

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินปนเปื้อนแคดเมียมที่มีการ
ปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควมาใช้
ปลูกดาวเรือง

FEASIBILITY STUDY OF CADMIUM CONTAMINATED
SOIL AMENDMENT BY BIOCHAR FOR MARIGOLD
PLANTATION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEASIBILITY STUDY OF CADMIUM CONTAMINATED
SOIL AMENDMENT BY BIOCHAR FOR MARIGOLD
PLANTATION



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC 2018

หัวข้อโครงการพิเศษ

ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินปนเปื้อนแคดเมียมที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แครสมาใช้ปลูกดาวเรือง

ชื่อนักศึกษา

นายกำชัย สุทระ รหัสนักศึกษา 58050590

นางสาวณัฐวดี พัฒนโสภณ รหัสนักศึกษา 58050615

นางสาวปาริยา ชัมปัญญา รหัสนักศึกษา 58050650

นายรัชพิน วงศ์หมัดทอง รหัสนักศึกษา 58050675

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

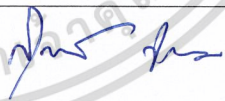
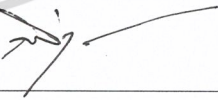
ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการ	
ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินปนเปื้อนแคดเมียมที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมาใช้ปลูกดาวเรือง		
ชื่อนักศึกษา	นายกำชัย	สุทธะ	รหัสนักศึกษา 58050590
	นางสาวณัฐวดี	พัฒนโสภณ	รหัสนักศึกษา 58050615
	นางสาวปาริยา	ซิ้มปัญญา	รหัสนักศึกษา 58050650
	นายรพีพิน	วงศ์หมัดทอง	รหัสนักศึกษา 58050675
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กลั่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินปนเปื้อนแคดเมียมที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมาใช้ปลูกดาวเรือง โดยทำการสังเคราะห์ดินด้วยสารละลายแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ, ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมาปลูกพืช, ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินหลังการปลูกพืช ซึ่งพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองคือ พีเอช เนื่องจากค่าพีเอชหลังการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระพบว่ามีค่าอยู่ที่ 8.08 ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง และหลังจากการนำต้นดาวเรืองไปปลูกลงชุดดินทดลอง ต้นดาวเรืองยังคงสามารถเจริญเติบโตได้ในดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียม ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดินปนเปื้อนแคดเมียมและดินปนเปื้อนแคดเมียมที่มีการบำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระค่าความเข้มข้นลดลงจาก 45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 42.13 และ 16.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างในต้นดาวเรืองมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่น้อยมากจนเครื่องวิเคราะห์ไม่สามารถตรวจวัดได้

คำสำคัญ : แคดเมียม, ต้นดาวเรือง, ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Feasibility study of cadmium contaminated soil amendment by biochar for marigold plantation		
Students	Mr.Kamchai	Suttha	Student ID 58050590
	Miss Nattawadee	Phattanasophon	Student ID 58050615
	Miss Pareeya	Simpanya	Student ID 58050650
	Mr. Raffin	Wongmadtong	Student ID 58050675
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2018		
Advisor	Dr. Glinsukol Suwannarat		

Abstract

Feasibility study of cadmium contaminated soil amendment by biochar for marigold plantation, which synthesized the soil by means of cadmium solution with a concentration of 45 mg/kg. Compare the physical-chemical parameter of soil either before and after quality improvement by napier grass biochar, study of feasibility using the cadmium contaminated in soil to plant, study the physical-chemical parameter of soil after planting. The parameter that influence on the growth of marigold is pH, the pH value of soil with quality improvement by napier grass biochar has pH value at 8.08 which not suitable for the growth of Marigold. After planting the marigold in the experimental soil it can grow up. Analyze Cd in cadmium contaminated in soil and cadmium contaminated in soil treatment by biochar from napier grass concentration decrease from 45 mg/kg to 42.13 and 16.85 mg/kg respectively. Analysis of residual cadmium in marigold has a very low cadmium concentration that is no longer able to be measured.

Keyword : Cadmium, Marigold, Napier glass biochar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านเป็นอย่างดี ทางคณะผู้จัดทำจึงอยากขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมไปถึงให้ความช่วยเหลือเพื่อการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ตลอดจนให้ความรู้เพิ่มเติมและตรวจสอบข้อบกพร่องเพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษซึ่งได้แก่ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ที่ช่วยชี้แนะถึงข้อบกพร่อง ให้คำแนะนำและตรวจสอบโครงการพิเศษเพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.พินิจภณ ปิตุยะ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์นำถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะให้กับคณะผู้จัดทำนำมาศึกษาทดลองเพื่อสร้างประโยชน์และคุณค่าให้กับพืชทางเกษตร

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลอง และอำนวยความสะดวกทางด้านเอกสารต่างๆ ส่งผลให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ที่ให้กำลังใจ ดูแล และให้ความช่วยเหลืออยู่เสมอ รวมไปถึงเพื่อนๆ ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจตลอดจนโครงการพิเศษฉบับเสร็จสมบูรณ์

กำชัย	สุทธะ
ณัฐวดี	พัฒนโสภณ
ปาริยา	ฉิมปัญญา
รพีพิน	วงศ์หมัดทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง ช

สารบัญรูป ฌ

คำย่อ/สัญลักษณ์ ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

 2.1 โลหะหนัก (Heavy Metal) 3

 2.2 การรั่วไหลของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม 3

 2.3 เหตุการณ์ที่มีการปนเปื้อนในประเทศไทย 4

 2.4 แคดเมียม (Cadmium, Cd) 4

 2.4.1 ความเป็นพิษของแคดเมียมต่อสิ่งมีชีวิต 5

 2.4.2 การนำโลหะแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ 5

 2.5 การกำจัดโลหะหนักในดิน 6

 2.5.1 การปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง (Stabilization and Solidification) 6

 2.5.2 ไวตรีฟิเคชัน (Vitrification) 7

 2.5.3 เทคโนโลยีการบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation) 8

 2.5.4 การล้างดิน (Soil washing) 9

 2.5.5 ถ่านดูดซับ 9

 2.5.5.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านดูดซับ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.6 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process).....	11
2.6.1 การดูดซับทางกายภาพ.....	11
2.6.2 การดูดซับทางเคมี	11
2.7 ถ่านชีวภาพ (Biochar).....	11
2.7.1 ประโยชน์ของถ่านชีวภาพ (Biochar).....	13
2.8 พืชที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านชีวภาพ	14
2.8.1 หญ้าเนเปียร์แคระ (Dwarf Napier).....	14
2.9 พืชที่ใช้ในการทดลอง.....	15
2.9.1 ดาวเรือง.....	15
2.10 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช	16
2.11 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	22
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	22
3.1.1 อุปกรณ์.....	22
3.1.2 สารเคมี	23
3.2 แหล่งที่มาของดิน.....	24
3.3 การเตรียมตัวอย่างดินและการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดิน	24
3.4 แหล่งที่มาของถ่านชีวภาพ	25
3.5 การเตรียมดินสังเคราะห์แคดเมียม.....	25
3.6 การเตรียมตัวอย่างดินสังเคราะห์แคดเมียมผสมกับถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	26
3.7 ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินที่แตกต่างกัน โดยวัดผลจากการเจริญเติบโต ของต้นดาวเรือง.....	26
3.7.1 ทดสอบโดยการปลูกต้นดาวเรือง	26
3.7.2 การดูแลต้นดาวเรือง.....	26
3.7.3 การเก็บข้อมูล.....	26

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง หน้า

3.8 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแคดเมียมในดินด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ โดยเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างในดินและต้นดาวเรือง.....	27
3.8.1 เปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างในดิน	27
3.8.2 เปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างในพืช	27
3.8.3 การศึกษาหาปริมาณแคดเมียมในรูปที่ดูดซึมได้โดยพืชในดิน ด้วยวิธีสกัดด้วย สารละลาย DTPA ความเข้มข้น 0.005 M	27
3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	29
4.1 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ-เคมีของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ และ เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินก่อนและหลังการปลูกพืช	29
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ.....	29
4.1.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินก่อนและหลังการปลูกพืช	30
4.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมาปลูกพืช.....	35
4.2.1 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองที่ปลูกในชุดดินทดลอง.....	35
4.2.2 ศึกษาการตกค้างแคดเมียมในต้นดาวเรือง	38
4.2.3 การศึกษาหาความสามารถในการดูดซึมแคดเมียมของชุดดินทดลอง.....	38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก.....	50
ภาคผนวก ข.....	57
ภาคผนวก ค.....	61
ภาคผนวก ง	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่.....	หน้า
2.1 ปริมาณสัดส่วนของผลผลิตจากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน	12
2.2 สมบัติกายภาพทั่วไปของถ่านชีวภาพ	12
2.3 ประโยชน์การนำมาใช้ของถ่านไม้ ถ่านชีวภาพ และถ่านกัมมันต์.....	13
3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของดิน	24
3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของถ่านชีวภาพ	25
4.1 ผลการทดสอบของการวิเคราะห์ BET	30
4.2 ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ.....	31
4.3 ค่าเฉลี่ยของปริมาณแคดเมียมหลังจากการปลูกพืชที่สกัดด้วยสารละลายต่าง ๆ	39
ก.1 การแปลผล pH ของดินในน้ำ.....	50
ก.2 การแปลผล การจำแนกค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเค็มของดินและผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืช	50
ก.3 การแปลผล ระดับอินทรีย์วัตถุ.....	52
ก.4 การแปลผลระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน	53
ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม.....	57
ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส	58
ข.3 ค่าความเข้มแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม.....	59
ค.1 ค่าปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้	62
ค.2 ค่าปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย ไฮโดรคลอริก.....	63
ง.1 ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีเบื้องต้นของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ.....	65
ง.2 ค่าความเข้มข้นแคดเมียมของดินชุดทดลองก่อนและหลังการปลูกพืช	66
ง.3 ค่าความเข้มข้นแคดเมียมในต้นดาวเรืองหลังการปลูก.....	67
ง.4 ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของชุดดินทดลองก่อนปลูกพืช	68

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่..... หน้า

ง.6 ค่าการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองในชุดดินทดลอง..... 74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หญ้าเนเปียร์แคระ	14
2.2 ดอกดาวเรือง	15
3.1 การสุ่มตัวอย่างดิน	24
4.1 ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ จากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 8,000 เท่า	29
4.2 ผลการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง และชุดดินทดลอง ได้แก่ ดินควบคุม ดินปนเปื้อนแคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	37
ก.1 ตารางสามเหลี่ยมแจกแจงประเภทเนื้อดินตามมาตรฐาน USDA	56
ข.1 กราฟมาตรฐานสารละลายแคดเมียม	58
ข.2 กราฟมาตรฐานสารละลายฟอสฟอรัส	59
ข.3 กราฟมาตรฐานสารละลายโพแทสเซียม	60
ง.1 ต้นดาวเรืองในชุดดินควบคุมสัปดาห์ที่ 1	77
ง.2 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมสัปดาห์ที่ 1	77
ง.3 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ สัปดาห์ที่ 1	77
ง.4 ต้นดาวเรืองในชุดดินควบคุมสัปดาห์ที่ 2	78
ง.5 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมสัปดาห์ที่ 2	78
ง.6 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ สัปดาห์ที่ 2	78
ง.7 ต้นดาวเรืองในชุดดินควบคุมสัปดาห์ที่ 3	79
ง.8 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมสัปดาห์ที่ 3	79
ง.9 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ สัปดาห์ที่ 3	79
ง.10 ต้นดาวเรืองในชุดดินควบคุมสัปดาห์ที่ 4	80
ง.11 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมสัปดาห์ที่ 4	80
ง.12 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ สัปดาห์ที่ 4	80

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
°C	องศาเซลเซียส
AAS	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
A°	องศาตรอม
BDS	Borium diphenylamin solfonate indicator
BET	เครื่องวัดพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุน
CEC	ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน
C ₀	ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม
C ₁	ความเข้มข้นสารละลายก่อนเจือจาง
C ₂	ความเข้มข้นสารละลายหลังเจือจาง
C _e	ความเข้มข้นของสารที่ดูดซับที่สภาวะสมดุล
cm ³ /g	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
cmol/kg	เซนติโมลต่อกิโลกรัม
CRD	Completely Randomized Design
dm ³ /kg	ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อกิโลกรัม
DTPA	Diethylenetriaminepentaacetic acid
EC	ค่าการนำไฟฟ้า
EDTA	Ethylenediaminetetraacetic acid
L/g	ลิตรต่อกรัม
L/mg	ลิตรต่อมิลลิกรัม
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
mm	มิลลิเมตร
MW	มวลโมเลกุล
pH	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
V	ปริมาตรสารละลาย
V ₁	ปริมาตรสารละลายก่อนเจือจาง
V ₂	ปริมาตรสารละลายหลังเจือจาง
W	มวลของสารดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยในปัจจุบันมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีการดำเนินการผลิตเพิ่มมากขึ้นเพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภค ในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมนั้นผลที่ตามมาจะมีการปนเปื้อนของมลสารสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณที่มากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น น้ำเสีย อากาศเสีย หรือการปนเปื้อนของสารพิษต่างๆ อุตสาหกรรมเหมืองแร่ เป็นหนึ่งที่มีการปลดปล่อยมลสารสู่สิ่งแวดล้อม เช่น น้ำที่มีการปนเปื้อนของตะกอนดินในปริมาณมาก หรือปนเปื้อนโลหะหนัก ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต กระบวนการล้างทำความสะอาดแร่ หรือเกิดจากการชะละลายของโลหะหนัก โลหะหนักที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นพวกตะกั่ว สารหนู แคดเมียม ทองแดง โครเมียม สังกะสี และปรอท อันตรายจากการทำเหมืองแร่ นอกจากเป็นปัญหามลพิษทางดิน น้ำ และอากาศ แล้วยังมีการส่งผ่านห่วงโซ่อาหาร จนก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพอนามัยตามมา ซึ่งการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมถือเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบัน ตัวอย่างปัญหาที่พบในประเทศไทย เช่น พบการปนเปื้อนสารแคดเมียมในตะกอนดินที่ห้วยแม่ตาบ ต.แม่ตาบ อ.แม่สอด จังหวัดตาก เกินค่ามาตรฐาน

การบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนมีหลายวิธี เช่น การใช้พืชฟื้นฟู (Phytoremediation) การล้างดิน (Soil flushing / Soil washing) และการดูดซับ (Adsorption) งานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการดูดซับ ใช้ตัวดูดซับเป็นถ่านชีวภาพ ซึ่งเป็นวัสดุที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน เพราะถ่านชีวภาพสามารถผลิตได้ง่ายจากวัตถุดิบทั่วไปทั้งเศษพืช เศษไม้หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ต้นทุนการผลิตไม่สูง และเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินได้ดี เพราะมีความพรุนและพื้นที่ผิวภายในสูง ทำให้เมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินแล้วสามารถปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน และกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดี ช่วยดูดซับน้ำและธาตุอาหารในดิน ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้น (พินิจฉณ และคณะ, 2557) ซึ่งพืชที่เลือกมาใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพในงานวิจัยนี้ คือ กล้วยเนเปียร์แคระ ดังนั้นการนำถ่านชีวภาพมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินจึงเป็นการช่วยลดการเคลื่อนที่ของโลหะในดินได้ และในงานวิจัยนี้มีการนำดินที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมาทดลองปลูกพืช เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ-เคมีของถ่านชีวภาพจากกล้วยเนเปียร์แคระ เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ-เคมีของดินก่อนและหลังปลูกพืช และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมาปลูกต้นดาวเรืองซึ่งพืชที่ใช้ในการปลูกก็คือ ดาวเรือง เพราะดาวเรืองปลูกง่าย โตเร็ว แข็งแรงไม่ค่อยมีโรค และยังสามารถปลูกได้ตลอดปี

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ-เคมีของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ และ เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ-เคมีของดินก่อนและหลังปลูกพืช
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมาปลูกต้นดาวเรือง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ดินที่ใช้ในการทดลอง ได้มาจากตำบลราษะหวะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ และมีการเติมสารมาตรฐานแคดเมียมเพื่อใช้เป็นดินสังเคราะห์ในการทดลอง ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
2. ถ่านชีวภาพที่นำมาใช้ทดลอง คือ ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินปนเปื้อนแคดเมียมที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะมาปลูกดาวเรือง
4. วิธีที่ใช้ในการสกัดแคดเมียมในดินสังเคราะห์คือ กระบวนการสกัดแบบขั้นตอนเดียว (Single-step extraction) โดยใช้สารละลาย DTPA ความเข้มข้น 0.005 M เป็นตัวสกัด
5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการดูดซับแคดเมียมในดิน คือ Atomic Absorption Spectrophotometer

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักสามารถนำมาใช้ในการเพาะปลูกพืชได้
2. ลดการเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากดินที่มีการปนเปื้อนสู่พืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะหนัก (Heavy Metal) (พฤษ, 2550; กรองพรรณ, 2544)

โลหะหนัก คือ โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 5 ขึ้นไป มีลักษณะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง) โลหะหนักสามารถรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์และถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตผ่านทางห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งจะสะสมอยู่ตามเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตและบางส่วนก็จะสะสมอยู่ในตะกอนดิน ซึ่งพืชจะสะสมโลหะหนักมากหรือน้อยจะแปรผันตามปริมาณโลหะหนักที่มีในดิน, น้ำ และตะกอนดิน โลหะหนักเป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 23-92 ในจำนวนธาตุทั้งหมด 105 ธาตุ จากจำนวนธาตุที่เป็นโลหะทั้งหมด 83 ธาตุ โลหะหนักและสารประกอบโลหะหนักเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งโลหะหนักที่พบว่ามี การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมจนเกิดภาวะมลพิษในดินมีด้วยกันหลายชนิด

2.2 การรื้อไหลของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม (กรมวิชาการเกษตรและสหกรณ์, 2548)

เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนาในด้านอุตสาหกรรม ประเทศไทยจึงมีความเสี่ยงโลหะหนักปนเปื้อนในดิน ซึ่งโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินส่วนใหญ่ เช่น สารหนู, โคบอลต์, แคดเมียม, โครเมียม, ทองแดง, ปรอท, นิกเกิล, ตะกั่ว และสังกะสี ซึ่งสาเหตุของการปนเปื้อนในดิน มีดังนี้

1. เกิดตามธรรมชาติ

- 1.1 วัตถุต้นกำเนิดดิน มีองค์ประกอบของเกลือแร่หรือสารประกอบของโลหะ
- 1.2 ดินเปรี้ยว ดินเค็ม หรือมีโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท

2. เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

- 2.1 การทำเหมืองแร่ การบด การทิ้งหางแร่ การจัดการไม่เหมาะสม ทำให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่เกษตรกรรม
- 2.2 การถลุงแร่และถลุง โลหะหนักส่วนใหญ่ในอากาศมาจากโรงไฟฟ้า โรงถลุงโลหะ โรงงานที่ใช้สารเคมี การเผาไหม้ถ่านหิน และอื่น ๆ เช่น โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานทำหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น
- 2.3 การใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางเกษตร ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น สารหนู แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี
- 2.4 การใช้น้ำเสียในชลประทานที่โรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำลำคลอง ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักหรือสารพิษอื่น ๆ ในดิน
- 2.5 การใช้กากตะกอนน้ำเสีย การใช้กากตะกอนน้ำเสียในปริมาณมาก ๆ ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก

