหนักแห้ง .....(2)
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

4. การหาลักษณะเนื้อดิน

<u>การปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์</u>

1. เทสารละลายคัลกอน ปริมาตร 100 มล. ลงในกระบอกตวงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1.0 ลิตร ผสมให้ทั่วด้วยแท่งแก้วคนแบบ plunger ตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่ (อยู่ในช่วง 20-25 องศาเซลเซียส)
2. ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในสารละลายอย่างระมัดระวัง อ่านค่าจากสเกลที่รอยเว้าบนของ ของเหลวที่ล้อมรอบไฮโดรมิเตอร์

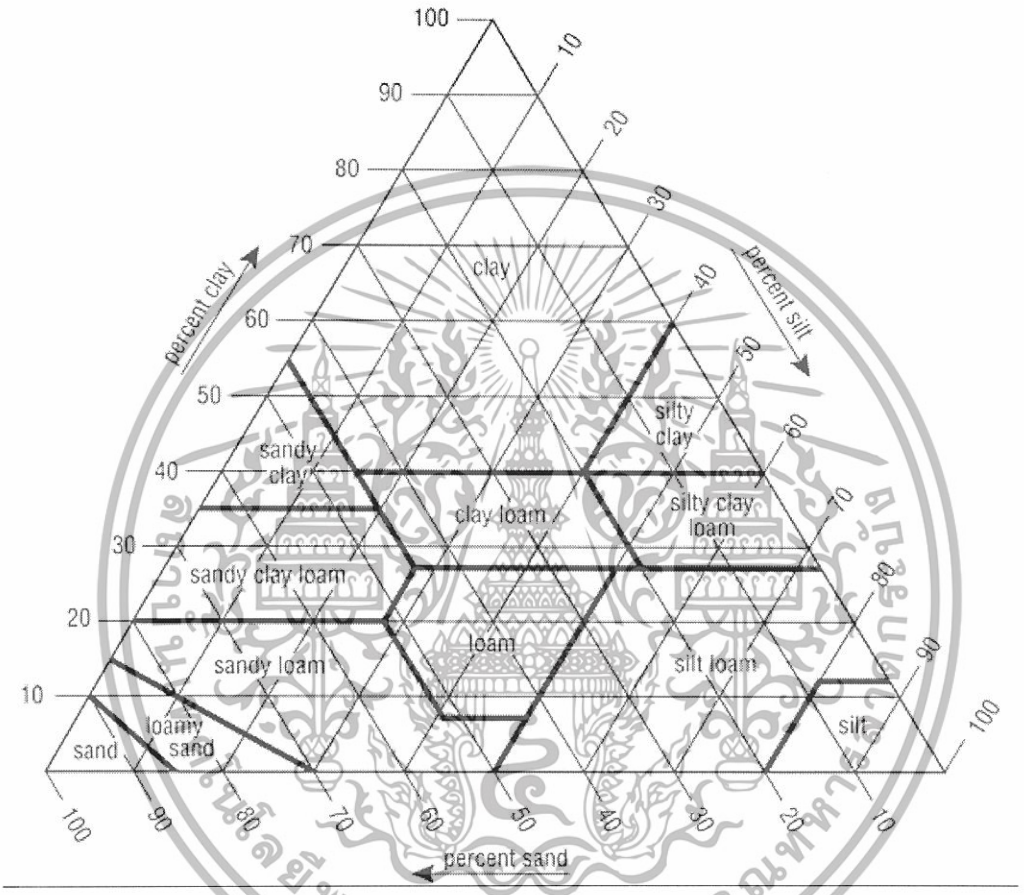
<u>การอ่านค่าจากสารแขวนลอย</u>

1. ชั่งดินที่ผึ่งแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มล. แล้ว 40 กรัม (ถ้าเป็นดินทรายร่วนหรือดินทรายใช้ 100 กรัม) ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มล. เติมสารละลายคัลกอน 100 มล. และน้ำประมาณ 300 มล. ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
2. ชั่งดินตัวอย่างเดิมอีก 10 กรัม เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และน้ำหนักแห้งแล้วนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 คืน แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนัก
3. นำสารแขวนลอยดินจากข้อ 1 มากวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กประมาณ 5 นาที แล้วเทลงกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร
4. ปรับปริมาตรสารในข้อ 3 ด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1 ลิตร ทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่
5. จุ่มแท่งแก้วคนแบบ plunger แบบขึ้น-ลง เบา ๆ เพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างทั่งทั้งกระบอกตวง (ให้หมุนขึ้นลงแบบเกลียวสว่าน 2-3 รอบ) บันทึกเวลาเมื่อคนเสร็จ (เติม 1 หยดของเอมิลแอลกอฮอล์ ถ้าที่ผิวของสารแขวนลอยเป็นฟอง)
6. ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงอย่างระมัดระวังในสารแวนลอยและอ่านสเกลเหมือนหัวข้อการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที หลังจากการกวนผสม ค่าที่อ่านได้ควรหักลบจากค่าที่อ่านได้จากการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์
7. ค่อย ๆ ดึงไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอย่างระมัดระวังเมื่ออ่านเสร็จ ล้างและเช็ดให้แห้ง
8. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้งโดยทำเหมือนข้อ 6 และ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวัง

การหาขนาดของอนุภาคด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์นี้ไม่เหมาะสมในกรณีที่ดินตัวอย่างมีหินปูนมากหรือเป็นดินเค็ม หรือมีอินทรีย์คาร์บอนมากกว่า 2 %



รูปที่ ก-1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสของดิน

การคำนวณ

$$\% \text{ Sand} = [(W - R_{40S}) \times 100] / W \quad \text{.....(3)}$$

$$\% \text{ Clay} = [(R_{2hr}) \times 100] / W \quad \text{.....(4)}$$

$$\% \text{ Silt} = 100 - (\%\text{Sand} + \%\text{Clay}) \quad \text{.....(5)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

W = น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

R_{40s} = ค่าจากไฮโดรมิเตอร์ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่ 40 วินาที

R_{2hr} = ค่าจากไฮโดรมิเตอร์ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่ 2 ชั่วโมง

ตัวอย่างการหาปริมาณอนุภาคต่าง ๆ

การนำดินตัวอย่างที่ผึ่งแห้ง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช มาจำนวนหนึ่ง มีน้ำหนักแห้ง 50 กรัม ทำการกระจายตัวได้สารแขวนลอย 1 ลิตร อ่านค่าจากไฮโดรมิเตอร์เมื่อตั้งทิ้งไว้ 40 วินาที และ 2 ชั่วโมง ได้ 33 และ 18 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

% Sand = [(50-13) x 100] /50 = 34%

% Clay = [(18_r) x 100] /50 = 36%

% Silt = 100 – (34-36) = 30%

จากรูปทำการพลอต % ทราย เคลย์ และซิลต์ เท่ากับ 34 36 และ 30% ตามลำดับ จากจุดตัดนี้แสดงว่ามีเนื้อสัมผัสของดินเป็น ดินเหนียวปนร่วน Clay Loam (CL)

5. การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

วิธี Walkley and Black

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
2. เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมต 1 นอร์มอล ลงไป 10 มล. โดยใช้ปิเปต
3. เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้นลงไป 15 มล. เขย่าขวดแก้วเบาๆ เป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ในดินและน้ำยาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที
4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มล. ทิ้งไว้ให้เย็น เย็น (หยดอินดิเคเตอร์ ออร์โทฟีแนนโทรลีน 5 หยด)
5. ไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยน้ำยาเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มอล เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยา จนกระทั่งสีของสารละลายดิน เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
6. จดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตและเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้
7. ทำแบลงค์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ดิน
8. คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\% \text{ Organic carbon} = \left[\frac{(B-T)N}{B}\right]\times\left[\frac{100}{77}\right]\times 0.003\times\left[\frac{100}{X}\right]\times 10 \quad \text{.....(6)}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอนโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์

T = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน

X = น้ำหนักดิน

$$\% \text{ Organic matter} = \% \text{ Organic carbon} \times 1.724 \quad \text{.....(7)}$$

หรือ $$\% \text{ Organic matter} = \left[\frac{(B-T)N}{B}\right]\times\left[\frac{100}{77}\right]\times\left[\frac{100}{58}\right]\times 0.003\times\left[\frac{100}{X}\right]\times 10 \quad \text{.....(8)}$$

6. การหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมด

วิธี Microwave digestion

1. เลือก digestion program ให้เหมาะสมกับตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างลงใน vessel ของ rotor type ที่กำหนดให้ใช้ได้ใน program
3. ใส่กรดที่มีความเข้มข้นและปริมาณตามที่ระบุไว้ใน program
4. ใส่ vessel ใน protective shield ปิดฝา ตามด้วย adapter plate และ special spring นำไปใส่ใน polypropylene rotor body