2.6 การใช้ปุ๋ยคอก ถ้ามีโลหะหนักเจือปนในอาหารสัตว์ เช่น การเติมสารหนูลงในอาหารสุกร การควบคุมโรคในสัตว์ปีก และการใช้สารเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ทำให้มีโลหะหนักในมูลของสัตว์ปีกหรือปุ๋ยคอก เมื่อนำปุ๋ยคอกไปใช้อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนในดินได้ (กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน)

2.3 เหตุการณ์ที่มีการปนเปื้อนในประเทศไทย (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ, 2555)

เหตุการณ์ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เป็นข่าวระดับประเทศคือ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นใน ปี พ.ศ.2541 ซึ่งพบการปนเปื้อนสารแคดเมียมในตะกอนดินที่ห้วยแม่ตาบ ตำบล แม่ตาบ อำเภอ แม่สอด จังหวัด ตาก เกินค่ามาตรฐาน จากการสุ่มตรวจข้าวจากย้งนางพบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ย 1.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานการบริโภคกำหนดไว้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งคาดว่าสารแคดเมียมที่ปนเปื้อนในตะกอนดินมาจากบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัดและบริษัทตากไมนิ่ง และบางส่วนอาจเกิดการชะล้างพังทลายของแหล่งแร่ตามธรรมชาติ และจากเหตุการณ์ดังกล่าว สถาบันจัดการคุณภาพน้ำนานาชาติได้ทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลระดับสารแคดเมียมในดินและนาข้าวตั้งแต่ปี พ.ศ.2541-2546 พบว่าผลผลิตทางการเกษตรยังคงมีการปนเปื้อนของสารแคดเมียมเกินค่ามาตรฐานร้อยละ 95 ของเมล็ดข้าวที่สุ่มตรวจ พบว่ามีค่าปนเปื้อนสารแคดเมียมสูงเกินมาตรฐาน และข้อมูลการตรวจสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ในเดือนธันวาคม พ.ศ.2546 จำนวน 250 คน พบว่ามีค่าเฉลี่ยแคดเมียมในเลือดเท่ากับ 3.58 ไมโครกรัมต่อลิตร และในปัสสาวะ 3.6 ไมโครกรัมต่อกรัมครีอาตินีน และพบประชาชนผู้สัมผัสสารแคดเมียมมีความเสี่ยงสูงสุดจำนวน 14 ราย คิดเป็นร้อยละ 6 และในปี พ.ศ.2550 องค์การอนามัยโลกและองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติจึงได้กำหนดค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ร่างกายสามารถรับได้ที่ 7 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อคน (สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม)

2.4 แคดเมียม (Cadmium, Cd) (เชมซิด และคณะ, 2551)

แคดเมียม เป็นโลหะที่อยู่ในหมู่ 2B ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไป ดังนี้

- น้ำหนักอะตอม 112.41
- ความดันไอ (Vapor pressure) 1.4 mm ที่ 400 °C, 1.6 mm ที่ 500 °C
- จุดหลอมเหลว 302.9 °C
- จุดเดือด 767 °C
- ความถ่วงจำเพาะ 8.65
- ความแข็ง 2.0

แคดเมียม มีสูตรทางเคมีคือ Cd เป็นธาตุโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว ไม่มีกลิ่น มีคุณสมบัติเบาอ่อนดัดโค้งได้ง่ายและทนต่อการกัดกร่อน นอกจากนี้แคดเมียมยังเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (HNO₃) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เจือจาง ซึ่งจะทำให้เป็นอันตรายแบบ

เอกสารเขียนพลันเมื่อกินเข้าไป จึงไม่ค่อยพบแคดเมียมในรูปของแคดเมียมบริสุทธิ์ แต่จะพบในรูปของแร่ธาตุประกอบเกลือ เช่น แคดเมียมซัลเฟต (CdSO₄), แคดเมียมไนเตรท (CdNO₃) และแคดเมียมคลอไรด์

ไรด์ (CdCl₂) ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีสีและละลายในน้ำได้ดี และแคดเมียมยังสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับไซยาไนด์และเอมีน

2.4.1 ความเป็นพิษของแคดเมียมต่อสิ่งมีชีวิต (พฤษ จันทรนวล, 2550)

ความเป็นพิษของแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายจะสะสมเพิ่มขึ้นตามอายุ ถ้าสะสมในปริมาณมากสามารถทำให้คนหรือสัตว์เป็นหมัน, เป็นมะเร็ง, เป็นอันตรายต่อดับและไต และแคดเมียมยังเข้าไปแทนที่สังกะสี ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และทำให้เอนไซม์ทำงานผิดปกติ แบ่งความเป็นพิษของแคดเมียมเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. ความเป็นพิษเฉียบพลัน ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกิน อาการเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นไส้อย่างรุนแรง อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจเกิดอาการช็อค เนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้ และความเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ การที่สูดดมหายใจเอาไอของแคดเมียมเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอ และยังเกิดอาการไอ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ และเจ็บหน้าอก

2. ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง ความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มักจะเป็นแบบเรื้อรัง ซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเป็นเวลาดูติดต่อกันนาน ได้แก่ ความเป็นพิษต่อปอดในคนที่หายใจเอาฝุ่นหรือไอเข้าไป, ความเป็นพิษต่อไต ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานานจะพบความเป็นพิษที่ไตก่อนปอด จะเกิดแผลที่ไต, ความเป็นพิษต่อกระดูก การเกิดโรคออสไตโต เป็นโรคกระดูกผุ ซึ่งกระดูกจะพรุน โกง งอโค้งได้ ทำให้กระดูกเสียรูปทรง แตกร้าวจนหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง, ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดเลือด ทำให้ความดันโลหิตสูง เป็นสาเหตุการเกิดโรคหัวใจ หัวใจเต้นผิดปกติ ในกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรคออสไตโตและกลุ่มคนที่สัมผัสกับแคดเมียม จะพบอาการของโรคโลหิตจางร่วมด้วย และความเป็นพิษต่อดับ มีค่อนข้างน้อยในมนุษย์ แต่จากการทดลองในสัตว์พบว่า แคดเมียมในปริมาณน้อย (ในน้ำดื่ม 1 ppm) มีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ในตับเปลี่ยนไป

2.4.2 การนำโลหะแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ (เขมชิต และคณะ, 2551)

แคดเมียมถูกใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อราและสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร, ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งเป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียร์, ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์, ใช้ผสมกับโลหะอื่น เพื่อเพิ่มความเหนียวและความทนทานต่อการกัดกร่อน, ใช้ผสมกับโลหะอื่นในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ, ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรม และใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เซรามิก ยาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนังกัมพูชาและพลาสติก (เขมชิต ธนาภิชาญเจริญ และคณะ, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การกำจัดโลหะหนักในดิน

ในปัจจุบันโลหะหนักเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก โดยส่วนใหญ่จะเกิดจากของเสียต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากที่อยู่อาศัยของมนุษย์ ทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยโลหะหนักเป็นสารพิษที่ไม่สามารถเผาผลาญสะสมในตัวในเนื้อเยื่ออ่อนได้ จะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านทางอาหาร น้ำ และอากาศ ในประเทศไทยประสบปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักทั้งในน้ำ ดิน อาหาร และอากาศ เช่น น้ำประปาที่มีโลหะหนักต่าง ๆ ละลายอยู่ ดินจังหวัดตากที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม หรือการพบปริมาณตะกั่วในไข่เยี่ยวม้า โดยสืบเนื่องมาจากดินและน้ำที่ปนเปื้อนโลหะหนักนั่นเอง เพราะฉะนั้นปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าวิธีการกำจัดโลหะหนักขึ้นมา ทั้งด้านน้ำ ดิน และอากาศ แต่ส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การกำจัดโลหะหนักในน้ำ เนื่องจากน้ำมีประโยชน์มากมายและยังมีความสำคัญต่อระบบนิเวศเป็นอย่างมาก จนลืมนึกไปว่าดินก็สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นแหล่งผลิตอาหารของมนุษย์ สัตว์ และพืช ตลอดจนเป็นที่อยู่อาศัย ที่ตั้งของเมือง บ้านเรือน และเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์บางชนิด อีกทั้งยังเป็นแหล่งกักเก็บน้ำ เมื่อน้ำซึมลงดินในปริมาณที่มากก็จะกลายเป็นน้ำใต้ดิน น้ำเหล่านั้นก็จะค่อยๆ ซึมลงต่ำ เช่น แม่น้ำลำคลอง เนื่องจากโลหะหนักมักจะสะสมในห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์บริโภคโดยการสัมผัส ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ ก็อาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ อย่างไรก็ตามในระบบห่วงโซ่อาหาร พืชของโลหะหนักก็จะสะสมเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าแหล่งน้ำมีการปนเปื้อนโลหะหนัก เมื่อนำน้ำเหล่านั้นไปรดบนดินที่ปลูกพืชทางการเกษตรทั้งดินและพืชก็จะได้รับการปนเปื้อนโลหะหนักไปด้วย เกษตรกรก็จะนำพืชที่ออกผลแล้วนำไปจำหน่าย เมื่อผู้บริโภคบริโภคพืชเหล่านั้นก็ทำให้ได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายไปด้วยคนสุดท้ายซึ่งก็คือผู้บริโภคจะได้รับโลหะหนักมากกว่าพืชหรือสัตว์ เพราะมีการสะสมมากขึ้น (สมลทา, 2549)

ปัจจุบันอาหารไทยได้รับความนิยมติดอันดับโลก อุตสาหกรรมด้านอาหารจึงพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการผลิตอาหารมากขึ้น ซึ่งดินเป็นแหล่งผลิตอาหารสำคัญอย่างหนึ่งของมนุษย์ งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญแก่ดิน และทำให้การศึกษาการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน

การกำจัดโลหะหนักมีหลายวิธีและขั้นตอน ขึ้นอยู่กับสภาพและวัตถุประสงค์ในการบำบัด เช่น การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี (Precipitation) การแยกโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electrolytic Process) การแยกด้วยแผ่น membrane (Membrane separation) การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Process) การใช้สารดูดซับ (Adsorption) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-Exchange) และอื่น ๆ ตัวอย่างการกำจัดสารพิษออกจากดิน

2.5.1 การปรับเสถียรและการทำก้อนแข็ง (Stabilization and Solidification)

(ชมพูนุท, 2560)

เป็นกระบวนการที่ใช้ลดมลพิษและลดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม นิยมนำมาใช้ที่ดินปนเปื้อน ซึ่งจะทำให้การเติมวัสดุหรือสารเพิ่มเติมลงไปในดิน ทำให้คุณสมบัติ

เชิงฟิสิกส์ของดินเปลี่ยนแปลงไป ลดพื้นที่ผิวสัมผัสของดินลง ทำให้สารปนเปื้อนหลุดออก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากดินยากมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดค่าการละลายได้ในน้ำและลดความเป็นพิษของสารปนเปื้อนอีกด้วย ซึ่งขั้นตอนการปรับเสถียรและการทำก้อนแข็งมีดังนี้ คือ

1. การจับแบบแคปซูลระดับแมโคร (Macroencapsulation) สารปนเปื้อนจะถูกล้อมรอบด้วยวัสดุที่เติมลงไปด้วยกลไกทางกายภาพ เมื่อมีการทำให้ดินแตกออกสารที่ปนเปื้อนจะถูกปล่อยออกมาได้ง่าย
2. การจับแบบแคปซูลระดับไมโคร (Microencapsulation) สารปนเปื้อนจะถูกล้อมรอบด้วยสารที่เติมลงไปด้วยกลไกทางกายภาพเหมือนกับการจับแบบแคปซูลแมโคร แต่สารปนเปื้อนจะถูกจับอยู่ในโครงสร้างวัสดุที่เติมลงไป จึงทำให้มีการจับตัวแน่นกว่าขั้นตอนข้างต้น
3. การดูดซึม (Absorption) สารปนเปื้อนจะถูกดูดซึมเข้าไปในตัวดูดซึม เช่น พาง ซีเมนต์ เกลือ และฝุ่นจากเตาเผาซีเมนต์
4. การดูดซับ (Adsorption) สารปนเปื้อนจะถูกยึดติดกับผิววัสดุด้วยแรงพันธะเคมีต่าง ๆ เช่น แร่ดินเหนียว ไอออนิกหรือไฮโดรเจน เป็นต้น

2.5.2 ไวตรีฟิเคชัน (Vitrification) (ชมพูนุท, 2560)

เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนกับดินที่ปนเปื้อนสารพิษที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,600 องศาเซลเซียส ดินที่ปนเปื้อนสารพิษจะหลอมตัว จึงทำการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ดินที่ปนเปื้อนสารพิษจะกลายเป็นผลึกแข็งลักษณะเป็น แก้ว หรือคริสตัล วิธีนี้สามารถนำไปกำจัดสารปนเปื้อนในดินได้ไม่ว่าจะเป็น สารกัมมันตรังสี โลหะ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ และสามารถใช้กับดินได้ทุกประเภท แต่อย่างไรก็ตามค่าความชื้นในดินและการซึมผ่านเป็นข้อจำกัดของวิธีนี้

1. ไวตรีฟิเคชันในพื้นที่ (In-situ vitrification, ISV) วางอิเล็กโทรดลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยความห่างที่เหมาะสมในพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อน ระยะห่างปกติอยู่ที่ 18 ฟุต กราไฟต์หรือแก้วถูกนำไปวางไว้ตรงกลางพื้นที่ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวหลอม เมื่อให้กระแสไฟฟ้าลงไป อุณหภูมิภายในจะสูงถึง 1,600-2,000 องศาเซลเซียส ดินที่อยู่ใกล้แกรไฟต์หรือแก้วจะหลอมตัวก่อน และเกิดการหลอมตัวลึกลงไปถึง 30 ฟุต หลังจากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ดินจะแข็งตัวและยุบตัวลง เนื่องจากมีการลดช่องว่างในดิน ทำให้สูญเสียน้ำและก๊าซไป สารบางตัวจะระเหยออกจากดินจึงทำให้ต้องมีการสร้างเครื่องดูดเหนือดินด้วย
2. ไวตรีฟิเคชันนอกพื้นที่ (Ex-situ vitrification, ESV) จะใช้วิธีนี้ต่อเมื่อไม่สามารถบำบัดในพื้นที่ได้ สามารถขุดดินออกมาแล้วนำไปบำบัดในโรงงาน เตาเผาที่ใช้ก็เป็นเตาเผาแก้ว ปรับอุณหภูมิในการเผาเป็น 1,600 องศาเซลเซียส การเผาจะใช้เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง โดยเศษแก้ว เกลือ หรือหินปูนขาว สามารถนำมาใช้เป็นตัวค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้เริ่มหลอมได้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 เทคโนโลยีการบำบัดโดยใช้พืช (Phytoremediation) (วารสาร, 2551)

เทคโนโลยีการบำบัดโดยใช้พืช หมายถึง กระบวนการการใช้พืชเพื่อกำจัดความเป็นพิษของสารมลพิษที่ปนเปื้อนและตกค้างในสิ่งแวดล้อม ซึ่งกลไกของพืชในการกำจัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนอาจเกิดโดยวิธีทางตรง ได้แก่ การย่อยสลายสารมลพิษนั้นๆ ในต้นพืช หรือโดยวิธีอ้อม ได้แก่ การดูดซึม การดูดซับ การสะสม การลดความเป็นพิษหรือการตรึงโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน น้ำ และอากาศโดยกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมีหรือทางชีวภาพ เทคโนโลยีการบำบัดโดยใช้พืชเป็นทางเลือกที่อาศัยความสามารถของพืชที่ทนโลหะหนักได้ ซึ่งเทคโนโลยีการบำบัดพืชมีทั้งหมด 6 ประเภท ดังนี้

1. การสกัดด้วยพืช (Phytoextraction) พืชดูดซึมสารมลพิษขึ้นจากดินเข้าสู่รากของพืช แล้วนำไปสะสมที่ยอดหรือราก พบทั้งในกรณีการสะสมโลหะหนัก สารประกอบของโลหะหนักและกัมมันตภาพรังสี
2. การใช้พืชสะสมธาตุโลหะหนักมีข้อเสียคือ พืชมักจะสะสมธาตุโลหะได้ดีชนิดเดียว มีการเจริญเติบโตช้าและต้นมีขนาดเล็กกว่าพืชชนิดเดียวกันที่ไม่ได้สะสมโลหะ
3. การกรองด้วยรากพืช (Rhizofiltration) หรือการดูดซับทางชีวภาพ (Biosorption) พืชดูดซับหรือตกตะกอนสารมลพิษด้วยราก หรือดูดซับไว้ในเซลล์ส่วนใหญ่เป็นพืชน้ำ
4. การตรึงด้วยพืช (Phytostabilization) พืชดูดซับสารพิษไว้ภายในรูปที่เคลื่อนที่ได้น้อยลง หรืออยู่ในรูปที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ไม่ได้ วิธีนี้สามารถใช้ได้ผลเพียงชั่วคราวเท่านั้น เพราะการควบคุมให้โลหะทุกชนิดอยู่ในรูปที่ไม่เคลื่อนที่และไม่เป็นพิษนั้นทำได้ยาก
5. การทำให้ระเหยด้วยพืช (Phytovolatilization) เป็นการทำให้ธาตุโลหะหรือสารประกอบของโลหะที่ระเหยได้ขึ้นมาจากดินโดยแรงดึงดูดจากการคายน้ำ แล้วปล่อยออกทางใบ เหมาะกับธาตุโลหะที่เมื่ออยู่ในรูปที่เป็นไอแล้วมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตน้อยลง
6. การย่อยสลายด้วยพืช (Phytodegradation) พืชดูดซึมสารมลพิษเข้าไปในพืช แล้วย่อยสลายหรือเปลี่ยนแปลงด้วยเมตาบอลิซึมของพืชเอง หรือเปลี่ยนเป็นสารที่แบคทีเรียสามารถย่อยสลายต่อไปได้
7. การกระตุ้นด้วยพืช (Phytostimulation) รากหลั่งสารออกมาจากรากพืชที่ยังมีชีวิตอยู่หรือจากการสลายตัวของรากพืชที่ตายแล้ว เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในดิน หรือเชื้อราไมคอร์ไรซา ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารมลพิษได้ดีขึ้น เป็นกระบวนการที่ใช้กับสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อย เช่น ปิโตรเลียม พีเอเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส และ พืชปีบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 การล้างดิน (Soil washing) (คมสร และปนัดดา, 2547)

วิธีกำจัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อนโดยใช้สารละลายสกัดต่าง ๆ ได้แก่

1. คีเลตติ้ง เอเจนต์ (Cheleting agent) ได้แก่ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), Nitrilotriacetic acid (NTA)
2. กรดอนินทรีย์ (Inorganic acid) ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และกรดไฮโดรคลอริก
3. กรดอินทรีย์ (Organic acid) ได้แก่ กรดอะซิติก และกรดซิตริก
4. สารละลายเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์
5. สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Biosurfactants
6. ตัวทำละลายซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำ ได้แก่ เมทานอล
7. การใช้สารละลายกรด ร่วมกับ คอมเพลกซิงค์ เอเจนต์
8. ไอออนบวกที่ไม่เป็นพิษ (Nontoxic cation)
9. ออกซิไดส์ซิงค์ เอเจนต์
10. รีดิวส์ซิงค์ เอเจนต์
11. อื่น ๆ

กระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนในดิน แบ่งเป็น 3 ประเภท (คมสร และปนัดดา, 2547) ดังนี้

1. การสกัดด้วยน้ำซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการสกัดต่างๆ มี 3 ประเภท คือ
 1. การเติมสารลดแรงตึงผิว เพื่อช่วยในการเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อนในน้ำ
 2. การเติมคีเลตติ้ง เอเจนต์ เพื่อช่วยให้สารปนเปื้อนละลายได้ดีขึ้น เนื่องจากสารคีเลตติ้ง เอเจนต์จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนัก
 3. การเติมสารละลายกรด หรือด่าง เพื่อทำให้เป็นกลาง เพิ่มการเคลื่อนที่และทำลายสารปนเปื้อน
2. การใช้สารละลายสกัดสารอินทรีย์ที่ละลายได้ โดยสารอินทรีย์จะเคลื่อนเข้าไปอยู่ในสารละลาย
3. การกำจัดสารปนเปื้อน หรือสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายด้วยอากาศ โดยใช้ไอน้ำหรืออากาศมากำจัดสารปนเปื้อน อาศัยการให้ความร้อนและสภาวะสูญญากาศ

2.5.5 ถ่านดูดซับ (เดชา, 2552)

เป็นตัวดูดซับที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสำคัญ ถ่านดูดซับทั้งชนิดเม็ดและชนิดผงมักมี พื้นที่จำเพาะมากกว่า 1,000 ตารางเมตรต่อกรัม สามารถแบ่งโครงของถ่านดูดซับเป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. โพร่งเล็ก มีขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส 2. โพร่งกลาง มีขนาดใหญ่กว่า 2 นาโนเมตร แต่ไม่เกิน 50 นาโนเมตร โยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 3. โพร่งใหญ่ มีขนาดใหญ่กว่า 50 นาโนเมตรถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอาจจะจำแนกเป็นชนิดต่างๆ ตามขนาดโพรงได้ เช่น ถ่านดูดซับที่มีขนาดเล็ก หรือถ่านดูดซับโพรงเล็กจะใช้สำหรับดูดซับก๊าซ ส่วนสารดูดซับโพรงใหญ่จะใช้ดูดซับสารที่เป็นของเหลว เป็นต้น

สมบัติทางกายภาพทั่วไปของถ่านดูดซับ ได้แก่ ความหนาแน่นของถ่าน ปริมาตรโพรงจำเพาะ และพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านดูดซับ วัสดุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักส่วนใหญ่ จะนิยมนำมาผลิตเป็นถ่านดูดซับ โดยจำแนกออกเป็น 3 ประเภท

1. วัสดุดิบจากซากสิ่งมีชีวิตโบราณ เป็นวัสดุดิบที่เกิดจากการทับถมของซากสิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบไปด้วยหินลิกไนต์ถ่านหิน ถ่านโค้ก มักจะเป็นของแข็ง
2. วัสดุดิบจากชีวมวล วัสดุดิบที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกรรม ประกอบด้วยวัสดุที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรแล้ว เช่น กากชานอ้อย เปลือกผลไม้ต่างๆ หรือจะเป็นพวก กระดุกสัตว์ก็ได้
3. วัสดุดิบจากวัสดุอินทรีย์อุตสาหกรรม วัสดุดิบสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

2.5.5.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านดูดซับ

การเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ของวัสดุดิบขั้นต้นให้เป็นถ่าน ด้วยความร้อนในบรรยากาศไร้ก๊าซออกซิเจน ณ อุณหภูมิและคาบของการผลิตถ่านที่เหมาะสมสำหรับวัสดุดิบแต่ละชนิด เช่น ถ่านกะลามะพร้าวต้องทำการเผาที่บรรยากาศไร้ออกซิเจน ณ อุณหภูมิ 620 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เป็นต้น ซึ่งอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการผลิตถ่านดูดซับเป็นอย่างมาก โดยการผลิตถ่านดูดซับจากวัสดุดิบที่มีขนาดใหญ่และแข็ง จะต้องเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อระเหยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย สลายพันธะสารประกอบอินทรีย์ในวัสดุดิบ และลดความแข็งของวัสดุดิบ แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิและคาบของการเผาจะขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของวัสดุดิบ

เนื่องจากมีวิธีการกำจัดโลหะหนักในดินมากมายหลายวิธี แต่ส่วนใหญ่จะต้องใช้งบประมาณและกระบวนการที่ยุ่งยาก ทำให้ประชาชนทั่วไปทำตามได้ยาก ด้วยเหตุนี้กลุ่มของข้าพเจ้าจึงเลือกใช้วิธีบำบัดโดย ใช้ถ่านชีวภาพเป็นตัวดูดซับโลหะหนักในดิน ซึ่งถ่านชีวภาพผลิตได้ง่ายและวัสดุดิบที่ใช้เป็นของเหลือใช้จากทางเกษตร หาได้ง่าย ราคาไม่แพง อีกทั้งยังเป็นวิธีที่บำบัดโดยธรรมชาติไม่ต้องใช้สารเคมีในการบำบัด และไม่มีสารเคมีตกค้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process) (Pradthana, 2008)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใดๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของแข็งกับของเหลว โดยโมเลกุลที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (Absorbent)

2.6.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.6.2 การดูดซับทางเคมี

เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง

2.7 ถ่านชีวภาพ (Biochar) (พินิจภณ, 2557)

วัสดุที่อยู่ในสภาพของแข็งอุดมไปด้วยคาร์บอน มีสีดำ ไม่มีขี้เถ้า ผลิตจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ตามท้องถิ่น เช่น เปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ เศษไม้-ใบไม้ ชังข้าวโพด กากขานอ้อย และอื่นๆ ซึ่งจะนำวัสดุที่กล่าวมานั้นผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) เป็นการเผาไหม้ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและอากาศ โดยจำกัดออกซิเจนให้เข้าไปในกระบวนการเผาไหม้ได้น้อยที่สุด ความร้อนจากการเผาไหม้จะไปทำลายพันธะทางเคมีในอินทรีย์วัตถุในส่วนต่างๆ ของพืชหรือวัสดุต้นแบบที่นำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ ทำให้ความชื้นและอินทรีย์สารเปลี่ยนรูปกลายเป็นก๊าซกระจายออกไปเหลือไว้เฉพาะส่วนคาร์บอนเข้มข้นที่พืชหรือวัสดุต้นแบบเก็บสะสมไว้ กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีดังนี้

1. การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (Slow Pyrolysis) คือ การเผาไหม้ด้วยการแยกสลายความร้อนแบบช้าๆ ใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้นานเป็นชั่วโมงๆ และใช้อุณหภูมิระหว่าง 350-600 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน
2. การแยกสลายด้วยความร้อนแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) คือ การเผาไหม้ด้วยการแยกสลายความร้อนแบบเร็ว ใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้แค่ไม่กี่วินาที และใช้อุณหภูมิระหว่าง 500-1,000 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทั้ง 2 วิธีจะได้ผลผลิตออกมาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

- 1. ส่วนที่เป็นน้ำมัน (Bio-Oil)
- 2. ส่วนที่เป็นแก๊ส (Bio-Gass)
- 3. ส่วนที่เป็นถ่านชีวภาพ (Bio-Char)

ปริมาณสัดส่วนของผลผลิตที่ได้จะแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการผลิตซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 2.1และในตารางที่ 2.2 จะเป็นข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพทั่วไปของถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสัดส่วนของผลผลิตจากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (พินิจฉณ, 2557)

กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน	ถ่าน	ของเหลว	แก๊ส
แบบช้า	35 %	30 %	35 %
แบบเร็ว	12 %	75 %	13 %

คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 2.2 สมบัติกายภาพทั่วไปของถ่านชีวภาพ (เดชา, 2552)

ถ่านดูดซับ		ถ่านดูดซับ โพรงขนาดเล็ก	ถ่านดูดซับโพรง ขนาดกลาง	ถ่านดูดซับโพรง ขนาดใหญ่
ความหนาแน่น (Kg/m ³)	ถ่าน (ps)	2,100-2,200	2,100-2,200	2,100-2,200
	เม็ดถ่าน (pp)	800	700	600
	ชั้นถ่านดูดซับ (pb)	400-500	350-450	300-400
ปริมาตรโพรง จำเพาะ (dm ³ /Kg)	โพรงเล็ก (Vp,s)	0.5-0.7	0.4-0.6	0.3-0.5
	โพรงอื่นๆ (Vp,l)	0.3-0.5	0.5-0.7	0.5-1.1
พื้นที่ผิวจำเพาะ (Sp) (m ² /g)		800-1,200	800-1,400	800-1,500

เอกสารนี้เป็นเอกสารถ่านชีวภาพ (Biochar) ซึ่ง จะแตกต่างจากถ่านทั่วไป (Charcoal) และถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งถ่านทั้งสามแบบล้วนผลิตมาจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แต่แตกต่างกันตรงที่ประโยชน์การนำมาใช้

ตารางที่ 2.3 ประโยชน์การนำมาใช้ของถ่านไม้ ถ่านชีวภาพ และถ่านกัมมันต์ (สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2559)

	Charcoal	Biochar	Activated Carbon
Feedstock	Hardwood, sawdust	Forestry, organic materials	Coconut, shell, petroleum pitch
Common use	Fuel (Cooking)	Soil Amendment Remediation Filtration	Filtration Remediation
Relevant Qualities	Burn ability Low smoke	Adsorption	Adsorption
Carbon footprint	Carbon neutral	Carbon negative	Carbon positive

2.7.1 ประโยชน์ของถ่านชีวภาพ (Biochar) (Ricks, 2007; Lehmann *et al.*, 2006)

ถ่านชีวภาพ (Biochar) มีความหมายแตกต่างจากถ่านทั่วไป (Charcoal) ตรงจุดมุ่งหมายของการใช้ประโยชน์ คือเมื่อกล่าวถึง Charcoal จะหมายถึงถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ขณะที่ Biochar คือถ่านที่ใช้ประโยชน์เพื่อกักเก็บคาร์บอนลงดินและปรับปรุงดิน การกักเก็บคาร์บอนในดินด้วยการแยกสลายมวลชีวภาพด้วยความร้อนจะได้คาร์บอนถึง 50% ของคาร์บอนที่มีอยู่ในมวลชีวภาพ คาร์บอนที่ได้จากการเผาผลาญมวลชีวภาพจะเหลือเพียง 3% และจากการย่อยสลายโดยธรรมชาติหลังจาก 5-10 ปี จะได้คาร์บอนน้อยกว่า 20% ปริมาณของคาร์บอนที่ได้จะขึ้นกับชนิดของมวลชีวภาพ สำหรับอุณหภูมิจะมีผลน้อยมากถ้าอยู่ระหว่าง 350-500 องศาเซลเซียส ซึ่งประโยชน์ของถ่านชีวภาพสามารถสรุปได้หลักๆ 4 ประการดังนี้

1. ช่วยบรรเทาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เนื่องจากถ่านชีวภาพสามารถลดคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในระยะยาวได้ด้วยการกักเก็บคาร์บอนในดิน
2. ช่วยปรับปรุงดินและผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากเมื่อนำถ่านชีวภาพลงดิน ลักษณะความเป็นร่วนซุยของถ่านชีวภาพจะช่วยกักเก็บน้ำและอาหารในดิน และเป็นที่อยู่ให้กับจุลินทรีย์สำหรับทำกิจกรรมเพื่อสร้างอาหารให้ดิน เมื่อดินอุดมสมบูรณ์จะส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น
3. ช่วยผลิตพลังงานทดแทน เนื่องจากกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพจากมวลชีวภาพด้วยการแยกสลายด้วยความร้อนจะให้พลังงานชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อการขนส่งและในระบบอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ช่วยในกระบวนการจัดการของเสียประเภทอินทรีย์วัตถุได้ เนื่องจากเทคโนโลยีไบโอชาร์มีศักยภาพในการกำจัดของเสียที่ทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นมิตรได้

2.8 พืชที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านชีวภาพ

2.8.1 หญ้าเนเปียร์แคระ (Dwarf Napier)



รูปที่ 2.1 หญ้าเนเปียร์แคระ (บริษัทรักบ้านเกิด, 2561)

หญ้าเนเปียร์แคระ (Dwarf Napier)

ชื่อสามัญ : Mott Dwarf Elephant Grass

ชื่อวิทยาศาสตร์: *P. purpureum* cv. Mott

ในประเทศไทยได้มีการนำหญ้าเนเปียร์แคระจาก มหาวิทยาลัยแห่งรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยนาย วิฑูรย์ กำเนิดเพชร เมื่อเดือนพฤศจิกายน ปีพ.ศ.2532

ลักษณะทั่วไป

หญ้าเนเปียร์แคระเป็นหญ้าที่มีอายุหลายปี มีลำต้นใต้ดินแบบเหง้า (Rhizome) ลักษณะต้นเป็นกอพุ่มตั้ง ลำต้นอวบ และเตี้ยกว่าหญ้าเนเปียร์ธรรมดา มีความสูงประมาณ 1-2 เมตร มีการแตกกอดี มีสัดส่วนของใบมากกว่าลำต้น สามารถทนแล้งได้ เนื่องจากมีระบบรากที่แข็งแรง และหยั่งลึกลงในดิน มีความสามารถในการดูดซึมอาหารได้ดีมากจึงทำให้ผลผลิตสูง สามารถเจริญเติบโตได้ในดินหลายชนิด เหมาะสำหรับปลูกในเขตชลประทานหรือพื้นที่ที่มีระบบการให้น้ำดี เมื่อโตเต็มที่ จะออกดอก โดยจะมีลักษณะยาวเรียว เรียกว่า ช่อดอกแบบ spike มีสีเหลืองอ่อนยาวประมาณ 10 นิ้ว ตรงส่วนปลายของดอกจะโค้งงอเล็กน้อย

การใช้ประโยชน์

หญ้าเนเปียร์แคระพบว่า เป็นหญ้าที่มีคุณค่าทางอาหารสัตว์ที่ดีที่สุดในตระกูลหญ้าเนเปียร์ด้วยกัน เพราะมีค่าทางโปรตีนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 11.83 และมีค่าส่วนของเยื่อใยรวม (Neutral Detergent Fiber, NDF) เท่ากับร้อยละ 73.15 และเยื่อใยที่ย่อยยาก (Acid Detergent Fiber, ADF) เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 42.39 ทำให้นำไปเลี้ยงสัตว์จำพวก โค กระบือ แพะ และแกะ โดยใช้ในรูปแบบของการตัดสดให้สัตว์กินในโรงเรือน ไม่ควรทำเป็นหญ้าแห้ง (Hay) ในการตัดหญ้าเนเปียร์แคระควรตัดครั้งแรกที่อายุ 60-70 วันหลังปลูกและตัดอีก

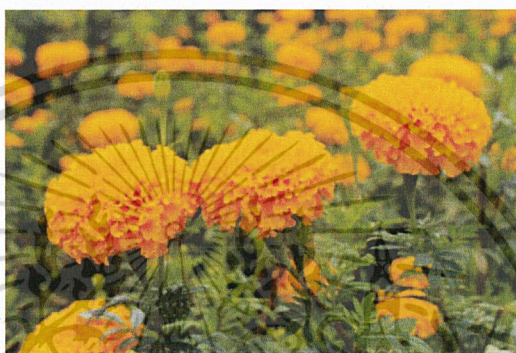
เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์
30-45 วันต่อมา ช่วงฤดูควรตัดที่อายุน้อยกว่า 30 วัน เนื่องจากหญ้าเนเปียร์แคระ
เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว อีกทั้งหญ้าเนเปียร์แคระยังสามารถนำไปใช้เพื่อการผลิตพลังงาน

ทดแทนได้ และยังใช้เป็นพืชคลุมดิน และยังมีการนำน้ำเสียจากอุตสาหกรรมมาปลูกหญ้า ก่อให้เกิดประโยชน์อีกหลายด้าน เช่น ลดมลภาวะลดโลกร้อน เพิ่มความมั่นคงด้านผลผลิต พืชและสัตว์ และพลังงานด้วย

2.9 พืชที่ใช้ในการทดลอง

การใช้พืชมาทำการทดลองก็เพื่อต้องการศึกษาว่า พืชสามารถดูดซับสิ่งต่างๆที่อยู่ในดิน ไม่ว่าจะเป็น แร่ธาตุ หรือสารพิษได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งในการวิจัยนี้จะใช้ดาวเรืองมาใช้ในการศึกษา

2.9.1 ดาวเรือง (กาญจนา, 2557; อรชร และกาญจนา, 2558; Xu et al., 2012)



รูปที่ 2.2 ดอกดาวเรือง (กาญจนา, 2557)

ดาวเรือง (*Tagetes erecta* L.) เป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae เป็นไม้ดอก เติบโตง่าย ปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูก ซึ่งดอกสามารถนำมาแปรรูปเป็นชาเสริมสุขภาพ สีสันอาหาร เครื่องสำอาง สีย้อมผ้า ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์และสามารถนำมากำจัดศัตรูพืชได้ ในดอกดาวเรืองมีสารประกอบทางเคมีหลายชนิด เช่น แคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์และอื่นๆ สารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายฮอร์โมนพืช และพบมากในดอกดาวเรืองที่สกัดด้วยเอทานอลและน้ำ

ดาวเรือง เป็นไม้ดอกที่คนไทยนิยมปลูกกันมาก เนื่องจากเมล็ดมีขนาดใหญ่ปลูกลงง่าย งอกเร็ว ต้นโตเร็ว และแข็งแรงไม่ค่อยมีโรคหรือแมลงรบกวน ให้ดอกเร็ว ดอกดก มีหลายชนิดและหลายสี รูปทรงของดอกสวยงาม สีสันสดใส บานทนนานหลายวัน สามารถปักแจกัน ได้นาน 1-2 สัปดาห์ ให้ดอกในระยะเวลายาว คือ ประมาณ 60-70 วัน หลังปลูก ดังนั้นในการปลูกดาวเรืองสามารถกำหนดระยะเวลาการออกดอกให้ตรงกับเทศกาลสำคัญได้จึงมีผู้นิยมปลูก และใช้ดาวเรืองกันมาก นอกจากนี้ยังสามารถปลูกได้ตลอดปี และปลูกได้ทุกจังหวัดในประเทศไทย ดาวเรืองเป็นไม้ดอกที่ทำรายได้ให้กับผู้ปลูกสูง ในปัจจุบันการปลูกดาวเรือง นอกจากปลูกเพื่อตัดดอกขายแล้ว ยังนิยมปลูกในกระถางหรือถุงพลาสติก เพื่อประดับตกแต่งอาคารสถานที่ และปลูกเพื่อตัดดอกส่งโรงงานอาหารสัตว์อีกด้วย