หมายเหตุ ถ้าตัวอย่างไม่ครบทุก vessel ให้วาง vessel ที่มีสารให้สมดุลหรือใช้ vessel เปล่าวางแทน

5. ไขให้แน่นด้วย tension wrench (ด้ามสีดำ) เมื่อแน่นจะได้ยินเสียง “คลิก”
6. วาง polypropylene rotor body ใน microwave unit โดยสวมให้ตรงกับแกน
7. กำหนดค่าของ time, power, pressure, temp ตามที่กำหนดใน program ที่เลือกไว้
8. กด Start เครื่องจะ check และทำตาม program
9. เมื่อสิ้นสุดการ digest ตาม program เครื่องจะแสดง switch off microwave unit และ exhaust Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เปิดเครื่อง microwave unit และยก rotor body ทำให้เย็นโดยใส่ใน cooling bath ประมาณ 10 นาที
11. นำ Vessel ออก แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกรอง
12. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะแคดเมียมด้วยเครื่อง AAS

โปรแกรมการย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟ

Stop	time	power	press	Temp1	Temp2
1	00:06:00	250	0	0	0
2	00:06:00	600	0	0	0
3	00:06:00	450	0	0	0
4	00:06:00	250	0	0	0
5	00:00:00	0	0	0	0
6	00:00:00	0	0	0	0
7	00:00:00	0	0	0	0
8	00:00:00	0	0	0	0
9	00:00:00	0	0	0	0
10	00:00:00	0	0	0	0

Vent 00:05:00 Rotor ctrl on Twist on

สารเคมีที่ใช้ในการย่อยดินด้วยเครื่องไมโครเวฟ

1. HNO_3 65 % 4 มล.
2. H_2SO_4 85 % 3 มล.
3. HF 1 มล.

2. Atomic Absorption Spectrometry

นำสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟและกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วไปวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometry ที่ความยาวคลื่น 357 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผลการทดลองเบื้องต้น

ตารางที่ ข-1 แสดงลักษณะทั่วไปของต้นกระเพราในการทดลองเบื้องต้น

วันที่	ลักษณะทั่วไปของต้นกระเพรา	
	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ
2	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ
3	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ
4	เจริญเติบโตปกติ	เจริญเติบโตปกติ
5	ขอบใบหงิก, เนื้อใบแข็ง	ขอบใบหงิก, เนื้อใบแข็ง
6	,,	,,
7	,,	,,
8	ขอบใบหงิก, เนื้อใบแข็ง, ขนาดของใบเล็กลง (ตาย 1)	,,
9	,,	,,
10	,, (ตาย 2)	,,
11	,,	,, (ตาย 1)
12	,,	,,
13	,,	,,
14	,,(ตาย 3)	,, (ตาย 2-3)
15	,,	,,
16	,,	,, (ตาย 4)
17	ขอบใบหงิก, ใบบางขึ้นและมีสีซีด (เขียวใสออกเหลือง)	-
18	,,	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 แสดงลักษณะทั่วไปของต้นกระเพราในการทดลองเบื้องต้น (ต่อ)

วันที่	ลักษณะทั่วไปของต้นกระเพรา	
	แคดเมียมน้อย	แคดเมียมมาก
19	,,	-
20	,,	-
21	,,	-
22	ใบมีสีซีด(เขียวใสออกเหลือง), ลำต้นและใบเหี่ยว	-
23	,,	-
24	,,	-
25	,,	-
26	(ตาย 4)	-
27	-	-
28	-	-
29	-	-
30	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงค่าความสูงของต้นพืช

ตารางที่ ค-1 ตารางแสดงค่าความสูงของต้นกระเพราที่ 0 วัน

ถุงเพาะที่	ต้นที่	ความสูง (เซนติเมตร)		
		ดินชุดที่1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	1	8.22	8.75	8.45
	2	7.95	9.30	8.15
	3	8.59	8.15	8.85
$\overline{X}$		8.25	8.73	8.48
SD		0.32	0.58	0.35
2	1	8.37	8.15	8.35
	2	8.30	7.80	8.75
	3	8.31	7.95	8.45
$\overline{X}$		8.33	7.97	8.52
SD		0.03	0.18	0.21
3	1	8.31	7.80	8.75
	2	8.32	7.95	8.75
	3	8.31	8.55	8.30
$\overline{X}$		8.31	8.10	8.60
SD		0.01	0.40	0.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 ตารางแสดงค่าความสูงของต้นกระเพราที่ 7 วัน

ถุงเพาะที่	ต้นที่	ความสูง (เซนติเมตร)		
		ดินชุดที่1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	1	*	8.70	9.25
	2	*	8.95	9.10
	3	*	9.15	9.75
$\overline{X}$		0.00	8.93	9.37
SD		0.00	0.23	0.34
2	1	*	8.45	9.25
	2	*	8.70	9.10
	3	*	8.65	9.70
$\overline{X}$		0.00	8.60	9.35
SD		0.00	0.13	0.31
3	1	*	9.45	9.25
	2	*	9.10	9.50
	3	*	9.25	9.60
$\overline{X}$		0.00	9.27	9.45
SD		0.00	0.18	0.18

* ไม่ได้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 ตารางแสดงค่าความสูงของต้นกระเพราที่ 14 วัน

ถุงเพาะที่	ต้นที่	ความสูง (เซนติเมตร)		
		ดินชุดที่1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	1	*	9.45	10.05
	2	*	9.60	10.40
	3	*	9.75	10.35
$\overline{X}$		0.00	0.00	10.27
SD		0.00	0.00	0.19
2	1	*	9.50	9.85
	2	*	9.75	10.00
	3	*	9.30	10.15
$\overline{X}$		0.00	0.00	10.00
SD		0.00	0.00	0.15
3	1	*	9.45	9.85
	2	*	9.15	10.25
	3	*	9.30	10.05
$\overline{X}$		0.00	0.00	10.05
SD		0.00	0.00	0.20

* ไม่ได้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 ตารางแสดงค่าความสูงของต้นกระเพราที่ 21 วัน

ถุงเพาะที่	ต้นที่	ความสูง (เซนติเมตร)		
		ดินชุดที่1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	1	*	11.25	11.65
	2	*	11.55	11.95
	3	*	11.20	11.70
$\overline{X}$		0.00	0.00	11.77
SD		0.00	0.00	0.16
2	1	*	10.95	11.85
	2	*	10.25	11.70
	3	*	11.15	11.65
$\overline{X}$		0.00	0.00	11.73
SD		0.00	0.00	0.10
3	1	*	11.85	11.55
	2	*	11.90	11.60
	3	*	11.65	11.75
$\overline{X}$		0.00	0.00	11.63
SD		0.00	0.00	0.10

* ไม่ได้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-5 ตารางแสดงค่าความสูงของต้นกระเพราที่ 28 วัน

ถุงเพาะที่	ต้นที่	ความสูง (เซนติเมตร)		
		ดินชุดที่1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	1	20.00	19.00	12.00
	2	28.50	11.70	11.00
	3	25.00	17.00	15.00
$\overline{X}$		24.50	15.90	12.67
SD		26.00	3.77	2.08
2	1	25.30	15.50	18.50
	2	24.50	14.00	22.00
	3	24.95	15.80	17.00
$\overline{X}$		24.92	15.10	19.17
SD		24.79	0.96	2.57
3	1	25.05	9.00	20.30
	2	25.35	19.50	17.30
	3	25.55	19.00	26.00
$\overline{X}$		25.32	15.83	21.20
SD		25.41	5.92	4.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-6 ตารางแสดงค่าความสูงของต้นโหระพาที่ 0 วัน

ถุงเพาะที่	ต้นที่	ความสูง (เซนติเมตร)		
		ดินชุดที่1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	1	17.95	17.65	18.50
	2	17.70	17.70	18.45
	3	17.85	17.85	18.65
$\overline{X}$		17.83	17.73	18.53
SD		0.13	0.10	0.10
2	1	18.35	18.00	18.35
	2	18.00	18.15	18.40
	3	18.25	18.05	18.60
$\overline{X}$		18.20	18.07	18.45
SD		0.18	0.08	0.13
3	1	18.75	18.45	18.75
	2	18.60	18.50	18.60
	3	18.85	18.30	19.05
$\overline{X}$		18.73	18.42	18.80
SD		0.13	0.10	0.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-7 ตารางแสดงค่าความสูงของต้นกระเพราที่ 7 วัน

ถุงเพาะที่	ต้นที่	ความสูง (เซนติเมตร)		
		ดินชุดที่1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	1	-	18.35	19.50
	2	-	18.45	19.85
	3	-	18.50	19.75
$\overline{X}$		0.00	18.43	19.70
SD		0.00	0.08	0.18
2	1	-	18.50	19.65
	2	-	18.75	19.80
	3	-	18.45	19.95
$\overline{X}$		0.00	18.57	19.80
SD		0.00	0.16	0.15
3	1	-	18.75	19.95
	2	-	18.60	19.80
	3	-	18.75	19.75
$\overline{X}$		0.00	18.70	19.83
SD		0.00	0.09	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-8 ตารางแสดงค่าความสูงของต้นกระเพราที่ 14 วัน