2.10 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (Natthapong, 2014)

การเจริญเติบโตของพืช ต้องการปัจจัยหลายประการที่สำคัญ คือ น้ำ แสง ธาตุอาหารต่างๆ พืชเป็นสิ่งมีชีวิตมีการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตอยู่ได้ย่อมต้องการ สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม สภาพของสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่

1. ดิน เป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรก ดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ต้องเป็นดินที่อุ้มน้ำได้ดี ร่วนซุย มีอินทรีย์วัตถุมาก แต่เมื่อใช้ดินปลูกไปนานๆ ดินอาจเสื่อมสภาพ เช่น หมดแร่ธาตุ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินให้อุดมสมบูรณ์ ได้แก่ การไถพรวน การใส่ปุ๋ย การปลูกพืชหมุนเวียน เป็นต้น
2. น้ำ มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก น้ำช่วยละลายแร่ธาตุอาหารในดิน เพื่อให้รากดูดอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของลำต้นได้ และยังช่วยให้ดินมีความชุ่มชื้น พืชสดชื่นและการทำงานของกระบวนการต่างๆ ในพืชเป็นไปอย่างปกติ
3. ธาตุอาหารหรือปุ๋ย เป็นสิ่งที่ช่วยให้พืชเจริญเติบโต ดียิ่งขึ้น ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมี 16 ธาตุ แต่ธาตุที่พืชต้องการมากและในดินมักมีไม่เพียงพอ คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารเหล่านี้จะต้องอยู่ในรูปสารละลายที่พืชนำไปใช้ได้และต้องมีปริมาณ ที่พอเหมาะ จึงจะทำให้การเจริญเติบโตของพืชเป็นไปด้วยดี แต่ถ้ามีไม่เพียงพอต้องเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชในรูปของปุ๋ย
4. อากาศ ในอากาศมีแก๊สหลายชนิด แต่แก๊สที่พืชต้องการมากคือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สออกซิเจน ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารและหายใจ แก๊สทั้งสองชนิดนี้มีอยู่ในดินด้วย ในการปลูกพืชเราจึงควรทำให้ดินโปร่งร่วนซุยอยู่เสมอ เพื่อให้อาหารที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีการถ่ายเทได้
5. แสงสว่างหรือแสงแดด พืชต้องการแสงแดดมาใช้ในการสร้างอาหาร ถ้าขาดแสงแดด พืชจะแคระแกรน ใบจะมีสีเหลืองหรือขาวซีดและตายในที่สุด พืชแต่ละชนิดต้องการแสงไม่เท่ากันพืชบางชนิดต้องการแสงแดดจัด แต่พืชบางชนิดก็ต้องการแสงรำไร
6. อุณหภูมิ มีส่วนช่วยในการงอกและเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน จะเห็นได้ว่าพืชบางชนิดชอบขึ้นในที่ที่มีอากาศหนาวเย็น แต่พืชบางชนิดก็ชอบขึ้นในที่ที่มีอากาศร้อน การนำพืชมาปลูกจึงควรเลือกชนิดที่เหมาะสมกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปตามฤดูกาล ในแต่ละท้องถิ่นด้วย

2.11 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาปริมาณการดูดซับแคดเมียมในต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินปกติ, ในดินที่มีแคดเมียมปนเปื้อน และในดินที่มีแคดเมียมปนเปื้อนแต่ใช้ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะในการดูดซับแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ โดยมีทฤษฎีพื้นฐาน และการทดลองที่เกี่ยวข้องกับวิจัย ดังนี้

1. การปนเปื้อนโลหะหนักในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาสาระต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพ

3. ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในดินของถ่านชีวภาพ

4. การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินที่มีแคดเมียมปนเปื้อน
5. ปริมาณการสะสมของโลหะหนักในพืช

งานวิจัยเกี่ยวกับการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน

ธนภัทร (2557) ทำการวัดปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินนาและความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในข้าวที่ปลูกในดินนาบริเวณลุ่มน้ำแม่ตาบ โดยกำหนดพื้นที่ปลูกข้าว 12 แปลง ใน 3 พื้นที่ คือ พื้นที่ต้นน้ำ, พื้นที่กลางน้ำ และพื้นที่ปลายน้ำ แต่ละพื้นที่สุ่มตัวอย่างมา 4 แปลง แต่ละแปลงเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวข้าวที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและสมบัติบางประการของดิน เก็บข้อมูลความสูงของต้นข้าวที่อายุหลังปักดำ 45, 90 และ 120 วัน น้ำหนักของต้นข้าวส่วนเหนือดินและผลผลิต เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในข้าวส่วนเหนือดิน ข้าวสารและแกลบ จากผลการศึกษพบว่าปริมาณแคดเมียมในดินทั้ง 3 พื้นที่ปลูกข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพื้นที่ปลูกข้าวต้นน้ำ, กลางน้ำและปลายน้ำ มีปริมาณแคดเมียมอยู่ในช่วง 15.35 - 36.20, 12.00 - 17.67 และ 11.45 - 46.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และพบว่าผลผลิตข้าวมีแนวโน้มลดลงในแปลงที่พบปริมาณแคดเมียมในดินสูง และมีปริมาณแคดเมียมในข้าวสารอยู่ในช่วง 7.15 - 14.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน CODEX ของปริมาณแคดเมียมในอาหาร พบว่าเกินกว่ามาตรฐาน (0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพ

Bian. et al. (2013) ได้ทำการศึกษาศึกษาการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าว เพื่อแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียมในข้าว โดยได้นำถ่านชีวภาพมาปรับปรุงการทำนาปลูกข้าว ในอัตรา 20 - 40 เฮกเตอร์ต่อวัน เก็บตัวอย่างดินและเมล็ดข้าวที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านชีวภาพแล้วมาวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม ผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพนั้นสามารถช่วยลดปริมาณแคดเมียมในข้าว ได้ 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอธิบายได้จากการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่างของดินด้วย

Abbas. et al. (2017) ได้ทำการศึกษาผลของถ่านชีวภาพจากฟางข้าวในการลดการสะสมของแคดเมียมในข้าวสาลีที่ปลูกในดินปนเปื้อนในสภาวะแห้งแล้ง โดยทำการศึกษาดำเนินการนำข้าวสาลีที่มีอายุ 45 วัน ปลูกในดินปนเปื้อนเป็นเวลา 15 วัน และใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวในอัตรา 0, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ผลการทดลองพบว่า ความเครียดจากภัยแล้ง ระดับความเค็ม ความแห้งแล้งและความสามารถในการรองรับน้ำมีค่าเท่ากับ 70, 50 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยความเครียดจากความแห้งแล้งจะลดลงตามความสูงของพืช รวมทั้งระดับความเข้มข้นของแคดเมียมก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน หากแต่หลังจากเติมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวลงไป พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมลดลงตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านชีวภาพจากฟางข้าวลงไปพบว่า ถ่านชีวภาพ

จากฟางข้าวสามารถแก้ไขปัญหาดินที่ปนเปื้อนโลหะได้ สามารถช่วยปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มอัตราการค้า
ไม่ว่าเจริญเติบโตของข้าวสาลี และช่วยลดระดับความเข้มข้นของแคดเมียมภายใต้สภาวะแห้งแล้งได้นำไปใช้

งานวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในดินของถ่านชีวภาพ

R. Van Poucke. *et al.* (2018) กิจกรรมของอุตสาหกรรมเหมืองแร่ในประเทศเบลเยียมเกิดการรั่วไหลของโลหะหนักแคดเมียมจึงส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนในดินที่มีพื้นที่ขนาด 700 ตารางกิโลเมตร งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักและพีท มาใช้ในการปรับเสถียรสภาพทางเคมีของดินโดยมีปูนขาวเป็นวัสดุอ้างอิง ซึ่งอัตราส่วนของวัสดุบำบัดที่ใช้ศึกษาอยู่ที่ 2% และ 4% (น้ำหนัก:น้ำหนัก) ผสมกับดินปนเปื้อน 500 กรัม และบ่มด้วยน้ำ 75% จากค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ เพื่อปรับเสถียรสภาพดินให้เข้าสู่สมดุล จากการทดลองมีการศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดิน ถ่านชีวภาพ ปุ๋ยหมักและพีท, ศึกษาหาความเข้มข้นของแคดเมียมที่สกัดด้วยเครื่อง Rhizon, ศึกษาการสกัดอย่างต่อเนื่องด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่สกัดได้ ผลวิเคราะห์จากการบำบัดด้วยถ่านชีวภาพจะมีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่ออกมาในรูปสารละลายได้ดีกว่าการบำบัดด้วยปุ๋ยหมักและพีท และเมื่อนำค่าสารละลายแคดเมียมมาเปรียบเทียบกับดินชุดควบคุมจะเห็นได้ว่าการบำบัดด้วยถ่านชีวภาพ 4% มีความสามารถลดค่าความเข้มข้นแคดเมียมได้ถึง 67% ส่วนดินที่บำบัดด้วยปุ๋ยหมักและพีท ที่อัตราส่วน 4% ค่าความเข้มข้นแคดเมียมเพิ่มขึ้นถึง 30% และ 231% ตามลำดับ ซึ่งการบำบัดด้วยถ่านชีวภาพมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการบำบัดด้วยปูนขาว เนื่องจากค่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่สกัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนการสกัดสารละลายอย่างต่อเนื่องด้วยสารละลาย CaCl_2 พบว่าเมื่อจำนวนการสกัดเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของแคดเมียมจะมีค่าที่ลดลง และผลของค่า pH ของสารละลายที่สกัดได้นั้นสภาวะที่เป็นกรดค่าความเข้มข้นของแคดเมียมจะมีมากกว่าสภาวะที่เป็นด่าง เนื่องจากโลหะจะเคลื่อนที่ได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด

ธมลวรรณ และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติค่าความสามารถในการสะเทินไอโซเทอร์มการดูดซับและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุด ซึ่งผ่านการเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อใช้สำหรับเป็นวัสดุดูดซับและวัสดุปรับปรุงดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก ซึ่งจากการศึกษาสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด พบว่าถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด เป็นวัสดุที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนัก ต่อมาได้ศึกษาค่าความสามารถในการสะเทินกรด โดยทำการเติมกรดเบสจน pH อยู่ในช่วง 2 - 12 พบว่าค่าความสามารถในการสะเทินกรดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมีค่าเท่ากับ 1,464.80 meq/kg และ 1,328.98 meq/kg ตามลำดับ จากนั้นศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ พบว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนมีรูปแบบสมการไอโซเทอร์มสอดคล้องกับแบบจำลองฟรันทซ์ในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ส่วนถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกมังคุดมีรูปแบบไอโซเทอร์มสอดคล้องกับแบบจำลองแลงเมียร์ในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดเช่นกัน สุดท้ายทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของถ่านทั้ง 2 ชนิด พบว่าถ่านทั้ง 2

เอกสารชนิดนี้ มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักไม่แตกต่างกัน โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักค่าไม่ต่ำกว่า 95% นั้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาวา และคณะ (2560) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดินต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวนาหว่านน้ำตม ระหว่างปี 2555-2556 ประกอบด้วย 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงดินในสภาพบ่อซีเมนต์ ณ หมวดพีชไร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทดลองในฤดูแล้ง ระหว่างเดือน มกราคม-เมษายน พ.ศ.2555 ใช้แผนการทดลองแบบ split plot in RCBD จำนวน 3 ซ้ำโดย main plot คือ พันธุ์ข้าวนาสวนที่ไม่ไวต่อช่วงแสง 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 และปทุมธานี 1 ส่วน sub plot คือ ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ และใส่ถ่านชีวภาพ 500 กิโลกรัมต่อไร่ และทำการทดลองซ้ำในปี 2556 ในสภาพกระถาง ผลการทดลองพบว่า ในการทดลองที่ 1 การใส่ถ่านชีวภาพทำให้ดินมี pH สูงขึ้น มีแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น แต่มีอินทรีย์วัตถุในดินลดลง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง ส่วนค่าการนำไฟฟ้าและความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนผลต่อการเจริญเติบโต การตอบสนองไปในทิศทางเดียวกันทั้งสองการทดลอง โดยการใช้ถ่านชีวภาพมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในระยะแรกที่อายุ 30 และ 45 วันหลังหว่านข้าว โดยทำให้ข้าวมีความสูง จำนวนหน่อหรือต้น พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน สูงกว่าวิธีไม่ใส่ถ่านชีวภาพ แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในระยะต่อมา พบผลของการใส่ถ่านชีวภาพในทางลบต่อการพัฒนาของรากข้าว โดยเฉพาะในพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งมีการสะสมน้ำหนักแห้งรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะ 75 วันหลังปลูกในการทดลองที่ 2

ปิยวัฒน์ และคณะ (2561) งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับแคดเมียมในดินปนเปื้อน โดยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ และกากขานอ้อย, ศึกษาอัตราส่วนของถ่านชีวภาพที่ใช้ในการดูดซับ, ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระและถ่านชีวภาพจากกากขานอ้อย, ศึกษาการสกัดของแคดเมียมด้วยสารละลาย EDTA, ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียม และศึกษาการปลดปล่อยแคดเมียมหลังผสมถ่านชีวภาพ ในกรณีฝนตกในสภาวะปกติและสภาวะฝนกรด จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการดูดซับแคดเมียม และค่าความสามารถในการดูดซับแคดเมียมจะเพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองอัตราส่วนที่ 15% ของถ่านชีวภาพมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด ซึ่งถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระและกากขานอ้อยมีค่าร้อยละการดูดซับอยู่ที่ 66.85% และ 57.21% ตามลำดับ ผลจากการสกัดแคดเมียมด้วยสารละลาย EDTA พบว่าเมื่ออัตราส่วนของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น สารละลายแคดเมียมที่สกัดออกมาได้มีปริมาณความเข้มข้นที่ลดลง ไอโซเทอร์มการดูดซับของถ่านชีวภาพทั้งสองชนิดสอดคล้องทั้งสมการแบบแลงเมียร์และฟรุนดลิช และในกรณีการชะด้วยน้ำในที่สภาวะกรดและเบสพบว่าดินสังเคราะห์แคดเมียมที่ผสมกับถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระและกากขานอ้อย ในทุกอัตราส่วนพบการการรั่วไหลของแคดเมียมที่น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินที่มีแคดเมียมปนเปื้อน

Moustakas, NK (2011) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาของแคดเมียมและสังกะสีต่อความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีในกระถางดาวเรือง การทดลองใช้ดาวเรืองเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่าง Cd และ Zn ต่อความเข้มข้นของโลหะเหล่านี้ในเนื้อเยื่อ ทำการทดลองแบบ 2 ปัจจัย ที่ความเข้มข้น 5 ระดับ (0, 1, 5, 10, 15 mg kg⁻¹) Cd ใช้เป็น CdSO₄ 8 / 3H₂O และ Zn เป็น ZnSO₄·7H₂O การเพิ่มปริมาณแคดเมียมและสังกะสีลงในดิน ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีในดินเพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อของพืช เช่นเดียวกับปริมาณของแคดเมียมและสังกะสีที่ใช้ Diethylene triamine penta-acetic acid-triethanol amine (DTPA-TEA)

เบญจมาศ (2558) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการดูดซึมโลหะหนักของผักกาดเขียวปลีตามระยะการเจริญเติบโต ในดินที่มีการเติมโลหะหนัก 5 ธาตุ ได้แก่ โครเมียม แคดเมียม ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว โดยมีระดับการปนเปื้อน 3 ระดับ ได้แก่ ดินไม่มีการปนเปื้อน ดินมีการปนเปื้อนระดับต่ำ คือ 26, 28, 127, 131 และ 51 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และดินที่ระดับความเข้มข้นสูง คือ 104, 255, 350, 400 และ 414 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ทดลองในโรงเรือนกับดินร่วนปนทราย มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 2.03%, pH 6.5 และ CEC 36.98 cmole.kg⁻¹ เก็บตัวอย่างดินและพืชเพื่อวิเคราะห์ ดังนี้ เก็บดิน 3 ช่วง คือ ช่วงก่อนย้ายกล้าลงปลูก, ระยะ 45 วันและ 70 วัน ส่วนพืชเก็บ 2 ระยะการเจริญเติบโต คือ ระยะ 45 วันและ 70 วัน จากผลการวิจัย พบว่า การเจริญเติบโตของผักกาดเขียวปลีมีการตอบสนองต่อความเข้มข้นของโลหะหนัก

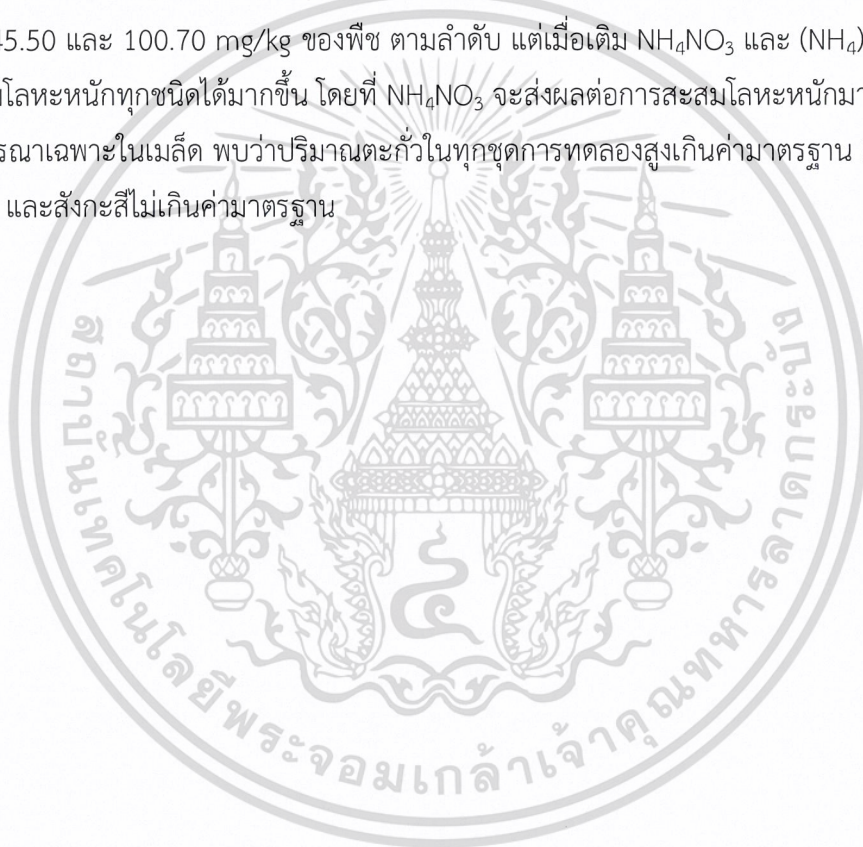
ปณณัฏฐิรา และคณะ (2560) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของโลหะแคดเมียมต่ออัตราการเจริญเติบโตปริมาณรงควัตถุและความเป็นพิษต่อเซลล์รากในข้าวไรซ์เบอร์รี่ (*Oryza sativa* L.) ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์เป็นเวลา 16 วัน ดังนั้นข้าวจะมีอายุ 16 วัน จากการศึกษาพบว่าลักษณะทางกายภาพของข้าวที่ปลูกในสารละลายแคดเมียมใบข้าวจะมีสีซีด ลำต้นสั้นและลีบบาง รากสั้นและมีแขนงรากน้อย ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสังเกตการณ์ปนเปื้อนของแคดเมียมในพื้นที่การเกษตรเบื้องต้นได้

พัชรिता (2560) ทำการศึกษาเพื่อทราบปริมาณการปนเปื้อนสูงสุดของแคดเมียมในดินที่สามารถปลูกพืชมัถ์พันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ปลูกเพื่อขยาย (F1) โดยนำถั่วเหลือง รุ่น F1 ปลูกในกระถางบรรจุดินน้ำหนัก 4.50 กิโลกรัม ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในเตรทในดินแตกต่างกัน คือ 0, 20.0, 40.0, 60.0, 80.0 และ 100 ppm ความเข้มข้นละ 40 ชั่วโมงแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ที่ได้ไปปลูกต่อจนได้ถั่วเหลืองเขียวใหม่ 60 รุ่น F2 ผลการวิจัยพบว่าการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองรุ่น F1 และ F2 มีความสัมพันธ์กับปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.0 ซึ่งความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มขึ้นในดินจะส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดถั่วเหลือง ดังนั้นควรปลูกถั่วเหลืองรุ่น F1 ในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมไม่เกิน 20.0 ppm เพื่อให้ได้เมล็ดที่

เอกสารนี้
ไม่ว่ามีคุณภาพดี
อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยเกี่ยวกับปริมาณการสะสมของโลหะหนักในพืช

ดวงกมล (2556) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสะสมโลหะหนักของทานตะวันสายพันธุ์แปซิฟิก 77 ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว 550 mg/kg สังกะสี 140 mg/kg และทองแดง 350 mg/kg และยังศึกษาอิทธิพลของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 และ EDTA ที่มีต่อการสะสมโลหะหนักของพืช ใช้ดินจากจังหวัดนครราชสีมาวิจัย มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย โดยทานตะวันสายพันธุ์แปซิฟิก 77 ลักษณะเด่นคือ เมล็ดติดเต็มจานดอก เปอร์เซ็นต์น้ำมันในเมล็ดสูง ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวประมาณ 90 วัน ศึกษาปริมาณโลหะหนักในราก, ลำต้น, ใบ และเมล็ด ทำการทดลองในกระถาง โดยวางแผนการทดลองเป็นแบบ completely randomized design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งพบว่าเมื่อไม่เติมเกลือ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 และ EDTA ทานตะวันจะสะสมตะกั่ว, ทองแดง และสังกะสี ได้ 29.91, 45.50 และ 100.70 mg/kg ของพืช ตามลำดับ แต่เมื่อเติม NH_4NO_3 และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ทำให้พืชสะสมโลหะหนักทุกชนิดได้มากขึ้น โดยที่ NH_4NO_3 จะส่งผลต่อการสะสมโลหะหนักมากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะในเมล็ด พบว่าปริมาณตะกั่วในทุกชุดการทดลองสูงเกินค่ามาตรฐาน แต่ปริมาณทองแดง และสังกะสีไม่เกินค่ามาตรฐาน



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซorpชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) รุ่น Analyst 100 บริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น UH5300 ประเทศญี่ปุ่น
3. เครื่องกลั่นพร้อมอุปกรณ์ (Distillation apparatus) ยี่ห้อ BUCHI รุ่น Distillation Unit K-350 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
4. พีเอชมิเตอร์ (pH meter) ยี่ห้อ pH multi-parameter analyser c 860 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น ML-series ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
6. ชุดเครื่องย่อย (Digestion apparatus) บริษัท ไฮแอนติฟิค โพรโมชัน จำกัด ประเทศไทย
7. ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UN55 ประเทศเยอรมนี
8. เครื่องให้ความร้อน (Hotplate) ยี่ห้อ Fisher ประเทศเยอรมนี
9. เครื่องเขย่า (Shaker) บริษัท Gallenkamp ประเทศอังกฤษ
10. เครื่องกรองแบบลดความดัน
11. กระดาษกรองเบอร์ 1, 42 ยี่ห้อ Whatman ประเทศอังกฤษ
12. เดซิเคเตอร์ (Desicator)
13. ตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช
14. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

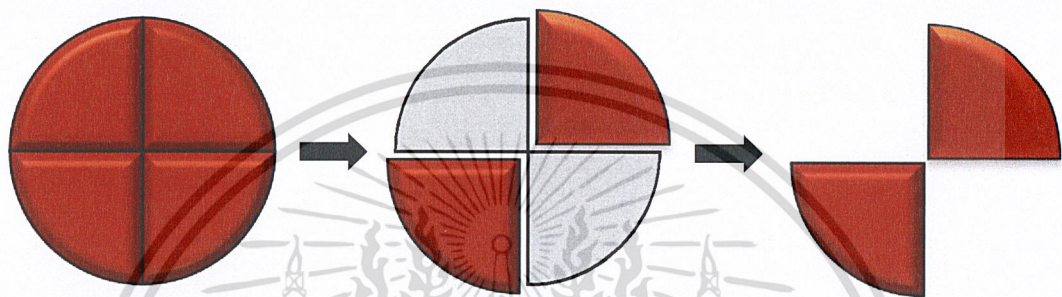
3.1.2 สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. Deionized water
3. โพลีเอทิลีนไดออกไซด์ กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
4. เพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
5. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
6. เพอร์รัสซัลเฟต กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
7. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
8. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
9. แอมโมเนียมคลอไรด์ กรดดิโครมาต บริษัท Loba Chemie ประเทศอินเดีย
10. ซิลเวอร์ไนเตรต กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
11. เอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น กรดดิโครมาต องค์การสุรา กรมสรรพสามิต ประเทศไทย
12. โซเดียมคลอไรด์ กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
13. โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดดิโครมาต บริษัท SDFCL ประเทศสหรัฐอเมริกา
14. กรดบอริก กรดดิโครมาต บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. โพลีเอทิลีนไฮโดรเจนพทาเลต กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
16. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
17. ฟีนอลฟทาไลน์ อินดิเคเตอร์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
18. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
19. สารละลายมาตรฐานแคดเมียม กรดดิโครมาต บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
20. ฟีนานโทรีน โมโนไฮเดรต บริษัท Merck KGaA ประเทศสหรัฐอเมริกา
21. โพลีเอทิลีนคลอไรด์ กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
22. กรดเอซิลีนไดอามีนเตตระแอซิดิก กรดดิโครมาต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
23. กรดไดเอซิลีนไดอามีนเพนเตตระแอซิดิก กรดดิโครมาต บริษัท Fisher Chemical ประเทศสหรัฐอเมริกา
24. แอมโมเนียมออกซิเตรต กรดดิโครมาต บริษัท Loba Chemie ประเทศอินเดีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แหล่งที่มาของดิน

ตัวอย่างดินที่นำมาศึกษาได้จากตำบลราชาทะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ โดยทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกประมาณ 0-15 เซนติเมตร กำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่างดินโดยใช้เชือกทำเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3 x 3 เมตร ทำการขุดดินที่มุมทั้งสี่ของสี่เหลี่ยมจัตุรัสและจุดตัดของเส้นทแยงมุมรวมเป็น 5 จุด จากนั้นใช้พลั่วขุดดินเป็นรูปสี่เหลี่ยมประมาณ 15 เซนติเมตร ทั้ง 5 จุด นำดินมาเทรวมกันบนแผ่นพลาสติก คลุกเคล้าดินให้เข้ากัน กองดินรวมกันเป็นวงกลมแล้วแบ่งเป็น 4 ส่วนให้เท่ากัน โดยเก็บดินตัวอย่างมาเพียงแค่ 2 ส่วนใน 4 ส่วนดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การสุ่มตัวอย่างดิน

3.3 การเตรียมตัวอย่างดินและการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดิน

นำตัวอย่างดินที่เก็บมาผึ่งประมาณ 2 อาทิตย์ โดยเกลี่ยดินบนแผ่นพลาสติก ทำการแยกกรวดหินออกจากดิน หลังจากผึ่งดินจนแห้งแล้ว นำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 70 เมช เก็บตัวอย่างดินที่ผ่านการร่อนแล้วใส่ในถุงซิปล็อค เขียนฉลากบนถุงซิปล็อคและทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินต่อไป

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของดิน

พารามิเตอร์	วิเคราะห์ / เครื่องมือ
ค่าพีเอช	pH meter 1:5 (soil:water)
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter 1:5 (soil:water)
ปริมาณสารอินทรีย์ (%OM)	วิธีการ Walkley and Black
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (CEC)	วิธีที่ทำให้ดินอิ่มตัวด้วยแอมโมเนียมอะซิเทรต
ปริมาณแคดเมียมเริ่มต้น	Atomic Absorption Spectrophotometer
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	Kjeldahl method
การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	ใช้น้ำยาสกัดโดยแอมโมเนียมอะซิเทรต
การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	น้ำยา Bray ll

3.4 แหล่งที่มาของถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระได้รับความอนุเคราะห์จากดร.พินิจภณ ปิตุยะ นำมาจากศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอลำลูกเกด จังหวัดเพชรบุรี โดยเตรียมจากลำต้นของหญ้าเนเปียร์แคระสด และผ่านกระบวนการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากการเผาให้นำถ่านมาบดด้วยครกหินและนำไปบดในตู้บดด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น หลังจากอบเสร็จให้ทำการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช จะได้ขนาดของถ่านชีวภาพเป็น 0.21 มิลลิเมตร จากนั้นนำถ่านชีวภาพที่ได้มาทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของถ่านชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์ / เครื่องมือ
ค่าพีเอช	pH meter 1:5 (soil:water)
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter 1:5 (soil:water)
พื้นที่ผิว	Surface area and porosity analyzer (BET)
ขนาดรูพรุน	Surface area and porosity analyzer (BET)
ปริมาตรรูพรุน	Surface area and porosity analyzer (BET)
การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว	Scanning Electron Microscope (SEM)
ปริมาณสารอินทรีย์ (%OM) *	วิธีการ Walkley and Black
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (CEC) *	วิธีที่ทำให้ดินอิ่มตัวด้วยแอมโมเนียมอะซิเทรต
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด *	Kjeldahl method
การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช *	ใช้น้ำยาสกัดโดยแอมโมเนียมอะซิเทรต
การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช *	น้ำยา Bray II
การวิเคราะห์ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพ	Scanning Electron Microscope

* อ้างอิงการทดลองจากงานวิจัยของ ปิยวัฒน์ และคณะ (2561)

3.5 การเตรียมดินสังเคราะห์แคดเมียม

นำดินตัวอย่าง 10 กิโลกรัมมาแบ่งใส่ถุง ถุงละ 1 กิโลกรัม เติมสารมาตรฐานแคดเมียมโดยสเปรย์เป็นละอองให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมในดินเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยคำนวณการเตรียมสารมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังภาคผนวก ค.1 จากนั้นนำมาเทลงใส่กระบะและคลุกเคล้าให้เข้ากัน นำดินไปผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และบ่มทิ้งไว้ประมาณ 14 วัน เก็บตัวอย่างดินสังเคราะห์แคดเมียมใส่ในถุงซิปล็อค เขียนฉลากบนถุงซิปล็อคและทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินต่อไปดังตารางที่ 3.1

3.6 การเตรียมตัวอย่างดินสังเคราะห์แคดเมียมผสมกับถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์
แคระ

นำดินตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผสมกับถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระในอัตราส่วน 15% ต่อดิน 1 กิโลกรัม ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด (ปิยวัฒน์ และคณะ, 2561) ให้ครบ 5 กิโลกรัม เก็บตัวอย่างดินสังเคราะห์แคดเมียมผสมกับถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระใส่ในถุงซิปล็อค เขียนฉลากบนถุงซิปล็อคและทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินต่อไปดังตารางที่ 3.1

3.7 ศึกษาการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินที่แตกต่างกัน โดยวัดผลจากการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง

3.7.1 ทดสอบโดยการปลูกต้นดาวเรือง

นำดินควบคุม ดินสังเคราะห์แคดเมียม และดินสังเคราะห์แคดเมียมผสมถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ แบ่งลงใส่กระถาง กระถางละ 1 กิโลกรัม อย่างละ 5 ข้ว แล้วนำต้นกล้าดาวเรืองขนาดที่เท่ากันมาลงกระถาง กระถางละ 3 ต้น ทำการปลูกต้นดาวเรืองในกระถางวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) (จุฑาพร และคณะ, 2560) โดยมี 15 สิ่งทดลอง (Experimental Unit) แบ่งออกเป็น 3 Treatment ทำการศึกษา 5 ข้ว (Replication) ในแต่ละดิน ดังแผนภาพนี้

T ₁ R ₁	T ₁ R ₂	T ₁ R ₃	T ₁ R ₄	T ₁ R ₅
T ₂ R ₁	T ₂ R ₂	T ₂ R ₃	T ₂ R ₄	T ₂ R ₅
T ₃ R ₁	T ₃ R ₂	T ₃ R ₃	T ₃ R ₄	T ₃ R ₅

T₁...T₃ ชุดทดลอง (Treatment)

T₁ ดินควบคุม

T₂ ดินสังเคราะห์แคดเมียม

T₃ ดินสังเคราะห์แคดเมียมผสมถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ

R₁...R₅ จำนวนข้ว (Replication)

3.7.2 การดูแลต้นดาวเรือง

ให้น้ำแก่พืชครั้งละ 300 มิลลิลิตรต่อ 1 กระถาง รดน้ำอย่างสม่ำเสมอ วันละ 1 ครั้ง เวลา 8.30 น.

3.7.3 การเก็บข้อมูล

1. ศึกษาความสูงของลำต้น ซึ่งจะทำการวัดทุกๆ 7 วัน หลังการเพาะเมล็ด วิธีการวัดคือ วัดจากโคนที่โผล่พื้นดินจนถึงยอดของลำต้น
2. ศึกษาจำนวนของใบ ซึ่งจะทำการนับทุกๆ 7 วัน
3. ศึกษาความยาวของราก ซึ่งจะทำการวัดเพียง 1 ครั้ง คือ ช่วงหลังเก็บเกี่ยว

3.8 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแคดเมียมในดินด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ แคระ โดยเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างในดินและต้นดาวเรือง

3.8.1 เปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างในดิน

นำดินตัวอย่างหลังการปลูกพืชทั้ง 3 ชุด มาทำการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม โดยใช้เครื่อง อะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) แล้วเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างทั้งหมดในดิน

3.8.2 เปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างในพืช (สมสุข และคณะ, 2558)

นำส่วนประกอบของต้นดาวเรือง คือ ราก ลำต้น และใบทั้ง 3 ชุด มาล้างน้ำให้สะอาด ผึ่งไว้ให้แห้ง แล้วนำแต่ละส่วนมาหั่นเป็นฝอยให้มีปริมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง แล้วทำการย่อยโดยการเติมกรดไนตริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตรลงไปในบีกเกอร์ ทิ้งไว้ในตู้ดูดควัน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปกรองแบบลดความดันแล้วใส่ในขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 0.01 M กรดไนตริก (HNO_3) จากนั้นเทสารละลายลงขวดพลาสติกแล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) แล้วเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างทั้งหมดในแต่ละส่วนประกอบของต้นดาวเรือง

3.8.3 การศึกษาหาปริมาณแคดเมียมในรูปที่ดูดซึมได้โดยพืชในดิน ด้วยวิธีสกัดด้วยสารละลาย DTPA ความเข้มข้น 0.005 M (พนิตตา และคณะ, 2561)

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในรูปที่ดูดซึมได้โดยพืชในดิน โดยใช้ชุดดินทดลองที่ผ่านการปลูกพืชแล้ว ทำการสกัดดินด้วยกระบวนการสกัดแบบขั้นตอนเดียว (Single – step extraction) โดยใช้ DTPA เพื่อประเมินศักยภาพการดูดซึมโดยพืช (Tica. *et al.*, 2011) ในการสกัด

การสกัดด้วยสารละลาย DTPA ความเข้มข้น 0.005 M นำตัวอย่างดินแต่ละชุด มาชั่ง 10 กรัม แล้วเติมสารละลาย DTPA ความเข้มข้น 0.005 M 20 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปกรองสารละลายออกด้วยวิธีกรองแบบสุญญากาศ แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นแคดเมียม โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS)

นำข้อมูลที่ได้มาหารร้อยละการดูดซับ ดังสมการนี้ (ปิยวัฒน์ และคณะ, 2561)

$$\% \text{การดูดซับ} = \frac{(C_0 - C_e)}{W} \times 100$$

- C₀ = ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
- C_e = ความเข้มข้นที่เหลือในดินของแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
- W = ปริมาณถ่านชีวภาพ (กรัม)

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และทดสอบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ทดสอบข้อมูลด้วย ANOVA (Multiple Comparison) โดยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองที่ปลูกในดินแตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรม MINITAP version 1



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

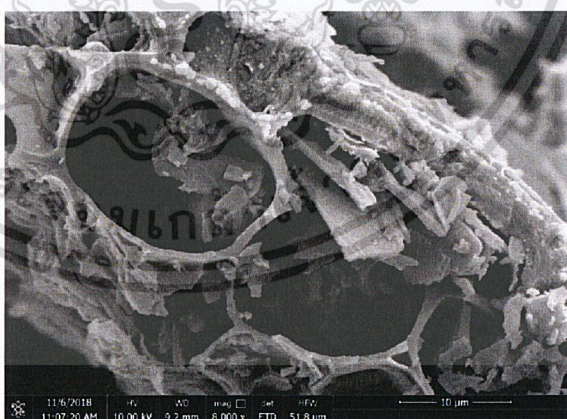
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการตกค้างแคดเมียมของต้นดาวเรืองโดยดินที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ ซึ่งการทดลองนี้ได้ทำการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ และของชุดดินทดลองได้แก่ ดินควบคุม ดินปนเปื้อนแคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ ก่อนและหลังการปลูกพืช และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมาปลูกพืช

4.1 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ-เคมีของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินก่อนและหลังการปลูกพืช

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ

1. การวิเคราะห์ด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)

นำถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระบดให้เป็นผงละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช ลักษณะทางกายภาพของถ่านชีวภาพสามารถตรวจวัดได้ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) ด้วยกำลังขยาย 8,000 เท่า ดังรูป 4.1 ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ จะมีลักษณะพื้นที่ผิวขรุขระเล็กน้อย รูพรุนที่ปรากฏจะมีลักษณะเป็นเหลี่ยม



รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ
จากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 8,000 เท่า