ถุงเพาะที่	ต้นที่	ความสูง (เซนติเมตร)		
		ดินชุดที่1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	1	-	19.55	20.85
	2	-	19.80	20.90
	3	-	19.65	20.95
$\overline{X}$		0.00	19.67	20.90
SD		0.00	0.13	0.05
2	1	-	19.75	20.75
	2	-	19.55	20.90
	3	-	19.60	20.85
$\overline{X}$		0.00	19.63	20.83
SD		0.00	0.10	0.08
3	1	-	19.85	20.95
	2	-	19.90	20.70
	3	-	20.00	20.85
$\overline{X}$		0.00	19.92	20.83
SD		0.00	0.08	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-9 ตารางแสดงค่าความสูงของต้นกระเพราที่ 21 วัน

ถุงเพาะที่	ต้นที่	ความสูง (เซนติเมตร)		
		ดินชุดที่1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	1	-	19.95	22.55
	2	-	19.70	22.70
	3	-	19.85	22.65
$\overline{X}$		0.00	19.83	22.63
SD		0.00	0.13	0.08
2	1	-	20.05	22.85
	2	-	20.15	22.90
	3	-	20.45	22.75
$\overline{X}$		0.00	20.22	22.83
SD		0.00	0.21	0.08
3	1	-	20.00	22.95
	2	-	20.15	22.85
	3	-	19.95	23.05
$\overline{X}$		0.00	20.03	22.95
SD		0.00	0.10	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-10 ตารางแสดงค่าความสูงของต้นกระเพราที่ 28 วัน

ถุงเพาะที่	ต้นที่	ความสูง (เซนติเมตร)		
		ดินชุดที่1	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
1	1	26.60	22.50	20.00
	2	26.50	25.00	9.50
	3	26.55	24.20	32.50
$\overline{X}$		26.55	23.90	20.67
SD		26.53	1.28	11.51
2	1	26.75	21.50	28.50
	2	26.80	22.50	31.50
	3	27.05	31.30	28.50
$\overline{X}$		26.87	25.10	29.50
SD		26.91	5.39	1.73
3	1	27.15	25.50	34.20
	2	27.35	27.00	29.40
	3	26.90	22.40	26.50
$\overline{X}$		27.13	24.97	30.03
SD		27.13	2.35	3.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงค่าพีเอชของต้นพืช

ตารางที่ ง-1 ตารางแสดงค่าพีเอชของดินที่ปลูกต้นกระเพราที่ 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน

ดินชุดที่	ถุงเพาะที่	ครั้งที่	pH (ug/cm)				
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
-	Blank	1	6.45	6.17	7.09	6.50	4.20
		2	6.43	6.17	7.05	6.44	4.57
		3	6.54	6.33	6.98	6.48	4.35
		4	6.38	6.33	6.87	6.54	4.44
		5	6.43	6.30	6.79	6.45	4.62
	$\overline{X}$		6.45	6.26	6.96	6.48	4.44
	SD		0.06	0.08	0.12	0.04	0.17
1	-	1	6.30	*	*	*	5.29
		2	6.10	*	*	*	5.35
		3	6.09	*	*	*	5.32
		4	6.27	*	*	*	*
		5	6.16	*	*	*	*
	$\overline{X}$		6.18	*	*	*	5.32
	SD		0.10	*	*	*	0.03
2	1	1	6.20	5.90	6.05	6.02	6.24
		2	6.15	8.86	6.13	6.21	6.39
		3	6.29	5.97	6.33	6.04	6.51
		4	*	5.91	6.29	6.07	6.46
		5	*	6.01	6.26	5.99	6.48
	$\overline{X}$		6.21	6.53	6.21	6.07	6.42
	SD		0.07	1.30	0.12	0.09	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-1 ตารางแสดงค่าพีเอชของดินที่ปลูกต้นกระเพราที่ 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน (ต่อ)

ดินชุดที่	ถุงเพาะที่	ครั้งที่	pH (ug/cm)				
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
2	2	1	*	6.01	6.37	6.08	6.35
		2	*	6.36	6.26	6.30	6.35
		3	*	6.65	6.25	6.06	6.39
		4	*	6.17	6.30	6.38	6.29
		5	*	6.30	6.35	6.19	6.27
	$\overline{X}$		*	6.30	6.31	6.20	6.33
	SD		*	0.24	0.05	0.14	0.05
	3	1	*	5.68	5.89	5.76	6.46
		2	*	6.46	6.05	5.93	6.52
		3	*	6.62	6.18	6.29	6.51
		4	*	6.69	6.19	6.25	6.61
		5	*	6.68	6.15	6.41	6.64
	$\overline{X}$		*	6.43	6.09	6.13	6.55
	SD		*	0.43	0.13	0.27	0.07
3	1	1	6.20	6.66	6.65	6.67	6.76
		2	6.15	6.89	6.78	6.63	7.11
		3	6.29	6.97	6.73	6.30	7.15
		4	*	7.02	6.73	6.56	7.02
		5	*	7.06	6.83	6.65	7.10
	$\overline{X}$		6.21	6.21	6.74	6.56	7.03
	SD		0.07	0.07	0.07	0.15	0.16
	2	1	*	6.53	6.47	6.32	7.11
		2	*	6.88	6.59	6.79	7.05
		3	*	7.28	6.66	6.55	7.20
		4	*	6.99	6.39	6.51	7.10
		5	*	7.12	6.57	6.70	7.12
	$\overline{X}$		*	6.96	6.54	6.57	7.12
	SD		*	0.28	0.11	0.18	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-1 ตารางแสดงค่าพีเอชของต้นกระเพราที่ 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน (ต่อ)

ดินชุดที่	ถุงเพาะที่	ครั้งที่	pH (ug/cm)				
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
3	3	1	*	6.90	6.52	6.75	6.96
		2	*	7.16	6.62	6.68	7.12
		3	*	7.18	6.59	6.74	7.08
		4	*	7.24	6.58	6.70	7.10
		5	*	7.25	6.61	6.73	7.08
	$\overline{X}$		*	7.15	6.58	6.72	7.07
	SD		*	0.14	0.04	0.03	0.06

* ไม่ได้ทำการทดลอง

ตารางที่ ง-2 ตารางแสดงค่าพีเอชของดินที่ปลูกต้นโหระพาที่ 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน

ดินชุดที่	ถุงเพาะที่	ครั้งที่	pH (ug/cm)				
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
-	Blank	1	6.45	6.66	6.71	7.06	6.09
		2	6.43	6.79	6.53	6.97	6.11
		3	6.54	6.85	6.35	7.12	6.25
		4	6.38	6.92	6.44	7.04	6.31
		5	6.43	7.00	6.34	6.89	6.19
	$\overline{X}$		6.45	6.84	6.47	7.02	6.19
	SD		0.06	0.13	0.15	0.09	0.09
1	-	1	6.30	*	*	*	5.79
		2	6.10	*	*	*	5.78
		3	6.09	*	*	*	5.70
		4	6.27	*	*	*	*
		5	6.16	*	*	*	*
	$\overline{X}$		6.18	*	*	*	5.76
	SD		0.10	*	*	*	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 ตารางแสดงค่าพีเอชของดินที่ปลูกต้นโหระพาที่ 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน (ต่อ)

ดินชุดที่	ถุงเพาะที่	ครั้งที่	pH (ug/cm)				
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
2	1	1	5.00	6.31	6.26	6.57	6.34
		2	5.01	6.49	6.19	6.53	6.45
		3	5.01	6.31	6.09	6.43	6.47
		4	*	6.37	6.08	6.37	6.54
		5	*	6.46	6.33	6.36	6.55
	$\overline{X}$		5.01	6.39	6.19	6.45	6.47
	SD		2.38	0.08	0.11	0.09	0.08
	2	1	*	6.42	5.92	6.29	6.49
		2	*	6.45	5.98	6.39	6.51
		3	*	6.50	5.96	6.54	6.59
		4	*	6.62	6.23	6.43	6.58
		5	*	6.55	6.20	6.40	6.61
	$\overline{X}$		*	6.51	6.06	6.41	6.56
	SD		*	0.08	0.15	0.09	0.05
	3	1	*	6.62	5.68	6.44	6.44
		2	*	6.27	5.94	6.37	6.52
		3	*	6.45	5.97	6.45	6.63
		4	*	6.59	6.09	6.45	6.59
		5	*	6.55	6.00	6.29	6.62
	$\overline{X}$		*	6.50	5.94	6.40	6.56
	SD		*	0.14	0.15	0.07	0.08
3	1	1	5.01	6.73	6.35	6.69	6.56
		2	5.00	6.86	6.49	6.80	7.01
		3	5.00	6.97	6.65	6.79	7.17
		4	*	6.99	6.54	6.80	7.32
		5	*	6.90	6.58	6.81	7.26
	$\overline{X}$		5.01	5.01	6.52	6.78	7.06
	SD		0.01	0.01	0.11	0.05	0.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 ตารางแสดงค่าพีเอชของดินที่ปลูกต้นโหระพาที่ 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน(ต่อ)