โครงสร้างของถ่านชีวภาพที่มีลักษณะดังกล่าวเหมาะสมต่อการนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน เนื่องจากเป็นแหล่งสะสมอาหารและความชื้นในดิน และเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ในดินด้านการเป็นที่ย่อยอาศัย ยิ่งถ่านชีวภาพที่มีผิวสัมผัสมากซึ่งมีลักษณะเป็นประจุลบบริเวณผิวสัมผัส จะส่งผลให้เพิ่มการแลกเปลี่ยนประจุในดินกับธาตุที่มีประจุบวก ก้นยาพร และสิทธิบุรณ์ (2559) โดยถ่านชีวภาพมีขนาดเล็ก มีพรุนมาก และมีพื้นที่ผิวเป็นจำนวนมากจะช่วยให้การดูดซับสารได้ปริมาณมากขึ้นเดชา (2552)

2. การวิเคราะห์ด้วย Surface area and porosity analyzer (BET)

นำถ่านชีวภาพหญาเนเปียร์เคราะห์มาศึกษาหาขนาดพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของถ่านชีวภาพ วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET) ซึ่งใช้หลักการการดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนพื้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งผลจะแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบของการวิเคราะห์ BET

	พารามิเตอร์	หญาเนเปียร์เคราะห์
ผลการวิเคราะห์	BET Surface Area (m ² /g)	11.6797
	Pore Volume (cm ³ /g)	0.0193
	Pore Size (A ^o)	66.2770

3. คุณสมบัติของถ่านชีวภาพทางเคมี

เนื่องจากถ่านชีวภาพจากหญาเนเปียร์เคราะห์ที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นถ่านชุดเดียวกันกับงานวิจัยของ ปิยวัฒน์ และคณะ (2561) ดังนั้นผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีจึงมีค่าเท่ากัน ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแสดงอยู่ในตารางที่ ง.1 ภาคผนวก ง

4.1.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินก่อนและหลังการปลูกพืช

นำชุดดินทดลองก่อนและหลังการปลูกพืชมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินตามตารางที่ 3.1 ซึ่งจะแสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์					
	ดินควบคุม		ดินปนเปื้อนแคดเมียม		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ	
	ก่อนการปลูก	หลังการปลูกพืช	ก่อนการปลูกพืช	หลังการปลูกพืช	ก่อนการปลูกพืช	หลังการปลูกพืช
Soil texture(เฉพาะดิน)	Sandy loam	-	-	-	-	-
ค่าพีเอช	6.75±0.06	6.82±0.10	6.71±0.08	6.88±0.09	8.08±0.10	8.33±0.18
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	1.51±0.16	1.33±0.11	1.38±0.13	1.18±0.15	4.47±0.24	3.76±0.15
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%OM)	29.79±0.23	25.99±0.36	25.82±0.39	22.27±0.57	41.96±0.30	38.89±0.58
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (cmol/kg)	10.81±0.57	3.01±0.47	10.48±0.45	2.91±0.51	25.25±0.24	24.17±0.59
ปริมาณแคดเมียมเริ่มต้น (mg/kg)	ND	ND	45±4.11	42.13±2.52	45±4.11	16.85±3.18
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%Total N)	0.14±0.01	0.03±0.02	0.13±0.01	0.03±0.01	0.17±0.01	0.15±0.01
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/L)	27.30±0.48	23.90±0.95	26.50±0.40	23.10±0.48	89.20±1.33	87.70±1.13
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (mg/kg)	30.95±0.62	28.80±0.96	29.70±0.77	26.90±0.69	38.36±0.32	37.02±0.12

*หมายเหตุ ND = Not detected

Soil texture

จากการวิเคราะห์เนื้อดิน เมื่อนำค่าที่ได้มาพล็อตลงตารางสามเหลี่ยมแจกแจงประเภทเนื้อดินตามมาตรฐาน USDA (รูปที่ ก.1 ภาคผนวก ก) ดินที่นำมาใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย ซึ่งมีความแตกต่างจากข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี (2559) ที่ส่วนใหญ่ดินในจังหวัดสมุทรปราการจะจัดเป็นดินเหนียว

ค่าพีเอช

ก่อนปลูกพืช ดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 6.75 และ 6.71 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นว่าสภาพของดินทั้ง 2 ชุด มีสภาพเป็นกลาง ดังข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน (2551) ที่กำหนดไว้ในช่วงพีเอช 6.6 – 7.3 (ตารางที่ ก.1 ภาคผนวก ก) ซึ่งค่าพีเอชมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ปลูกดาวเรือง (ไทยแลนด์ สมาร์ท การ์เด็น, 2560) แต่ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคดมีค่าพีเอชเท่ากับ 8.08 ซึ่งมีสภาพเป็นด่างปานกลาง ดังข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน (2551) ที่กำหนดไว้ในช่วงพีเอช 7.9 – 8.4 (ตารางที่ ก.1 ภาคผนวก ก) เนื่องจากถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคดมีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 9.86 ที่แสดงในตารางที่ ก.1 ภาคผนวก ก ซึ่งมีสภาพเป็นด่างจัดมาก ดังข้อมูลตามตารางที่ ก.1 ภาคผนวก ก

หลังปลูกพืช ดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียมหลังการปลูกพืชมีค่าเท่ากับ 6.82 และ 6.88 ตามลำดับ ซึ่งยังคงมีสภาพเป็นกลาง แต่ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคดมีค่าพีเอชเท่ากับ 8.33 ที่มีสภาพเป็นด่างปานกลาง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ค่าพีเอชหลังการปลูกพืชมีค่าเพิ่มขึ้น (บุษบา และคณะ, 2560)

ค่าการนำไฟฟ้า เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณเกลือที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำ (สุนทรี, 2553)

ก่อนปลูกพืช จากตารางที่ 4.2 ค่าการนำไฟฟ้าของดินควบคุม และดินปนเปื้อนแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 1.51 และ 1.38 mS/cm ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียมไม่เค็ม ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ดังข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน (2551) ที่จัดให้ค่าการนำไฟฟ้าที่น้อยกว่า 2 mS/cm ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต (ตารางที่ ก.2 ภาคผนวก ก) แต่ในส่วนของดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคดมีค่าเท่ากับ 4.47 mS/cm ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคดมีความเค็มปานกลาง ซึ่งมีข้อจำกัดการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชหลายชนิด ดังข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน (2551) ที่จัดให้ค่าการนำไฟฟ้าที่มากกว่า 4 - 8 มีข้อจำกัดการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชหลายชนิด (ตารางที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมพัฒนาที่ดิน (ภาคผนวก ก) สำหรับการใช้นานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังปลูกพืช ค่าการนำไฟฟ้าของดินควบคุม และดินปนเปื้อนแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 1.33 และ 1.18 mS/cm ตามลำดับ ซึ่งดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียมยังคงจัดเป็นดินไม่เค็ม แต่ในส่วนของดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมีค่าเท่ากับ 3.76 mS/cm ซึ่งจัดเป็นดินเค็มเล็กน้อย ซึ่งมีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ก่อนปลูกพืช ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินควบคุม ดินปนเปื้อนแคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมีค่าเท่ากับ 29.79 25.82 และ 41.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชุดดินทดลองทั้ง 3 ชุด มีระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูงมาก ดังข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน (2551) ที่กำหนดไว้ว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มากกว่า 4.5 จัดอยู่ในกลุ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูงมาก (ตารางที่ ก.3 ภาคผนวก ก) ซึ่งเหมาะแก่การปลูกพืช เนื่องจากปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินควรมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (สุพรรณา, 2560)

หลังปลูกพืช ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินควบคุม ดินปนเปื้อนแคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมีค่าเท่ากับ 25.99 22.27 และ 38.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชุดดินทดลองทั้ง 3 ชุด ยังคงมีระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูงมาก แต่ที่มีค่าลดลงจากค่าก่อนปลูกพืชเนื่องจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ทำให้ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกมาให้พืชนำไปใช้ได้ (ยงยุทธ และคณะ, 2554)

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ

ก่อนปลูกพืช ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของดินควบคุม และดินปนเปื้อนแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 10.81 และ 10.48 cmol/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียมมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุที่ต่ำ ดังข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน (2551) ที่กำหนดไว้ว่าช่วง 5 – 15 cmol/kg มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินต่ำ และในส่วนของดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมีค่าเท่ากับ 25.25 cmol/kg แสดงให้เห็นว่าดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุที่สูง ดังข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน (2551) ที่กำหนดไว้ว่าช่วง 25 – 40 cmol/kg มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินสูง (ตารางที่ ก.4 ภาคผนวก ก) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมถ่านชีวภาพลงไปจะทำให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุมีค่าสูงขึ้น (กฤษณา และคณะ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังการปลูกพืช ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของดินควบคุม ดินปนเปื้อน แคลเซียม และดินปนเปื้อนแคลเซียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควมีค่าเท่ากับ 3.01 2.91 และ 24.17 cmol/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงจากค่าก่อนปลูกพืช เนื่องจากค่าพีเอชก่อนและหลังมีการเปลี่ยนแปลง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

ปริมาณแคลเซียมเริ่มต้น

ก่อนปลูกพืช ปริมาณแคลเซียมเริ่มต้นของดินปนเปื้อนแคลเซียมและดินปนเปื้อน แคลเซียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควมีค่าเท่ากับ 45 mg/kg

หลังปลูกพืช ปริมาณแคลเซียมของดินปนเปื้อนแคลเซียมและดินปนเปื้อนแคลเซียม ที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควมีค่าลดลงเหลือ 42.13 และ 16.85 mg/kg ตามลำดับ เนื่องจากการรดน้ำทุกวันทำให้แคลเซียมในดินชะไปกับน้ำเพราะดินที่นำมา ทดลองเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy loam) และอีกหนึ่งสาเหตุที่ดินปนเปื้อนแคลเซียมมีค่า ความเข้มข้นลดลงเพราะดินมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำได้ (นพ ปลูก และคณะ, 2554) และดินปนเปื้อนแคลเซียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ แควมีค่าลดลงเพราะถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควมีความสามารถในการดูดซับ แคลเซียม (ปิยวัฒน์ และคณะ, 2561)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เป็นอินทรีย์วัตถุชนิดหนึ่งในดินที่พืชต้องการ ซึ่งธาตุไนโตรเจนจะ ทำให้ใบของพืชมีสีเขียวสด มีความแข็งแรง โตเร็ว (สุตารัตน์, 2559) โดยธาตุไนโตรเจนในดิน ส่วนใหญ่มีประมาณน้อยกว่า 0.02 เปอร์เซ็นต์ (พนิตตา และคณะ, 2561)

ก่อนปลูกพืช ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินควบคุม ดินปนเปื้อนแคลเซียม และ ดินปนเปื้อนแคลเซียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควมีค่าเท่ากับ 0.14 0.13 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า 0.02 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในดินมีปริมาณ อินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับที่สูง (ตารางที่ 4.2)

หลังปลูกพืช ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินควบคุม ดินปนเปื้อนแคลเซียม และ ดินปนเปื้อนแคลเซียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควมีค่าเท่ากับ 0.03 0.03 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งดินควบคุม และดินปนเปื้อนแคลเซียมที่มีค่าลดลงมาก เนื่องจากพืชดูดซึมธาตุอาหารไปใช้

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เป็นอินทรีย์วัตถุชนิดหนึ่งในดินที่พืชต้องการ ช่วยในการ สร้างและเคลื่อนย้ายอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาล จะถูกจัดเก็บไว้ในส่วนลำต้น (ศิริพร และ คณะ, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนปลูกพืช โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินควบคุม ดินปนเปื้อน แคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมีค่า เท่ากับ 27.30 26.50 และ 89.20 mg/L ตามลำดับ

หลังปลูกพืช โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินควบคุม ดินปนเปื้อน แคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมีค่า เท่ากับ 23.90 23.10 และ 87.70 mg/L ตามลำดับ ซึ่งดินควบคุม และดินปนเปื้อน แคดเมียมที่มีค่าลดลง เนื่องจากพืชดูดซึมธาตุอาหารไปใช้

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน เป็นอินทรีย์วัตถุชนิดหนึ่งในดินที่พืชต้องการ ซึ่งช่วง พีเอชที่ฟอสฟอรัสสามารถนำมาใช้ประโยชน์กับพืชได้คือ 5.5 – 7.0 (กฤตย์, 2549)

ก่อนปลูกพืช ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินของดินควบคุม ดินปนเปื้อน แคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมีค่า เท่ากับ 30.95 29.70 และ 38.36 mg/kg ตามลำดับ

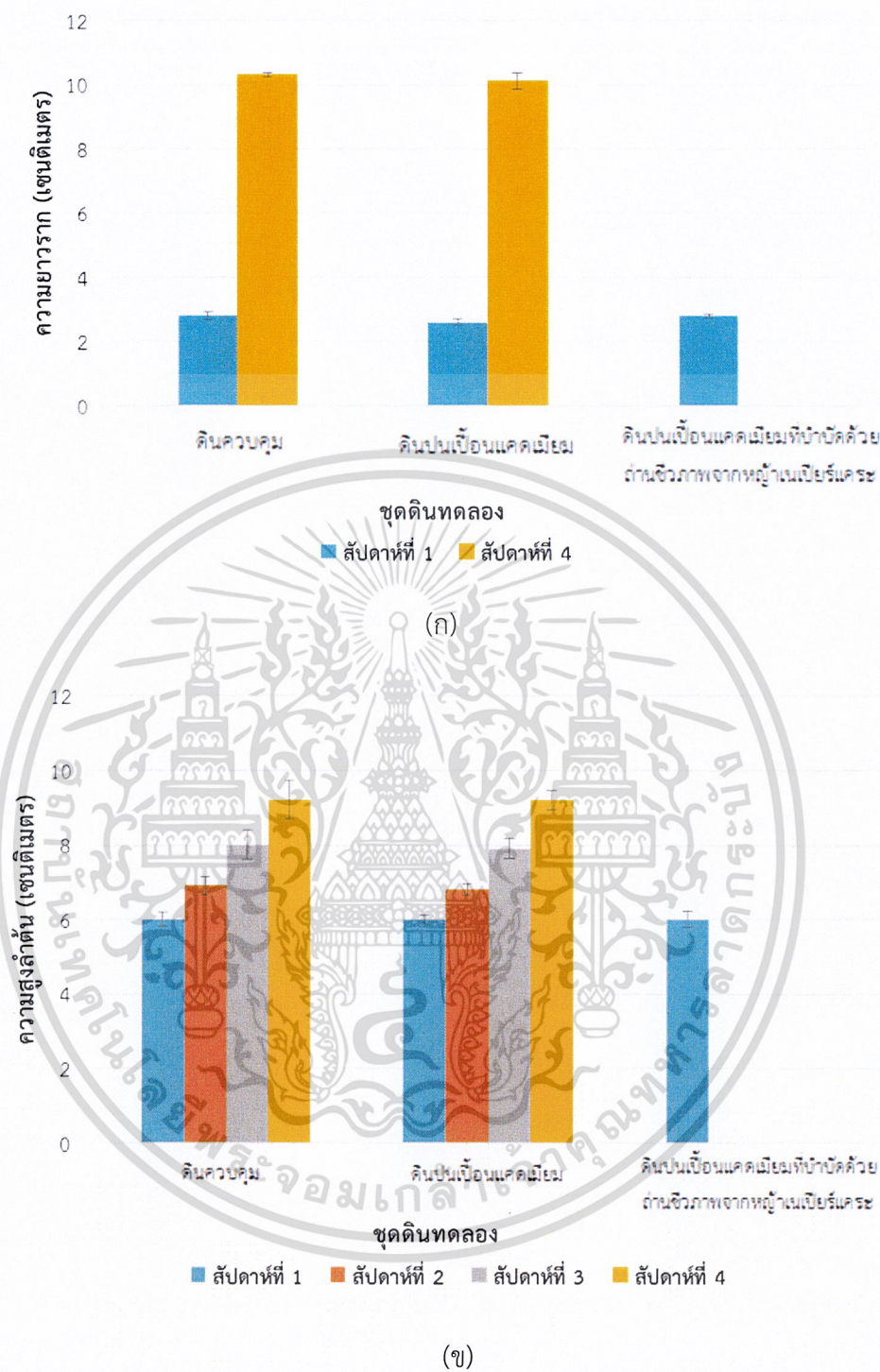
หลังปลูกพืช ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินของดินควบคุม ดินปนเปื้อน แคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระมีค่า เท่ากับ 28.80 26.90 และ 37.02 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งดินควบคุม และดินปนเปื้อน แคดเมียมที่มีค่าลดลง เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการนำไปใช้ เพื่อส่งเสริม การเจริญเติบโตของรากพืช และเพิ่มความต้านทานต่อโรคพืช (ประวิทย์กรุป, 2560)

4.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมาปลูกพืช

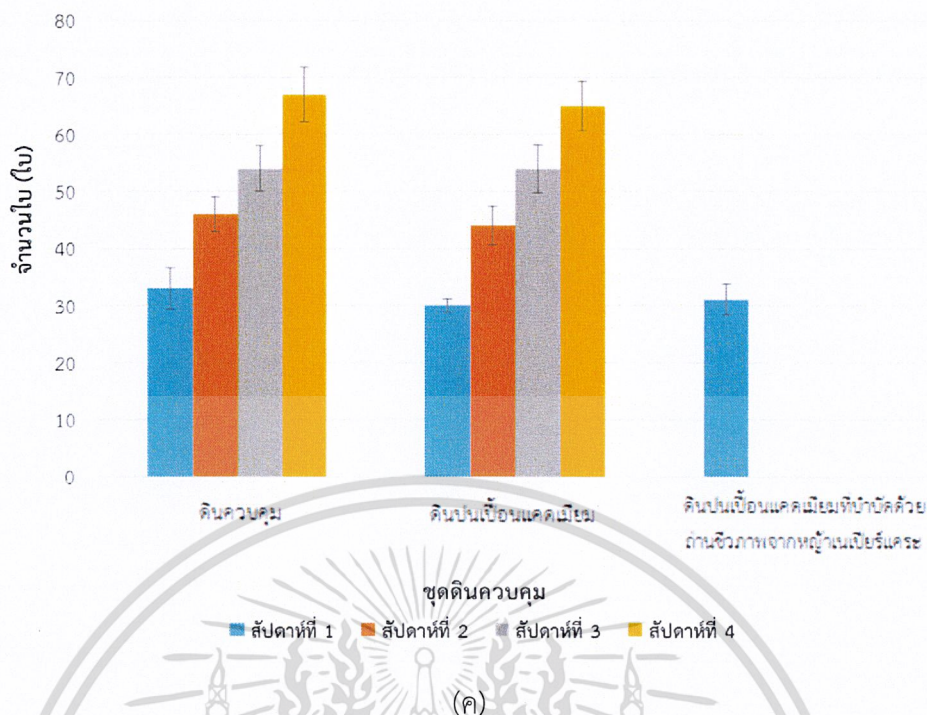
นำต้นกล้าดาวเรืองที่มีขนาดเท่า ๆ กัน มาลงชุดดินทดลองทั้ง 3 ชุด รดน้ำในปริมาณ 300 มิลลิลิตร เวลา 8.30 น. ของทุกวัน เป็นเวลา 30 วัน วัดความยาวรากในสัปดาห์ที่ 1 และ 4 วัดความ สูงลำต้น และนับจำนวนใบ ทุก ๆ 7 วัน

4.2.1 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองที่ปลูกในชุดดินทดลอง

ผลการวิเคราะห์ของดินชุดทดลองต่างๆ แสดงผลการเจริญเติบโตของพืชในดินชุด ทดลองต่างๆ โดยจะแสดงค่าความยาวราก ความสูงลำต้น และจำนวนใบ ของต้นดาวเรือง จะแสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.1(ก)-(ค) ตามลำดับ และรายละเอียดของผลการศึกษ การเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองในชุดดินทดลองจะแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผลการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง และชุดดินทดลอง ได้แก่ ดินควบคุม ดินปนเปื้อนแคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ (ก) ความยาวของราก (ข) ความสูงของลำต้น (ค) จำนวนใบ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 พบว่าต้นดาวเรืองที่เพาะปลูกลงในดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระไม่มีการเจริญเติบโตขึ้นและตายภายใน 2 วัน เนื่องจากถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระเป็นหญ้าที่มีธาตุอาหารสูง (ดาร์ง, 2522) แต่ด้วยค่าพีเอชที่มีค่าเท่ากับ 8.08 ซึ่งอยู่ในระดับที่เป็นด่างปานกลางจึงไม่เหมาะสมในการปลูกดาวเรือง เพราะพีเอชที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตจะอยู่ในช่วงพีเอช 6.5-7.0 (บริษัท เอเอฟเอ็ม ฟลาวเวอร์ ซีดส์ (ไทยแลนด์) จำกัด, 2558) แต่ต้นดาวเรืองที่เพาะปลูกในดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียมมีการเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ และในส่วนความยาวรากของต้นดาวเรืองในสัปดาห์ที่ 4 ของดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียม พบว่าความยาวมีค่าเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์ที่ 1 ซึ่งยาวจาก 2.8 และ 2.6 เซนติเมตร เป็น 10.3 และ 10.1 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนความสูงลำต้นของต้นดาวเรืองในดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียมมีค่าความสูงเฉลี่ยที่เท่ากันในทุกสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 4 ซึ่งจะเพิ่มขึ้นจาก 6 เซนติเมตรเป็น 9.2 เซนติเมตร ตามลำดับ และจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นในดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียมจากสัปดาห์ที่ 1 จำนวน 33 และ 30 ใบ เป็น 67 และ 65 ใบ ในสัปดาห์ที่ 4 ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ANOVA ที่ความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$) จะพบว่าผลการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองในชุดดินควบคุม และดินปนเปื้อนแคดเมียม มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการพาณิชย์ได้

ความยาวราก ความสูงลำต้น และจำนวนใบไม้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในส่วนของดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.2 ศึกษาการตกค้างแคดเมียมในต้นดาวเรือง

ผลการวิเคราะห์การตกค้างแคดเมียมในต้นดาวเรืองโดยการนำส่วนต่างๆของพืช ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ ไปทำการย่อยพบว่าค่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่ตรวจวัดได้ในทั้งดินควบคุม ดินปนเปื้อนแคดเมียม และดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่น้อยมากจนเครื่องวิเคราะห์ไม่สามารถตรวจวัดได้ (ตารางที่ ง.3 ภาคผนวก ง) ซึ่งเป็นไปได้ว่าดินจะดูดซับแคดเมียมเอาไว้เนื่องจากดินมีคุณสมบัติของการดูดซับเช่นกัน

4.2.3 การศึกษาหาความสามารถในการดูดซึมแคดเมียมของชุดดินทดลอง

นำชุดดินทดลองที่ผ่านการปลูกพืชแล้ว มาวิเคราะห์ทำการสกัดด้วยสารละลาย DTPA ความเข้มข้น 0.005 M ซึ่งจะแสดงผลในตารางที่ 4.3



ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของปริมาณแคดเมียมหลังจากการปลูกพืชที่สกัดด้วยสารละลายต่าง ๆ

ชุดดินทดลอง	สารละลายที่ใช้สกัด	ความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลือ (mg/kg)							ร้อยละการดูดซับ
		กระถางที่ 1	กระถางที่ 2	กระถางที่ 3	กระถางที่ 4	กระถางที่ 5	เฉลี่ย	SD	
ดินปนเปื้อนแคดเมียม	DTPA 0.005 M	38.03	39.18	41.06	39.11	41.12	39.70	1.35	0
ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ		14.82	13.80	15.74	14.91	15.09	14.66	0.58	20.23

จากตารางที่ 4.3 ดินปนเปื้อนแคดเมียมและดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะที่สกัดด้วยสารละลาย DTPA ความเข้มข้น 0.005 M มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมในดินลดลงจาก 45 mg/kg เป็น 39.70 และ 14.66 mg/kg ตามลำดับ และมีค่าร้อยละการดูดซับเท่ากับ 20.23 แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะสามารถดูดซับแคดเมียมได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนิดา และคณะ (2561) ที่เมื่อนำดินปนเปื้อนโลหะหนักมาใส่ถ่านเพื่อเป็นตัวดูดซับความสามารถในการดูดซับโลหะหนักก็จะมีมากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินปนเปื้อนแคดเมียมที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควมาใช้ปลูกดาวเรือง ซึ่งทำการสังเคราะห์ดินด้วยสารละลายแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แล้ววิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ-เคมีของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคว พบว่าขนาดพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน มีค่าเท่ากับ $11.6797 \text{ m}^2/\text{g}$ $0.0193 \text{ cm}^3/\text{g}$ และ $66.2770 \text{ \AA}$ ตามลำดับ เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินก่อนและหลังการปลูกพืช และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมาปลูกพืช ซึ่งพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองคือ พีเอช เนื่องจากค่าพารามิเตอร์หลังการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 8.08 และหลังจากการนำต้นดาวเรืองไปปลูกลงชุดดินทดลองทั้ง 3 ชุด ต้นดาวเรืองยังคงสามารถเจริญเติบโตได้ในดินควบคุมและดินปนเปื้อนแคดเมียม ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดินปนเปื้อนแคดเมียมและดินปนเปื้อนแคดเมียมที่มีการบำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควค่าความเข้มข้นลดลงเหลือ 42.13 และ 16.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างในต้นดาวเรืองมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่น้อยมากจนเครื่องวิเคราะห์ไม่สามารถตรวจวัดได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมาปลูกพืชในระยะเวลาที่นานขึ้น
2. ควรศึกษาการเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่นๆ
3. ควรศึกษาการสกัดดินด้วยกระบวนการสกัดแบบการสกัดตามลำดับ 6 ขั้นตอน (Six - step sequential extraction) เพื่อศึกษารูปฟอร์มของแคดเมียมที่สะสมในดิน
4. ควรปรับปรุง pH ของดินที่มีการผสมถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แควให้เหมาะสมก่อนนำไปปลูกพืช
5. นำน้ำที่ผ่านการรดต้นไม้มาทำการวิเคราะห์แคดเมียมที่ละลายน้ำ

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี. 2559. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี
จังหวัดสมุทรปราการ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2559. แหล่งแร่ตะกั่ว แร่สังกะสี อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี.
กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. ฉบับที่
01. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.
- กรมอนามัย และกรมควบคุมโรค. 2558. แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยง กรณีเหมืองแร่ทองคำ.
กรุงเทพฯ : กระทรวงสาธารณสุข.
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2554. การทำเหมืองแร่. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ :
ประชาชน 2552.
- กฤตย์ สมสาร. 2549. ฟอสฟอรัสในดิน. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กฤษณา บุญศิริ และกฤษฎา ชูช่วย. ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว.
นครสวรรค์ : วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครสวรรค์.
- กองอาหารสัตว์. 2561. หญ้าเนเปียร์กระจายพันธุ์ด้วยเมล็ดได้. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่
30 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: http://www.dld.go.th/nutrition/Nutrition_Knowledge/ARTICLE/Pro10.htm.
- กุลธิดา สะอาด. 2557. ประสิทธิภาพการดูดติดผิวโอออนทองแดงของถ่านชีวภาพในการบำบัด
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, การ
จัดการสิ่งแวดล้อม คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- เกษราพร สุรุณ และโกวิท พิชะมงคล. 2555. จลนศาสตร์การดูดซับโอออนเงินโดยเรซินไคโต
ซาน. วารสารวิทยาศาสตร์ มข, 40(4), 1285-1300.
- เชมชิต ธนาภิชาญเจริญ, นงนาถ เมฆรังสิมันต์ และสุรัช ศิลาณโชติ. 2551. ประโยชน์และ
ความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียม. โครงการเคมี, กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คมสรร ศิริติกุล และปนัดดา รุจะศิริ. 2547. การลี้ยงดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาคเคมีสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

คะนิงนิจ นิชานนท์ และฉันทนา ผดุงเทศ. 2548. การจัดการปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพจากสิ่งแวดล้อม : กรณีแคดเมียมที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. วารสารการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม. 28(3) : 39-46.

จาวภา มะนาวนอก, สันติไมตรี ก้อนคำดี, เกษสุตา เดชภิมล, วรณวิภา แก้วประดิษฐ์ พลพินิจ และดรุณี โชติษฐยากร. 2560. ถ่านชีวภาพ: ผลต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวนาหว่านน้ำตม(การทดสอบในสภาพกระถาง). แก่นเกษตร. 45(2) : 209-220.

จุฑาพร ภูษาจารย์, ธิติญา สิงห์เหาะ และศิวัชญา ศรีศิลป์. 2560. การแก้ไขปัญหาดินเปรี้ยวด้วยสารปรับปรุงดินสูตรต่างๆจากเปลือกหอยแมลงภู่เพื่อใช้ในการเพาะปลูก. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี สาขา เคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชมพูนุท ไชยรักษ์. 2560. การจัดการสารเคมีและของเสีย. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี สาขา เคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เชมชิต ธนากิจชาญเจริญ, นางนาถ เมฆรังสีมันต์ และสุรัชย์ ศิลาภรณ์โชติ. 2551. ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียม. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

แชมป์ดาวเรืองดอกใหญ่ที่สุดในโลก. 2562. ข้อมูลพื้นฐานของดาวเรือง ชนิด สรรพคุณ การใช้ประโยชน์ วิธีการปลูกดาวเรือง. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <http://www.dmc.tv/pages/scoop/ข้อมูลพื้นฐานของดาวเรือง-ชนิด-สรรพคุณ-การใช้ประโยชน์-วิธีการปลูกดาวเรือง.html>.

ญาดา พึ่งเกิด. 2542. การศึกษาวัสดุปลูกชนิดต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของดาวเรืองในระบบปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเปรียบเทียบกับผลการเจริญเติบโตของดาวเรืองที่ปลูกในดิน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชสวน คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ดวงกมล คำสอน และชมพูนุท ไชยรักษ์. 2556. การดึงดูดโลหะหนักของทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อน สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง. ว.วิทย์.มช. 41(2) : 468-475.

ดวงกลม วิรุฬห์อุดมผล และรัชนิกร มิ่งขวัญ. 2548. โลหะหนัก. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บุษบา บัวคำ และรักเกียรติ แสนประเสริฐ. 2560. การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิต บัวบก (*Centella asiatica* (L.) Urb.) ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์. วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 19(1) : 101-110.

เบญจมาศ อุ่นศรี. 2558. การดูดซึมโลหะหนักของผักกาดเขียวปลีตามระยะการเจริญเติบโตและ ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินร่วนปนทราย. พิษณุโลก: วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์.

เบญจวรรณ นิลวงศ์ และกรรณิการ์ แก้วกิม. 2559. การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียด้วยระบบบึง ประดิษฐ์และตัวดูดซับทางชีวภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระ เกียรติ. 2(2) : 1-10.

ปณณัฏฐา แท่งหิน, ธนิต ผิวนิม และอมลรจี นาคพลายพันธุ์. 2560. ผลของแคดเมียมต่ออัตราการ เจริญเติบโต ความเป็นพิษต่อเซลล์ราก และปริมาณรงควัตถุในข้าวไรซ์เบอร์รี่. Science and Technology. 4(3) : 1.

ประวิทย์กรุป. 2560. บทบาทและหน้าที่ธาตุอาหารพืช. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2562, สืบค้นจาก: <http://www.pravitgroup.co.th/2017/ธาตุอาหารพืช/>

ปิยวัฒน์ ไหมชู, พรภัทรา ปิ่นน้อย และศุภวัทย์ จรุงวรารเสฏฐ์. 2561. เปรียบเทียบผลของถ่าน ชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระและกากขานอ้อยต่อการดูดซับดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี สาขา เคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

พงศกร พรพรรณรัตนศิลป์ และเลิศ เกิดชัยภูมิ. 2555. การศึกษาความสามารถการดูดซับโลหะหนัก โดยดินมูกดาหารในห้องปฏิบัติการ. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 23(2) : 1-7.

พดาร์ตัน นิลเจียรนัย. 2548. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย สังกะหรณ์โดยใช้แผ่นไคโตซาน. หน้า.112 - 120 ใน รายงานสืบเนื่องจากการ ประชุมสัมมนาวิชาการนำเสนองานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ (Proceedings) เครือข่าย บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 15. นครสวรรค์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครสวรรค์.

พนิตดา บำรุงบุญ, พัทธนันท์ ปรีเถื่อน และสาริณี ชันแก้ว. 2561. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การลดการเคลื่อนที่ของแคดเมียมในดินที่มีตะกั่วและแมงกานีสโดยใช้ถ่านชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในการอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร
แม่เหล็กปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมโตะเดซิลซัลเฟต. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี สาขา เคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ครั้งที่ 15. นครสวรรค์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครสวรรค์.

พรพรรณ พนาปวุฒิกุล. 2561. โลหะหนัก : ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=7>.

พัชรिता ตรียาสุข และรัชชัย ศุภาดิษฐ์. 2560. ผลกระทบจากแคดเมียมที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกเพื่อการขยายพันธุ์. เกษตร. 45(3) : 461-470.

พินิจภณ ปิตุยะ และอนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์. 2560. การพัฒนาและฟื้นฟูดินทรายในเขตเงาฝนด้วยถ่านชีวภาพ. วารสารวิจัยและพัฒนาโดยกองการณในพระบรมราชูปถัมภ์. 12(3). 27-38.

พินิจภณ ปิตุยะ. 2557. ถ่านชีวภาพ. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <http://www.huaysaicenter.org>.

พิมพ์ชนก แพงไตร วราลี ตรีรัตนกุลพร และโสภิตา วรรณบวร. 2555. การกำจัดโลหะตะกั่วออกจากดินปนเปื้อนโดยการล้างดินด้วยสารละลายผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมไฮไดรอกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาคเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

โพสต์ทูเดย์. 2558. เผยพบโลหะหนักปนเปื้อนรองเหมืองทองพิจิตร. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2562, สืบค้นจาก: <https://www.posttoday.com/social/general/346404>.

มูลนิธิบูรณะนิเวศ. 2561. พืชสารหนูที่ร้อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <http://earththailand.org/th/pollution/22>.

วราภรณ์ ฉุยฉาย. 2551. การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช: phytoremediation. วารสารวิชาการราชภัฏตะวันตก. 3(1): 134-145.

ศิริพร กาทอง และดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2557. การหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. วารสารวิจัย มข. (บศ.). 14(4) : 57-68.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2559. ถ่านไม้ ไบโอชาร์ และถ่านกัมมันต์. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <http://stemforlife.ipst.ac.th>.

สมชาย พิมพ์ธนประทีป. 2548. หลัาเนเปียร์แคะ. บทความวิทยุรายการสาระความรู้ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมสุข ไตรศุกิตติ, มนขวัน วังกุลากร และวิชา เสนาจักร. 2558. การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผัก โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตร โฟโตเมตรีในเขตพื้นที่ จังหวัดมหาสารคาม. วิจัยเพื่อพัฒนาสังคมและชุมชน มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 2(4) : 1-7.

สำนักงานทางแพทย์. ม.ป.ป. แนวทางดำเนินการจัดทำมาตรฐานการแพทย์ทางเลือกสี่เลขน บำบัด. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก.

สิทธิชัย อินทร์ปนาม. 2558. รูปของโลหะหนักตามความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน ที่สกัดด้วย วิธี sequential extraction Heavy Metal Fractions in Sandy Loam Soil at Different Concentrations of Metal by Sequential Extraction Method. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สุดารัตน์ อรัญญกานนท์. 2559. การเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในดิน และองค์ประกอบ ผลผลิตของถั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merrill) พันธุ์เชียงใหม่ 60 และพันธุ์สจ.5 ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชา ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สุนทร ใจแก้ว และศุภวัฒนากร วงศ์ธนวิสุ. 2554. แนวทางในการป้องกันและแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตกระแสไฟฟ้า. วารสารบริหารท้องถิ่น. 4(4) ; 37-44.

สุนทรียังษ์ชวาล. 2553. ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย. นครปฐม : คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพรรณา วรินทร์. 2560. อินทรีย์วัตถุ. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2562, สืบค้นจาก: <http://www.kladee.com/basic/organic-matter/>

อดิสร อิศรางกูร ณ อยุธยา. 2547. แร่ตะกั่วที่ห้วยคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี. กรุงเทพฯ : สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

อดุลย์ ใจตาบุตร และจิตติศักดิ์ เปรมมณี. 2559. แหล่งแร่สังกะสี จังหวัดตาก. กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี.

อรุณศรี ปรีเปรม, บังอร ศรีพานิชกุลชัย, จินตนา จุลทรศน์ และผดุงขวัญ จิตโรภาส. 2549. โลหะหนักในสารสกัดสมุนไพรและยาแผนโบราณ. 2(1) : 1-10.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อลิสรา คูประสิทธิ์. 2554. **ความเป็นกรด-ด่างของดิน**. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: <https://www.yistr.or.th/.tistrblog/?p=1115>.

Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Muhmood, A., Ur Rehman, M. Z., Ibrahim, M., Arshad, M. and Qayyum, M. F. 2017. **Biochar application increased the growth and yield and reduced cadmium in drought stressed wheat grown in an aged contaminated soil**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 148 ; 825-833.

Bian, R. J., Chen, D., Liu, X., Cui, L., Li, L., Pan, G., Xia, D., Zheng, J., Zhang, X., Zheng, J. and Chang, A. 2013. **Biochar soil amendment as a solution to prevent Cd tainted rice from China : Results from a cross-site field experiment**. *Ecological Engineering*. 58 : 378-383.

Brendova, K., Tlustos, P. and Szakova, J. 2015. **Biochar immobilizes cadmium and zinc improves phytoextraction potential of willow plants on extremely contaminated soil**. *Plant Soil Environmental*. 61(7) : 303-308.

Fernandes, R. B. A., Junior, I. A. C., Junior, E. S. R. and Mendonca, E. D. S. 2015. **Comparison of different methods for the determination of total organic carbon and humic substances in Brazilian soils**. *Revista Ceres*. 62(5) : 496-501.

He, H. Z., Pan, J. J., Yu, P. F., Chen, G. K. and Li, H. S. 2016. **Effects of Hybrid Giant Napier Biochar on Cadmium Migration in a Cabbage-Soil System Contaminated with Cadmium and Butachlor**. *Polish Journal of Environmental Studies*. 26(2) : 619-625.