ดินชุดที่	ถุงเพาะที่	ครั้งที่	pH (ug/cm)				
			0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
3	2	1	*	6.91	6.75	6.73	6.75
		2	*	7.09	6.76	6.80	6.91
		3	*	6.44	6.81	6.86	7.00
		4	*	5.80	6.72	6.88	7.09
		5	*	5.65	6.58	6.73	7.15
	$\overline{X}$		*	6.38	6.72	6.80	6.98
	SD		*	0.64	0.09	0.07	0.16
	3	1	*	6.94	6.76	6.57	6.98
		2	*	7.10	6.88	6.03	7.15
		3	*	7.09	6.85	6.24	7.21
		4	*	7.14	6.78	6.68	7.23
		5	*	7.01	7.00	6.80	7.16
	$\overline{X}$		*	*	6.85	6.46	7.15
	SD		*	*	0.10	0.32	0.10

* ไม่ได้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ตารางที่ จ-1 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ 0 วัน

ครั้งที่	น.น. โซเดียมเตตระบอเรต (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	[HCl] N
1	0.2077	10.00	20.05	10.05	0.1084
2	0.2092	20.00	30.10	10.10	0.1086
3	0.2071	0.00	10.00	10.00	0.1086
4	0.2040	0.00	10.00	10.00	0.1070
5	0.2032	10.00	20.20	10.20	0.1045
				$\overline{X}$	0.1074
			หาความเข้มข้นของ HCl	0.1074	N

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ ยกเว้นได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ ยกเว้นได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ จ-1 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ 0 วัน (ต่อ)

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	0.10	0.10
	2	-	1.00	1.10	0.10
	3	-	2.00	2.10	0.10
	4	-	3.00	3.10	0.10
	5	-	4.00	4.10	0.10
				$\overline{X}$	0.10

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	CEC	$\overline{X}$	SD
ดินชุดที่ 1	1	10.0069	0.00	2.70	2.70	2.79	2.39	0.42
	2	10.0052	3.00	4.80	1.80	1.82		
	3	10.0049	5.00	7.20	2.20	2.25		
	4	10.0031	8.00	10.20	2.20	2.25		
	5	10.0015	11.00	13.80	2.80	2.82		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ...

ตารางที่ จ-1 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ 0 วัน (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำหนักโซเดียมเตตระบอเรต (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	[HCl] N
1	0.2015	0.00		10.20	0.1036
2	0.2023	0.00	10.20	10.20	0.1040
3	0.2002	0.00	10.10	10.10	0.1039
				$\overline{X}$	0.1038
			หาความเข้มข้นของ HCl		0.1038 N

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	0.10	0.10
	2	-	1.00	1.10	0.10
	3	-	2.00	2.10	0.10
				$\overline{X}$	0.10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ในรูปแบบอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

ตารางที่ จ-1 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ 0 วัน (ต่อ)

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อน ไทเทรต (ml)	ปริมาณหลัง ไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ ไทเทรต (ml)	CEC	$\overline{X}$	SD
ดินชุดที่ 2	1	10.0623	0.00	1.60	1.60	1.55	1.53	0.02
	2	10.0121	2.00	3.55	1.55	1.50		
	3	10.0287	5.00	6.58	1.58	1.53		
ดินชุดที่ 3	1	10.0060	3.00	4.60	1.60	1.56	2.11	0.43
	2	10.0126	6.00	8.20	2.20	2.18		
	3	10.0057	12.00	14.60	2.60	2.59		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ จ-2 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินที่ปลูกต้นกระเพราที่ 28 วัน

ครั้งที่	น้ำหนักโซเดียมเตตระบอเรต (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	[HCl] N
1	0.2146	30.00	40.20	10.20	0.1103
2	0.2032	0.00	9.90	9.90	0.1076
3	0.2082	22.00	32.20	10.20	0.1070
4	0.2194	10.00	20.70	10.70	0.1075
5	0.2028	16.50	26.80	10.30	0.1032
				$\overline{X}$	0.1072
			หาความเข้มข้นของ HCl	0.1072	N

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	0.40	0.40*
	2	-	0.50	0.60	0.10
	3	-	1.00	1.10	0.10
	4	-	1.50	1.60	0.10
	5	-	2.00	2.10	0.10
				x	0.10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
เครือข่ายความรู้ด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ จ-2 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินที่ปลูกต้นกระเพราที่ 28 วัน (ต่อ)

ชุดดิน	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	CEC	$\overline{X}$	SD
1	-	1	10.0235	42.00	49.50	7.50	7.91	11.20	2.85
		2	10.0431	1.00	14.60	13.60	14.40		
		3	10.0286	12.00	20.15	8.15	8.60		
		4	10.0307	21.00	32.15	11.15	11.80		
		5	10.0595	0.00	12.55	12.55	13.26		
2	1	1	10.0698	2.00	5.20	3.20	3.30	3.91	1.27
		2	10.0795	6.00	10.50	4.50	4.68		
		3	10.0770	10.00	14.70	4.70	4.89		
		4	10.0377	15.00	17.00	2.00	2.03		
		5	10.0548	18.00	22.45	4.45	4.64		
	2	1	10.0114	5.50	6.10	0.60	0.54	1.64	
		2	10.0645	3.50	5.15	1.65	1.65		
		3	10.0140	1.50	3.20	1.70	1.71		
		4	10.0075	0.00	2.50	2.50	2.57		
		5	10.0187	2.00	3.70	1.70	1.71		
	3	1	10.0206	0.00	2.00	2.00	2.03	2.30	
		2	10.1670	1.00	2.70	1.70	1.69		
		3	10.0220	5.00	7.20	2.20	2.25		
		4	10.1267	7.20	10.10	2.90	2.96		
		5	10.0225	11.00	13.50	2.50	2.57		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ได้รับอนุญาตจากผู้เขียนแล้ว

ตารางที่ จ-2 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินที่ปลูกต้นกระเพราที่ 28 วัน (ต่อ)

ชุดดิน	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	CEC	$\overline{X}$	SD
3	1	1	10.0444	15.00	17.60	2.60	2.67	1.85	0.95
		2	10.0254	17.00	18.80	1.80	1.82		
		3	10.0243	19.00	20.35	1.35	1.34		
		4	10.0122	20.80	22.70	1.90	1.93		
		5	10.0315	23.00	24.50	1.50	1.50		
	2	1	10.0095	24.00	25.55	1.55	1.55	3.07	
		2	10.0075	26.00	28.60	2.60	2.68		
		3	10.0010	28.00	31.95	3.95	4.12		
		4	10.0019	32.00	34.40	2.40	2.46		
		5	10.0009	37.00	41.35	4.35	4.55		
	3	1	10.0195	0.00	2.30	2.30	2.35	1.87	
		2	10.0079	2.00	3.80	1.80	1.82		
		3	10.0063	4.00	5.95	1.95	1.98		
		4	10.0319	6.00	7.80	1.80	1.82		
		5	10.0348	8.00	9.40	1.40	1.39		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ได้รับอนุญาตให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

ตารางที่ จ-3 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินที่ปลูกต้นโหระพาที่ 28 วัน

ชุดดิน	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	CEC	$\overline{X}$	SD
1	-	1	10.0196	34.00	42.20	8.20	8.66	11.49	2.75
		2	10.0146	5.00	14.50	9.50	10.06		
		3	10.0032	16.00	26.30	10.30	10.93		
		4	10.0129	27.00	38.20	11.20	11.88		
		5	10.0256	0.00	15.00	15.00	15.93		
2	1	1	10.0091	9.00	11.70	2.70	2.78	3.85	0.86
		2	10.0139	12.00	15.60	3.60	3.75		
		3	10.0028	16.00	19.80	3.80	3.96		
		4	10.0139	20.00	24.90	4.90	5.14		
		5	10.0014	24.00	27.50	3.50	3.64		
	2	1	10.0039	24.00	25.75	1.75	1.77	2.43	
		2	10.0098	26.00	28.10	2.10	2.14		
		3	10.0064	29.00	31.40	2.40	2.46		
		4	10.0258	33.00	35.50	2.50	2.57		
		5	10.0359	36.00	39.10	3.10	3.20		
	3	1	10.0242	36.00	38.10	2.10	2.14	2.67	
		2	10.0591	39.00	41.60	2.60	2.66		
		3	10.0188	42.00	44.60	2.60	2.67		
		4	10.0156	45.00	47.60	2.60	2.67		
		5	10.0259	0.00	3.10	3.10	3.21		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
Chandrakasem Rajabhat University

ตารางที่ จ-3 แสดงค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินที่ปลูกต้นโหระพาที่ 28 วัน (ต่อ)

ชุดดิน	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	CEC	$\overline{X}$	SD
3	1	1	10.0200	0.00	2.30	2.30	2.35	2.21	0.88
		2	10.0063	3.00	5.10	2.10	2.14		
		3	10.0456	6.00	8.20	2.20	2.24		
		4	10.0444	9.00	10.25	1.25	1.23		
		5	10.0105	10.00	13.00	3.00	3.10		
	2	1	10.0567	12.00	14.90	2.90	2.98	3.03	
		2	10.0281	15.00	17.70	2.70	2.78		
		3	10.0224	18.00	20.20	2.20	2.25		
		4	10.0134	21.00	23.50	2.50	2.57		
		5	10.0356	25.00	29.40	4.40	4.59		
	3	1	10.0226	27.00	29.60	2.60	2.67	3.49	
		2	10.0018	29.50	32.70	3.20	3.32		
		3	10.0171	33.00	36.15	3.15	3.26		
		4	10.0570	36.50	40.30	3.80	3.94		
		5	10.0064	41.00	45.05	4.05	4.23		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
เครือข่ายสารสนเทศเพื่อการวิจัยและการศึกษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้รับการคุ้มครองตามกฎหมายลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ฉ

ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ตารางที่ ฉ-1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินที่ 0 วัน

ดินชุด	ครั้งที่	น้ำหนักชามระเหย (g)	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	% ความชื้น	$\overline{X}$	SD
Blank	1	31.2398	-	31.2364	0.0109	0.01	0.00
	2	32.3405	-	32.3393	0.0037		
	3	30.8753	-	30.8744	0.0029		
	4	29.5714	-	29.5691	0.0078		
	5	32.8810	-	32.8802	0.0024		
1	1	31.2261	41.2247	37.9781	8.5486	9.08	0.38
	2	32.8806	42.8772	39.2116	9.3483		
	3	31.2551	41.2576	34.5737	-		
	4	30.1004	40.1076	36.6682	9.3798		
	5	30.0165	40.0139	36.6907	9.0573		

ตารางที่ ฉ-1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินที่ 0 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ครั้งที่	น้ำหนักชามระเหย (g)	น้ำหนักเปียก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	% ความชื้น	$\overline{X}$	SD
Blank	1	30.1647	-	30.1602	0.0149	0.02	0.01
	2	29.5824	-	29.5749	0.0254		
	3	31.3787	-	31.3688	0.0316		
2	1	30.1818	40.1811	39.9389	0.6064	0.60	0.01
	2	30.0286	40.0309	39.7987	0.5834		
	3	29.2892	39.2929	39.057	0.6040		
3	1	32.3434	42.3422	42.136	0.4894	0.50	0.01
	2	31.3931	41.3965	41.1872	0.5082		
	3	29.5972	39.5868	39.3866	0.5083		

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ห้ามดัดแปลงเนื้อหา ห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ

ภาคผนวก ช

ตารางแสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ

ตารางที่ ช-1 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ 0 วัน

ครั้งที่	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	$\overline{X}$	[FAS] N
1	0.00	18.50	18.50	18.24	0.5483
2	19.00	37.30	18.30		
3	0.00	18.25	18.25		
4	19.00	37.20	18.20		
5	0.00	18.2	18.20		
				หาความเข้มข้นของ FAS	0.5483 N

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	20.50	20.50
	2	-	21.00	42.00	21.00
	3	-	0.00	20.60	20.60
	4	-	21.00	41.70	20.70
	5	-	0.00	20.50	20.50
				$\overline{X}$	20.53

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-1 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ 0 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
1	1	0.0559	0.00	17.50	17.50	10.2963	11.44	0.81	17.7507	19.72	1.40
	2	0.0565	19.00	36.30	17.30	10.8586			18.7202		
	3	0.0538	0.00	17.10	17.10	12.1089			20.8757		
	4	0.0542	18.00	35.10	17.10	12.0195			20.7217		
	5	0.0531	31.00	48.20	17.20	11.9112			20.5349		
2	1	1.0162	0.00	13.55	13.55	1.3039	1.31	0.00	2.2480	2.26	0.01
	2	1.0173	0.00	13.50	13.50	1.3118			2.2616		
	3	1.0035	0.00	13.60	13.60	1.3110			2.2601		
3	1	1.0164	0.00	11.90	11.90	1.6117	1.60	0.01	2.7786	2.76	0.02
	2	1.0188	12.00	23.95	11.95	1.5986			2.7560		
	3	1.0188	24.00	36.00	12.00	1.5893			2.7399		

ตารางที่ ช-2 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพราที่ 7 วัน

ครั้งที่	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	$\overline{X}$	[FAS] N
1	0.00	18.50	18.50	18.24	0.5483
2	19.00	37.30	18.30		
3	0.00	18.25	18.25		
4	19.00	37.20	18.20		
5	0.00	18.20	18.20		
				หาความเข้มข้นของ FAS	0.5483 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-2 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพราที่ 7 วัน (ต่อ)

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	20.50	20.50
	2	-	21.00	42.00	21.00
	3	-	0.00	20.60	20.60
	4	-	21.00	41.70	20.70
	5	-	0.00	20.50	20.50
				$\overline{X}$	20.53

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
2	1	1	0.5158	0.00	15.00	15.00	2.0355	2.00	0.18	3.5092	3.46	0.31
		2	0.5251	16.00	31.10	15.10	1.9633			3.3848		
		3	0.5100	0.00	15.00	15.00	2.0587			3.5492		
		4	0.5455	16.00	31.10	15.10	1.8899			3.2582		
		5	0.5064	0.00	15.00	15.00	2.0733			3.5744		
	2	1	0.5058	0.00	16.00	16.00	1.7006	1.65		2.9319	2.84	
		2	0.5052	0.00	16.20	16.20	1.6275			2.8059		
		3	0.5158	0.00	16.40	16.40	1.52058			2.6214		
		4	0.5059	5.00	21.00	16.00	1.7003			2.9313		
		5	0.5196	21.00	36.90	15.90	1.6920			2.9170		
	3	1	0.5011	0.00	16.00	16.00	1.7166	1.66		2.9594	2.87	
		2	0.5052	17.00	33.20	16.20	1.6275			2.8059		
		3	0.5053	0.00	16.10	16.10	1.6678			2.8700		
		4	0.5116	16.00	32.20	16.20	1.072			2.7708		
		5	0.5145	0.00	15.90	15.90	1.7088			2.9459		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัย

ตารางที่ ช-2 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพราที่ 7 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
3	1	1	0.5081	0.00	17.80	17.80	1.0207	1.76	0.45	1.7598	3.03	0.78
		2	0.5085	18.00	32.90	14.90	2.1021			3.6240		
		3	0.5050	33.10	47.70	14.60	2.2294			3.8434		
		4	0.5022	0.00	17.50	17.50	1.1461			1.9758		
		5	0.5012	18.00	32.50	14.50	2.2841			3.9378		
	2	1	0.5087	0.00	16.40	16.40	1.5417	1.71		2.6580	2.95	
		2	0.5118	17.00	33.50	16.50	1.4953			2.5779		
		3	0.5060	0.00	17.50	17.50	1.1375			1.9610		
		4	0.5074	18.00	32.70	14.70	2.1814			3.7608		
		5	0.5116	33.00	47.60	14.60	2.2006			3.7938		
	3	1	0.5064	0.00	15.00	15.00	2.0733	2.10		3.5744	3.61	
		2	0.5008	15.00	29.90	14.90	2.1344			3.6797		
		3	0.5074	30.00	44.90	14.90	2.1066			3.6318		
		4	0.5110	0.00	14.90	14.90	2.0918			3.6062		
		5	0.5059	15.00	30.00	15.00	2.0754			3.5779		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ช-2 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกโหระพาที่ 7 วัน

ครั้งที่	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	$\overline{X}$	[FAS] N
1	0.00	19.90	19.90	19.88	0.5031
2	20.00	39.80	19.80		
3	0.00	19.90	19.90		
4	20.00	40.00	20.00		
5	0.00	19.90	19.90		
				หาความเข้มข้นของ FAS	0.5031 N

ตารางที่ ช-2 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกโหระพาที่ 7 วัน (ต่อ)

สาร	ครั้งที่	น.น.ดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	20.50	20.50
	2	-	0.00	20.60	20.60
	3	-	21.00	41.70	20.70
	4	-	0.00	20.60	20.60
	5		21.00	41.80	20.80
				$\overline{X}$	20.68

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
2	1	1	0.5035	0.00	16.20	16.20	1.6822	1.76	0.06	2.9001	3.03	0.11
		2	0.5037	17.00	33.10	16.10	1.7189			2.9634		
		3	0.5042	0.00	15.80	15.80	1.8292			3.1535		
		4	0.5002	17.00	33.00	16.00	1.7685			3.0490		
		5	0.5051	0.00	15.90	15.90	1.7886			3.0836		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

	2	1	0.5010	0.00	15.80	15.80	1.8409	1.83		3.1736	3.16	
		2	0.5107	16.00	31.90	15.90	1.7690			3.0498		
		3	0.5004	0.00	15.70	15.70	1.8807			3.2423		
		4	0.5111	16.00	31.60	15.60	1.8781			3.2379		
		5	0.5006	0.00	15.90	15.90	1.8047			3.1113		
	3	1	0.5059	0.00	15.70	15.70	1.8602	1.83		3.2070	3.16	
		2	0.5126	16.00	31.90	15.90	1.7625			3.0385		
		3	0.5050	0.00	15.70	15.70	1.8635			3.2127		
		4	0.5039	16.00	31.90	15.90	1.7929			3.0910		
		5	0.5066	0.00	15.60	15.60	1.8948			3.2666		

ตารางที่ ช-2 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกโหระพาที่ 7 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณถังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
3	1	1	0.5081	0.00	17.80	17.80	1.0663	1.79	0.45	1.8383	3.09	0.77
		2	0.5085	18.00	32.90	14.90	2.1402			3.6896		
		3	0.5050	33.00	47.70	14.70	2.2296			3.8439		
		4	0.5022	0.00	17.50	17.50	1.1914			2.0539		
		5	0.5012	18.00	32.50	14.50	2.3217			4.0027		
	2	1	0.5087	0.00	16.40	16.40	1.5837	1.75		2.7302	3.02	
		2	0.5118	17.00	33.50	16.50	1.5372			2.6502		
		3	0.5060	0.00	17.50	17.50	1.1824			2.0385		
		4	0.5074	18.00	32.70	14.70	2.2191			3.8257		
		5	0.5116	33.00	47.60	14.60	2.2377			3.8578		
	3	1	0.5064	0.00	15.00	15.00	2.1118	2.13		3.6408	3.68	
		2	0.5008	15.00	29.90	14.90	2.1731			3.7464		
		3	0.5074	30.00	44.90	14.90	2.1448			3.6976		
		4	0.5110	0.00	14.90	14.90	2.1297			3.6716		
		5	0.5059	15.00	30.00	15.00	2.1139			3.6444		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เชียงใหม่ มหาวิทยาลัย ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตารางที่ ช-3 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพรา 14 วัน

ครั้งที่	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	$\overline{X}$	[FAS] N
1	0.00	19.90	19.90	19.88	0.5031
2	20.00	39.80	19.80		
3	0.00	19.90	19.90		
4	20.00	40.00	20.00		
5	0.00	19.90	19.90		
				ค่าความเข้มข้นของ FAS	0.5031 N

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	20.50	20.50
	2	-	0.00	20.60	20.60
	3	-	21.00	41.70	20.70
	4	-	0.00	20.60	20.60
	5	-	21.00	41.80	20.80
				X	20.68

ลิขสิทธิ์ของวิทยานิพนธ์นี้เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ผู้ใดจะนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าหรือการแสวงหากำไรต้องได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ก่อนเท่านั้น

ตารางที่ ช-3 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพรา 14 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
2	1	1	0.5092	0.00	16.10	16.10	1.6931	1.85	0.16	2.9189	3.19	0.28
		2	0.5066	0.00	15.50	15.50	1.9250			3.3187		
		3	0.5110	16.00	32.00	16.00	1.7240			2.9722		
		4	0.5010	0.00	15.10	15.10	2.0970			3.6152		
		5	0.5050	0.00	15.80	15.80	1.8191			3.1362		
	2	1	0.5011	0.00	16.30	16.30	1.6453	1.62		2.8365	2.79	
		2	0.5019	18.00	34.50	16.50	1.5676			2.7025		
		3	0.5034	0.00	16.30	16.30	1.6378			2.8235		
		4	0.5002	0.00	16.40	16.40	1.6106			2.7766		
		5	0.5092	17.00	33.30	16.30	1.6191			2.7913		
	3	1	0.5036	0.00	16.10	16.10	1.7119	1.60		2.9514	2.75	
		2	0.5260	17.00	33.70	16.70	1.4241			2.4551		
		3	0.5378	16.00	32.30	16.30	1.5330			2.6429		
		4	0.5010	0.00	16.40	16.40	1.6080			2.7722		
		5	0.5185	0.00	16.00	16.00	1.6991			2.9292		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ห้ามดัดแปลงเนื้อหา ต้องอ้างอิงแหล่งที่มา

ตารางที่ ช-3 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพรา 14 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
3	1	1	0.5533	16.00	31.90	15.90	1.6263	1.85	0.16	2.8037	3.19	0.28
		2	0.5041	0.00	15.30	15.30	2.0093			3.4640		
		3	0.5001	16.00	31.60	15.60	1.9123			3.2969		
		4	0.5103	0.00	15.50	15.50	1.9111			3.2947		
		5	0.5139	16.00	31.80	15.80	1.7876			3.0819		
	2	1	0.5006	0.00	15.00	15.00	2.1363	2.01		3.6830	3.46	
		2	0.5066	15.00	30.40	15.40	1.9622			3.3828		
		3	0.5342	0.00	15.20	15.20	1.9314			3.3297		
		4	0.5075	0.00	15.00	15.00	2.1072			3.6329		
		5	0.5204	16.00	31.40	15.40	1.9102			3.2931		
	3	1	0.5126	16.00	30.90	14.90	2.1230	2.16		3.6601	3.73	
		2	0.5096	0.00	14.80	14.80	2.1725			3.7454		
		3	0.5133	15.00	29.70	14.70	2.1936			3.7817		
		4	0.5587	30.00	44.30	14.30	2.1502			3.7070		
		5	0.5348	0.00	14.50	14.50	2.1759			3.7512		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ห้ามดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-3 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกโหระพา 14 วัน (ต่อ)

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	20.90	20.90
	2	-	0.00	21.00	21.00
	3	-	0.00	21.10	21.10
	4	-	22.00	42.90	20.90
	5		0.00	20.80	20.80
				$\overline{X}$	20.98

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
2	1	1	0.504	0.00	16.30	16.30	1.7230	1.68	0.08	2.9704	2.89	0.15
		2	0.5068	17.00	33.40	16.40	1.6768			2.8908		
		3	0.5063	0.00	16.50	16.50	1.6418			2.8304		
		4	0.5058	17.00	34.20	17.20	1.7839			3.0755		
		5	0.5097	0.00	16.70	16.70	1.5579			2.6859		
	2	1	0.5089	17.00	33.70	16.70	1.5604	1.68		2.6901	2.89	
		2	0.5012	0.00	16.30	16.30	1.7326			2.9870		
		3	0.5091	17.00	33.20	16.20	1.7422			3.0036		
		4	0.5006	0.00	16.50	16.50	1.6605			2.8626		
		5	0.5009	17.00	33.40	16.40	1.6966			2.9249		
	3	1	0.5038	0.00	16.30	16.30	1.7237	1.76		2.9716	3.03	
		2	0.5035	17.00	33.30	16.30	1.7247			2.9734		
		3	0.5056	0.00	16.00	16.00	1.8277			3.1510		
		4	0.5017	17.00	33.20	16.20	1.7679			3.0479		
		5	0.5070	0.00	16.20	16.20	1.7494			3.0160		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ...

ตารางที่ ช-3 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกโหระพา 14 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
3	1	1	0.5044	15.00	29.70	14.70	2.3108	2.31	0.11	3.9839	3.98	0.16
		2	0.5076	0.00	15.00	15.00	2.1865			3.7695		
		3	0.5106	16.00	30.30	14.30	2.4283			4.1864		
		4	0.5081	0.00	14.80	14.80	2.2574			3.8918		
		5	0.5097	16.00	30.50	14.50	2.3597			4.0681		
	2	1	0.5052	15.00	29.90	14.90	2.2336	2.30		3.8508	3.97	
		2	0.5006	0.00	14.60	14.60	2.3655			4.0781		
		3	0.5075	0.00	14.60	14.60	2.3333			4.0226		
		4	0.5066	15.00	29.90	14.90	2.2275			3.8401		
		5	0.5010	0.00	14.60	14.60	2.3636			4.0748		
	3	1	0.5008	0.00	14.70	14.70	2.3274	2.43		4.0125	4.19	
		2	0.5055	16.00	30.60	14.60	2.3425			4.0385		
		3	0.5028	0.00	13.90	13.90	2.6137			4.5061		
		4	0.5040	0.00	14.30	14.30	2.4601			4.2412		
		5	0.5020	15.00	29.50	14.50	2.3959			4.1305		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ในรูปแบบอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

ตารางที่ ช-4 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพรา 21 วัน

ครั้งที่	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	$\overline{X}$	[FAS] N
1	0.00	19.90	19.90	19.88	0.5031
2	20.00	39.80	19.80		
3	0.00	19.90	19.90		
4	20.00	40.00	20.00		
5	0.00	19.90	19.90		
				หาความเข้มข้นของ FAS	0.5031 N

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	20.90	20.90
	2	-	0.00	21.00	21.00
	3	-	0.00	21.10	21.10
	4	-	22.00	42.90	20.90
	5	-	0.00	20.80	20.80
				$\overline{X}$	20.98

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ได้รับอนุญาตจากผู้เขียนแล้ว

ตารางที่ ช-4 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพรา 21 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
2	1	1	0.5130	0.00	16.30	16.30	1.6927	1.69	0.08	2.9183	2.91	0.14
		2	0.5085	17.00	33.50	16.50	1.6347			2.8182		
		3	0.5047	0.00	16.60	16.60	1.6102			2.7759		
		4	0.5014	17.00	33.00	16.00	1.8431			3.1774		
		5	0.5050	0.00	16.50	16.50	1.6460			2.8377		
	2	1	0.5198	17.00	33.20	16.20	1.7063	1.66		2.9417	2.87	
		2	0.5146	0.00	16.40	16.40	1.6514			2.8470		
		3	0.5095	17.00	33.50	16.50	1.6315			2.8126		
		4	0.5074	0.00	16.40	16.40	1.6748			2.8874		
		5	0.5034	17.00	33.50	16.50	1.6512			2.8467		
	3	1	0.5012	0.00	16.00	16.00	1.8438	1.79		3.1787	3.08	
		2	0.5021	16.00	32.10	16.10	1.8035			3.1092		
		3	0.5163	33.00	49.20	16.20	1.7179			2.9617		
		4	0.5004	0.00	16.10	16.10	1.8096			3.1198		
		5	0.5019	17.00	33.20	16.20	1.7672			3.0466		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ช-4 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพรา 21 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
3	1	1	0.5113	0.00	15.50	15.50	1.9890	2.04	0.06	3.4291	3.51	0.11
		2	0.5079	16.00	31.40	15.40	2.0389			3.5151		
		3	0.5092	0.00	15.30	15.30	2.0702			3.5690		
		4	0.5087	16.00	31.30	15.30	2.0722			3.5725		
		5	0.5067	0.00	15.50	15.50	2.0071			3.4602		
	2	1	0.5087	16.00	31.50	15.50	1.9992	2.04		3.4466	3.52	
		2	0.5119	0.00	15.40	15.40	2.0230			3.4876		
		3	0.5017	16.00	31.30	15.30	2.1011			3.6223		
		4	0.5016	0.00	15.40	15.40	2.0645			3.5592		
		5	0.5317	16.00	31.20	15.20	2.0175			3.4782		
	3	1	0.5010	0.00	15.00	15.00	2.2153	2.14		3.8191	3.69	
		2	0.5082	15.00	30.30	15.30	2.0742			3.5760		
		3	0.5052	0.00	15.20	15.20	2.1233			3.6606		
		4	0.5097	0.00	15.20	15.20	2.1046			3.6283		
		5	0.5027	16.00	31.10	15.10	2.1708			3.7425		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ช-4 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกโหระพา 21 วัน

ครั้งที่	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	$\overline{X}$	[FAS] N
1	0.00	19.90	19.90	19.88	0.5031
2	20.00	39.80	19.80		
3	0.00	19.90	19.90		
4	20.00	40.00	20.00		
5	0.00	19.90	19.90		
				ค่าความเข้มข้นของ FAS	0.5031 N

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	20.90	20.90
	2	-	0.00	21.00	21.00
	3	-	0.00	21.10	21.10
	4	-	22.00	42.90	20.90
	5	-	0.00	20.80	20.80
				X	20.98

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ช-4 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกโหระพา 21 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
2	1	1	0.5222	0.00	15.80	15.80	1.84	1.84	0.10	3.1735	3.18	0.18
		2	0.5180	16.00	31.90	15.90	1.82			3.1374		
		3	0.5148	0.00	15.80	15.80	1.87			3.2191		
		4	0.5161	0.00	15.90	15.90	1.83			3.1490		
		5	0.5171	0.00	15.80	15.80	1.86			3.2048		
	2	1	0.5053	16.00	31.00	15.00	2.20	2.02		3.7866	3.48	
		2	0.5183	0.00	15.60	15.60	1.93			3.3210		
		3	0.5070	16.00	31.70	15.70	1.93			3.3318		
		4	0.5075	0.00	15.50	15.50	2.00			3.4547		
		5	0.5149	16.00	31.34	15.34	2.03			3.5046		
	3	1	0.5046	0.00	15.40	15.40	2.05	2.00		3.5380	3.44	
		2	0.5070	17.00	32.50	15.50	2.01			3.4581		
		3	0.5064	0.00	15.70	15.70	1.93			3.3358		
		4	0.5056	0.00	15.60	15.60	1.97			3.4044		
		5	0.5032	17.00	32.50	15.50	2.02			3.4843		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ช-4 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกโหระพา 21 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
3	1	1	0.5037	16.00	30.30	0.00	2.46	2.24	0.08	4.2437	3.87	0.00
		2	0.5210	0.00	14.90	14.90	2.17			3.7340		
		3	0.5013	15.00	29.80	14.80	2.29			3.9446		
		4	0.5079	0.00	15.00	15.00	2.19			3.7673		
		5	0.5069	15.00	30.20	15.20	2.12			3.6483		
	2	1	0.5049	0.00	15.10	15.10	2.16	2.17		3.7262	3.75	
		2	0.5157	16.00	31.00	15.00	2.15			3.7103		
		3	0.5037	0.00	15.00	15.00	2.20			3.7987		
		4	0.5019	0.00	15.10	15.10	2.17			3.7485		
		5	0.5028	16.00	31.10	15.10	2.17			3.7418		
	3	1	0.5088	15.00	29.90	14.90	2.22	2.22		3.8235	3.82	
		2	0.5098	0.00	14.90	14.90	2.21			3.8160		
		3	0.5097	15.00	29.90	14.90	2.21			3.8168		
		4	0.5099	0.00	14.80	14.80	2.25			3.8781		
		5	0.5089	15.00	30.00	15.00	2.18			3.7599		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ในรูปแบบอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

ตารางที่ ช-5 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพรา 28 วัน

ครั้งที่	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	$\overline{X}$	[FAS] N
1	0.00	19.90	19.90	19.88	0.5031
2	20.00	39.80	19.80		
3	0.00	19.90	19.90		
4	20.00	40.00	20.00		
5	0.00	19.90	19.90		
				หาความเข้มข้นของ FAS	0.5031 N

สาร	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)
Blank	1	-	0.00	20.90	20.90
	2	-	0.00	21.00	21.00
	3	-	0.00	21.10	21.10
	4	-	22.00	42.90	20.90
	5	-	0.00	20.80	20.80
				X	20.98

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ หรือแสวงหาผลประโยชน์ โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัย

ตารางที่ ช-5 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพรา 28 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
1	-	1	0.1010	0.00	13.80	13.80	4.23	7.89	1.32	7.2940	14.18	2.28
		2	0.1104	11.00	22.60	11.60	8.88			15.3085		
		3	0.1102	25.00	37.30	12.30	7.30			12.5836		
		4	0.1196	0.00	12.50	12.50	6.31			10.8699		
		5	0.1107	13.00	24.50	11.50	9.08			15.6584		
2	1	1	0.5085	15.00	30.00	15.00	2.18	2.19	0.21	3.7628	3.78	0.36
		2	0.5062	0.00	14.90	14.90	2.23			3.8432		
		3	0.5067	15.00	29.90	14.90	2.23			3.8394		
		4	0.5070	0.00	15.10	15.10	2.15			3.7108		
		5	0.5084	16.00	31.00	15.00	2.18			3.7636		
	2	1	0.5108	0.00	16.00	16.00	1.81	1.84		3.1189	3.17	
		2	0.5051	16.00	31.90	15.90	1.87			3.2175		
		3	0.5114	0.00	15.90	15.90	1.84			3.1779		
		4	0.5170	16.00	32.00	16.00	1.79			3.0815		
		5	0.5030	33.00	48.90	15.90	1.87			3.2310		
	3	1	0.5371	0.00	16.00	16.00	1.72	1.72		2.9662	2.97	
		2	0.5363	16.00	32.10	16.10	1.69			2.9109		
		3	0.5268	0.00	16.20	16.20	1.68			2.9026		
		4	0.5256	17.00	32.90	15.90	1.79			3.0921		
		5	0.5212	0.00	16.10	16.10	1.74			2.9953		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เชียงใหม่ มหานคร

ตารางที่ ช-5 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกกระเพรา 28 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
3	1	1	0.5051	0.00	15.80	15.80	1.90	1.90	0.10	3.2809	3.27	0.17
		2	0.5023	21.00	36.90	15.90	1.88			3.2355		
		3	0.5023	0.00	16.00	16.00	1.84			3.1717		
		4	0.5002	0.00	15.70	15.70	1.96			3.3771		
		5	0.5050	16.00	31.80	15.80	1.90			3.2816		
	2	1	0.5124	0.00	15.40	15.40	2.02	2.06		3.4842	3.56	
		2	0.5038	16.00	31.30	15.30	2.09			3.6072		
		3	0.5486	0.00	15.10	15.10	1.99			3.4294		
		4	0.5009	16.00	31.30	15.30	2.10			3.6281		
		5	0.5095	0.00	15.20	15.20	2.11			3.6297		
	3	1	0.5244	0.00	15.40	15.40	1.97	2.05		3.4045	3.53	
		2	0.5004	17.00	32.30	15.30	2.11			3.6317		
		3	0.5014	0.00	15.40	15.40	2.07			3.5606		
		4	0.5613	16.00	31.10	15.10	1.94			3.3518		
		5	0.5022	0.00	15.20	15.20	2.14			3.6825		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ช-6 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกโหระพา 28 วัน

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
1	-	1	0.1015	0.00	10.80	10.80	18.62	16.99	1.61	32.1022	29.29	0.84
		2	0.1025	0.00	12.90	12.90	14.63			25.2281		
		3	0.1015	13.00	24.30	11.30	17.71			30.5247		
		4	0.1057	0.00	10.80	10.80	17.88			30.8266		
		5	0.1116	13.00	24.30	11.30	16.10			27.7621		
2	1	1	0.5068	0.00	15.30	15.30	2.08	2.17	0.19	3.5859	3.74	0.34
		2	0.5092	0.00	15.00	15.00	2.18			3.7576		
		3	0.5089	0.00	14.90	14.90	2.22			3.8228		
		4	0.5058	0.00	15.10	15.10	2.16			3.7196		
		5	0.5043	0.00	15.00	15.00	2.20			3.7942		
	2	1	0.5136	0.00	16.50	16.50	1.62	1.73		2.7902	2.98	
		2	0.5011	17.00	33.30	16.30	1.73			2.9876		
		3	0.5054	0.00	16.20	16.20	1.75			3.0255		
		4	0.5034	17.00	33.30	16.30	1.73			2.9740		
		5	0.5125	0.00	16.00	16.00	1.80			3.1086		
	3	1	0.5093	0.00	15.70	15.70	1.92	1.88		3.3168	3.25	
		2	0.5039	16.00	31.90	15.90	1.87			3.2252		
		3	0.5089	0.00	15.90	15.90	1.85			3.1935		
		4	0.5043	16.00	31.80	15.80	1.91			3.2861		
		5	0.5061	0.00	15.90	15.90	1.86			3.2112		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ช-6 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุของดินที่ปลูกโหระพา 28 วัน (ต่อ)

ดินชุด	ถุงเพาะ	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (g)	ปริมาณก่อนไทเทรต (ml)	ปริมาณหลังไทเทรต (ml)	ปริมาณที่ใช้ไทเทรต (ml)	%OC	$\overline{X}$	SD	%OM	$\overline{X}$	SD
3	1	1	0.5221	0.00	15.30	15.30	2.02	1.94	0.16	3.4808	3.35	0.28
		2	0.5026	16.00	31.80	15.80	1.91			3.2973		
		3	0.5015	0.00	15.80	15.80	1.92			3.3045		
		4	0.5173	16.00	31.70	15.70	1.89			3.2655		
		5	0.5073	0.00	15.60	15.60	1.97			3.3930		
	2	1	0.5097	16.00	31.20	15.20	2.10	2.04		3.6283	3.51	
		2	0.5089	0.00	15.40	15.40	2.03			3.5082		
		3	0.5121	16.00	31.40	15.40	2.02			3.4862		
		4	0.5169	0.00	15.50	15.50	1.97			3.3919		
		5	0.5229	17.00	32.20	15.20	2.05			3.5367		
	3	1	0.5066	0.00	14.70	14.70	2.30	2.30		3.9666	3.97	
		2	0.5158	0.00	14.60	14.60	2.30			3.9579		
		3	0.5291	16.00	30.40	14.40	2.31			3.9795		
		4	0.5018	0.00	14.90	14.90	2.25			3.8769		
		5	0.5159	15.00	29.40	14.40	2.37			4.0813		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ภาคผนวก ซ

ตารางแสดงปริมาณแคดเมียมทั้งหมด

ตารางที่ ซ-1 แสดงปริมาณแคดเมียม (mg/kg) ในดินที่ 0 วัน

ครั้งที่	ดินชุดที่ 1			ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3
	1	2	3		
1	0.00	0.00	0.00	3.95	33.25
2	0.00	0.00	0.00	4.38	28.14
3	0.00	0.00	0.00	4.91	33.43
X	0.00	0.00	0.00	4.42	31.61
SD	0.00			0.48	3.01

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ซ-2 แสดงปริมาณแคดเมียม (mg/kg) ในดินที่ 7 วัน

ครั้งที่	กระเพรา						โหระพา					
	ดินชุดที่ 2			ดินชุดที่ 3			ดินชุดที่ 2			ดินชุดที่ 3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2.54	2.96	3.33	28.22	30.22	12.15	3.22	1.27	1.22	12.27	20.12	23.15
2	1.85	2.13	2.06	18.39	20.47	29.22	1.23	3.90	1.76	26.00	14.22	11.84
3	1.65	4.29	2.85	24.12	26.12	23.25	3.94	3.10	2.85	17.99	28.11	18.22
X	2.02	3.13	2.75	23.58	25.60	21.54	2.80	2.75	1.94	18.75	20.82	17.74
SD	0.83			5.82			1.14			5.83		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น
เครื่องหมายนี้ไม่ได้ใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ซ-3 แสดงปริมาณแคดเมียม (mg/kg) ในดินที่ 14 วัน

ครั้งที่	กระเพรา						โหระพา					
	ดินชุดที่ 2			ดินชุดที่ 3			ดินชุดที่ 2			ดินชุดที่ 3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1.79	1.88	2.34	19.23	15.24	9.84	1.22	1.81	2.91	18.21	21.22	22.22
2	2.12	3.18	1.94	14.95	16.22	19.33	2.94	1.84	2.90	17.24	28.23	26.05
3	1.97	1.92	1.25	8.91	16.95	13.99	1.21	3.02	1.06	20.22	19.45	18.01
X	1.96	2.33	1.84	14.36	16.14	14.39	1.79	2.22	2.29	18.56	22.97	22.09
SD	0.52			3.65			0.84			3.76		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ซ-4 แสดงปริมาณแคดเมียม (mg/kg) ในดินที่ 21 วัน

ครั้งที่	กระเพรา						โหระพา					
	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3	ดินชุดที่ 3	ดินชุดที่ 3	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 2	ดินชุดที่ 3	ดินชุดที่ 3	ดินชุดที่ 3
1	2.15	2.03	2.15	22.83	17.02	15.45	1.94	0.75	0.71	18.20	25.35	28.42
2	1.22	1.15	1.95	16.21	19.03	20.20	2.25	2.54	2.02	26.55	21.11	18.05
3	2.81	1.93	1.22	19.02	21.81	16.12	2.77	1.95	0.94	17.23	29.25	25.11
X	2.06	1.71	1.78	19.35	19.29	17.26	2.32	1.75	1.23	20.66	15.49	23.86
SD	0.55			2.63			0.77			4.67		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ ซ-5 แสดงปริมาณแคดเมียม (mg/kg) ในดินที่ 28 วัน

ครั้งที่	กระเพรา						โหระพา					
	ดินชุดที่ 2			ดินชุดที่ 3			ดินชุดที่ 2			ดินชุดที่ 3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	3.15	1.46	3.66	19.26	16.45	20.51	2.51	3.00	2.51	29.11	19.46	20.12
2	2.45	2.11	0.99	28.15	28.11	31.22	1.95	1.46	1.75	18.35	25.35	19.43
3	1.96	3.45	2.15	22.15	25.25	16.23	2.08	0.99	1.69	30.24	22.33	25.35
4	0.90	3.12	2.32	12.11	16.22	16.45	1.25	3.87	2.83	16.10	18.35	23.48
5	1.87	1.01	3.12	20.75	17.15	14.22	2.05	2.57	2.91	20.46	16.85	13.12
X	2.07	2.23	2.45	20.48	20.64	19.73	1.97	2.38	2.34	22.85	20.47	20.30
SD	0.90			4.11			0.90			5.27		

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ เว้นแต่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ทั้งนี้ผู้ละเมิดจะต้องรับโทษตามที่กฎหมายกำหนด