Ishii, Y., Hamano, K., Kang, D. J., Idota, S. and Nishiwaki, A. 2015. **Cadmium phytoremediation potential of napiergrass cultivated in Kyushu, Japan**. *Applied and Environmental Soil Science*. 1-6.

Jutarut_DPM. 2012. **พิษจากโลหะหนักที่ชื่อว่าแคดเมียม**. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemicalhazards/item/98?fbclid=IwAR0k0vYYUBQLRSaIhx9nkf3d7DtouYga08QwjJGzajJiMqERXa26p_VNKY.

PARICH. 2016. อินทรีย์วัตถุในดิน. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2562, สืบค้นจาก: <http://www.parichfertilizer.com/knowledge>.

Puga, A.P., Abreu, C.A., L. C. A., Paz-Ferreiro, L. and Beesley, L. 2015. **Cadmium, lead, and zinc mobility and plant uptake in a mine soil amended with sugarcane straw biochar.** Environmental Science and Pollution Research. 22(22) : 17606-17614.

R., J., M., Y.S., E. and F.M.G. 2018. **Chemical stabilization of Cd-contaminated soil using biochar.** Applied Geochemistry 88 : 122 – 130.

SMART GARDEN. 2017. ค่า pH มีผลต่อพืชอย่างไร. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2562, สืบค้นจาก: <https://www.thailandsmartgarden.com>.

Ur Rehman, M. Z., Rizwan, M., Hussain, A., Saqib, M., Ali, S., Sohail, M. I., Shafiq, M. and Hafeez, F. 2018. **Alleviation of cadmium (Cd) toxicity and minimizing its uptake in wheat (*Triticumaestivum*) by using organic carbon sources in Cd-spiked soil.** Environmental Pollution. 241 : 557-565.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์

ก.1 วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

การวัด pH ในน้ำอัตราส่วน ดิน : น้ำ เท่ากับ 1:5 (w/w)

ชั่งดิน 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์พลาสติกเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว เป็นระยะๆ ให้อยู่ครั้งในระยะ 30 นาทีแรกหลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 30 นาที จึงวัดค่า pH ของดินในส่วนที่เป็นน้ำใสด้วยเครื่อง pH Meter

หมายเหตุ

ในการทดลองใช้อัตราส่วน ดิน : น้ำ เท่ากับ 5 : 25 (w/w)

ตารางที่ ก.1 การแปลผล pH ของดินในน้ำ

ระดับ	ช่วง pH _{water} , 1:1
กรดรุนแรงมากที่สุด	< 3.5
กรดรุนแรงมาก	3.5 – 4.4
กรดจัดมาก	4.5 – 5.0
กรดจัด	5.1 – 5.5
กรดปานกลาง	5.6 – 6.0
กรดเล็กน้อย	6.1 – 6.5
เป็นกลาง	6.6 – 7.3
ด่างอ่อน	7.4 – 7.8
ด่างปานกลาง	7.9 – 8.4
ด่างจัด	8.5 – 9.0
ด่างจัดมาก	> 9.0

ก.2 วิธีวิเคราะห์การนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity, EC) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

การสกัดในอัตราส่วน ดิน : น้ำ เท่ากับ 1 : 5

ชั่งดิน 4 กรัม ในหลอดทดลองขนาด 40 มิลลิลิตร ใส่ น้ำ 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะๆ นาน 30 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีแล้วจึงนำไปอ่านค่า EC โดยเครื่อง Electrical Conductivity meter โดยใช้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride, KCl) 0.01 M หรือ 0.1 M ปรับค่าคงที่ของเครื่อง Electrical Conductivity meter ที่ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าเท่ากับ 1.412 dS/m หรือ 12.88 dS/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 การแปลผล การจำแนกค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเค็มของดินและผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช

ECe (mS/cm)	เกลือในดิน(%)	ระดับความเค็มของดิน	อิทธิพลต่อพืช
< 2	< 0.1	ไม่เค็ม	ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช
> 2 - 4	> 0.1 – 0.2	เค็มเล็กน้อย	มีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม
> 4 – 8	> 1.2 – 0.4	เค็มปานกลาง	จำกัดการเจริญเติบโตและมีผลผลิตของพืชหลายชนิด
> 8 - 16	> 0.4 – 0.8	เค็มมาก	พืชทนเค็มเท่านั้นที่เจริญเติบโต
> 16	> 0.8	เค็มจัด	พืชทนเค็มบางชนิดเท่านั้นที่เจริญเติบโต

ก.3 วิธีวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุของดิน (Walkley Black modified acid-dichromate digestion, FeSO₄ titration method) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

1. ชั่งดิน 1 กรัม ขวดใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร (ปริมาณตัวอย่างอาจลดลงได้ตามความเหมาะสม ถ้าดินนั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง สังเกตได้จากสีของดิน ถ้าเป็นดินสีดำหรือสีน้ำตาลเข้มต้องชั่งดินให้ลดลง แต่ถ้ากรณีเป็นดินทรายต้องเพิ่มปริมาณดินให้มากขึ้นกว่าเดิม)
2. เติมน้ำกลั่นมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต (K₂Cr₂O₇) 1.0 N ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยใช้ Dispenser
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H₂SO₄) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยใช้ Dispenser พยายามให้กรดไหลลงรอบๆขวดเพื่อชะล้างตัวอย่างลงไปอยู่ในขวดให้หมดและเพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดดินเกาะติดอยู่ตามข้างขวด เขย่าเอาให้ตัวอย่างเข้ากันดีเป็นเวลาประมาณ 1 นาที
4. ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเย็นถ้าอุณหภูมิห้อง
5. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
6. หยดอินดิเคเตอร์ออร์โธฟีแนนโทรลีน 5 หยด
7. ไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.5 N ที่จุด end point สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง
8. ทำ blank โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

- 1. ในการทดลองใช้ปริมาณดิน 0.05 กรัม
- 2. อินดิเคเตอร์ในการทดลองเปลี่ยนจากอินดิเคเตอร์ออร์โธฟีนแอนโทรลีน เป็น อินดิเคเตอร์ BDS เพื่อมองเห็นสีของจุดยุติได้ง่ายขึ้น โดยสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากน้ำตาลแดงเป็นสีเขียว

ตารางที่ ก.3 การแปรผล ระดับอินทรีย์วัตถุ

ระดับ	ฟิสัย (ร้อยละ)
ต่ำมาก	< 0.5
ต่ำ	0.5 – 1.0
ค่อนข้างต่ำ	1.0 – 1.5
ปานกลาง	1.5 – 2.5
ค่อนข้างสูง	2.5 – 3.5
สูง	3.5 – 4.5
สูงมาก	> 4.5

ก.4 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Cation Exchange Capacity, C.E.C) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

- 1. ชั่งดิน 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรท (Ammonium acetate, NH₄OAc) 1 M pH 7.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี ทิ้งไว้ค้างคืน
- 2. นำมากรองโดยใช้กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel) ต่อกับขวดกรอง ใช้กระดาษกรอง Whatman No.5 จำนวน 1 แผ่น (หรือใช้ No.42 จำนวน 1 แผ่น หรือ No.1 จำนวน 2 แผ่น แทนกันได้) ล้างตัวอย่างดินด้วย 1 M NH₄OAc pH 7.0 ทีละน้อยหลายๆครั้งจนได้ปริมาตรเกือบ 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้นี้ถ่ายใส่ขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเก็บไว้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ Exchangeable Cations Ca²⁺,Mg²⁺,Na⁺ และ K⁺ ต่อไป
- 3. ล้างตัวอย่างดินในกรวยบุชเนอร์ในข้อ 2 ต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรท (Ammonium acetate, NH₄OAc) 1 M pH 7.0 อีก 5 ครั้ง ครั้งละประมาณ 20 มิลลิลิตร
- 4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride, NH₄Cl) 1 M pH 7 5 ครั้ง ครั้งละประมาณ 20 มิลลิลิตร
- 5. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride, NH₄Cl) 0.25 M pH 7.0 ประมาณ 20 มิลลิลิตร 1 ครั้ง
- 6. ล้างด้วย Ethyl alcohol 95% อีก 5-6 ครั้ง ครั้งละประมาณ 20 มิลลิลิตร ทุกครั้งที่ล้างใช้กระบอกฉีด ฉีดตัวอย่างดินที่อาจติดค้างอยู่ที่ปากกรวยบุชเนอร์ให้ลงไปรวมอยู่ในกรวยให้หมด

เอกสารนี้ สารละลายที่ได้จากข้อ 3-6 เททิ้งไป (การล้างด้วยแอลกอฮอล์เพื่อล้างแอมโมเนียมส่วนเกินที่ติดค้างไว้ ไม่ได้ออกมา) ไม่ได้แลกเปลี่ยนออกให้หมด ซึ่งทดสอบได้จากปริมาณคลอไรด์ไม่มีหลงเหลืออยู่ในดินโดย

- สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO₃) 0.1 M จำนวน 1-2 หยด ลงในสารละลายที่รองรับมาจากกรวยบุษเนอร์ ตรงยังไม่ได้หยดลงสู่ขวดกรอง ถ้ามีตะกอนสีขาวเกิดขึ้นแสดงว่ายังล้างแอมโมเนียไม่หมด ต้องล้างตัวอย่างดินด้วย Ethyl alcohol 95% ต่อไปอีก แล้วทดสอบคลอไรด์ใหม่ดังที่กล่าวมาแล้วจนไม่มีตะกอนสีขาวนั้นแสดงว่าล้างแอมโมเนียหมดแล้ว)
- เปลี่ยนขวดกรองใหม่สำหรับรองรับสารละลายใหม่ ล้างตัวอย่างดินที่ยังอยู่ในกรวยบุษเนอร์ ในข้อ 6 ด้วย acidified NaCl 10% แต่ละครั้งที่ล้างให้ใส่สารละลาย NaCl ให้ท่วมตัวอย่างดินจนกระทั่งได้สารละลายที่กรองได้ประมาณ 300-350 มิลลิลิตร
 - ถ่ายได้สารที่กรองได้ใส่ขวดกลั่น ล้างขวดกรองด้วยน้ำกลั่นและเทน้ำที่ล้างรวมลงไปขวดกลั่น
 - นำขวดกลั่นไปกลั่น โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงไปในขวดกลั่นให้มากเกินพอ (ประมาณ 30 มิลลิลิตร) สารละลายกรดบอริก (H₃BO₃) 3% ประมาณ 30 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร คอยรองรับสารละลายที่กลั่นออกมาได้ และในสารละลายกรดบอริก (H₃BO₃) นี้ใส่อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator) ประมาณ 5 หยด ใช้เวลากลั่นประมาณ 40-45 นาที หรือจนกลั่นได้สารละลายประมาณ 250-275 มิลลิลิตร
 - นำสารละลายที่กลั่นได้ในขวดรูปชมพู่ที่รองรับไปไทเทรตกับสารละลายกรดเกลือ 0.1 N จุดยุติคือสีของอินดิเคเตอร์ในสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง บันทึกปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ไทเทรตแล้วนำมาคำนวณค่าCEC
 - นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Soduim chloride, NaCl) 10% ที่ใช้ล้างดินมาทำเป็น blank โดยทำเช่นเดียวกันกับตัวอย่างดิน

ตารางที่ ก.4 การแปรผลระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

ระดับ	CEC (cmol/kg)
ต่ำมาก	< 5
ต่ำ	5 – 15
ปานกลาง	15 – 25
สูง	25 – 40
สูงมาก	> 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจน (Total N) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

1. การย่อยสลาย (digestion)

- 1.1 ชั่งตัวอย่างที่อบและบดละเอียดแล้ว 0.5-1.00 กรัม (ผ่านการอบที่ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) บนกระดาดกรองและห่อใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 800 มิลลิลิตร หรือหลอดย่อย digestion tube ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำสำเร็จรูปอัดเม็ดจำนวน 2 เม็ด
- 1.2 เติมน้ำกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 2 มิลลิลิตร ลงใน Kjeldahl flask หรือ 15 มิลลิลิตร ลงในหลอดแก้ว
- 1.3 ทำ Blank และตัวอย่างอ้างอิง (reference sample) โดยวิธีเดียวกัน
- 1.4 นำไปย่อยใน Kjeldahl digestion apparatus ใช้อุณหภูมิประมาณ 100-400 องศาเซลเซียส หรือ digestion block ใช้อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใสใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นเติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร หรือถ้าอุปกรณ์ในการย่อยเป็นหลอดแก้วเติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร จนได้สารละลายใส และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 60 มิลลิลิตร

2. การกลั่น (distillation)

- 2.1 เครื่อง Kjeldahl : ใส่สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร หยด Mixed indicator 4-5 หยด นำไปวางรองรับ distillate จากเครื่องกลั่น โดยให้ปลายหลอดแก้วจุ่มอยู่ในสารละลายบอริก (H_3BO_3) แล้วเติมน้ำสารละลายกรดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (1:1) จำนวน 50 มิลลิลิตร ลงใน Kjeldahl flask ที่มีสารละลายตัวอย่างทำการกลั่น (ประมาณ 1 ชั่วโมง) จนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรต
- 2.2 เครื่องกลั่นสำหรับ Block : ใส่สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หยด Mixed indicator 4-5 หยด ในทำนองเดียวกันเติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงในหลอดแก้วที่มีสารละลายตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากเครื่องทำการกลั่นจนได้ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ใช้เวลาประมาณ 7-10 นาที แล้วนำไปไทเทรต

ก.6 วิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินโดยวิธี Bray II (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำยา Bray II 10 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที กรองด้วยกระดาดกรอง No.5 ขนาด 11 เซนติเมตร
3. ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ในข้อ 2 อัตราส่วน 1 ส่วนต่อ working solution 16 ส่วน (เท่ากับ 17 เท่า โดยใช้ Auto-dilutor) ลงในปิเกตอร์ นำไปอ่านค่าความเข้มข้น (concentration) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร (สารที่วัดห้ามทิ้งเกิน 30 นาที)

เอกสาร 4. ทำ blank และชุดของสารละลายมาตรฐาน (Standard set) เช่นเดียวกับข้อ 3 ใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณหาผลได้ของตัวอย่างที่มีการเจือจาง 10 เท่า เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.7 วิธีวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Available Potassium) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

1. ชั่งดิน 2.5 กรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร
 2. เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (Ammonium acetate, NH_4OAc) 1 M. pH 7.0 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที
 3. กรองดินและ เก็บสารละลายที่กรองได้
 4. วิเคราะห์ปริมาณ ด้วยเครื่อง Flame spectrophotometer โดยเปรียบเทียบกราฟมาตรฐาน
- หมายเหตุ ตัวอย่างชีวภาพหญ้าเนเปียร์แควมีการเจือจาง 100 เท่า

ก.8 วิธีวิเคราะห์ความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะหนัก (กรมทรัพยากรธรณี, 2543)

1. ชั่งตัวอย่างดินและถ่านชีวภาพ 1 กรัม ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ปิดด้วยกระຈกนาฬิกา
2. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 ± 5 องศาเซลเซียส (Reflux) โดยไม่ให้สารละลายเดือดเป็นเวลา 15 นาที ยกลงทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ให้ความร้อน 15 นาที ถ้ามีไอสีส้มอมน้ำตาลให้เติมกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) ครึ่งละ 5 มิลลิลิตร จนกระทั่งไม่มีไอสีส้มอมน้ำตาล แล้วทำการให้ความร้อนต่อจนเหลือสารละลาย 5 มิลลิลิตร หรือประมาณ 2 ชั่วโมง ยกลงทิ้งไว้ให้เย็น
4. เติมน้ำปราศจากไอออน 2 มิลลิลิตร เติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) 30% ทีละ 1 มิลลิลิตร จนกว่าจะไม่เกิดฟอง (ไม่เกิน 10 มิลลิลิตร)
5. ให้ความร้อนจนเหลือสารละลาย 5 มิลลิลิตร หรือประมาณ 2 ชั่วโมง ยกลงทิ้งไว้ให้เย็น
6. เติมสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) 10 มิลลิลิตร ให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 15 นาที
7. กรองสารละลายด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (Whatman No.42)(ใช้กระดาษกรองเบอร์2) เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
8. หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

ก.9 วิธีวิเคราะห์ Soil texture(เฉพาะดิน)

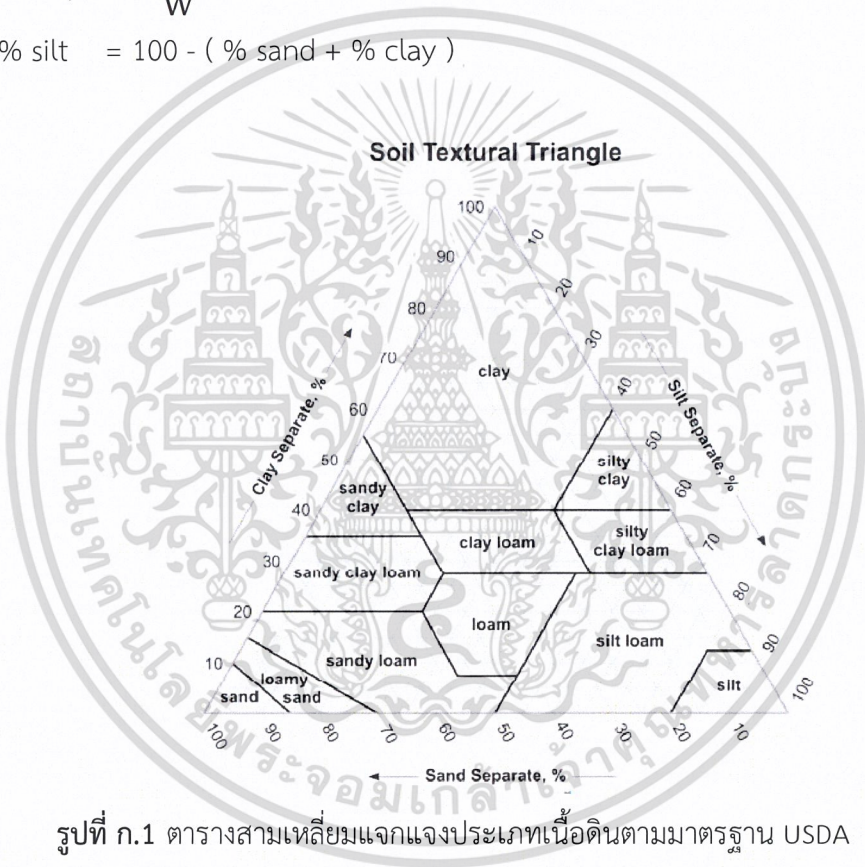
1. ชั่งดินที่ผึ่งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 mesh แล้ว 40 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารละลายคัลคอน 100 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นประมาณ 300 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
2. นำสารแขวนลอยดินที่เตรียมไว้ มาควนประมาณ 5 นาที แล้วเทลงกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร
3. ปรับปริมาตรสารในข้อ 2 ด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1 ลิตร ทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่
4. จุ่มแท่งแก้วคนแบบ plunger แบบขึ้น-ลง เบาๆ เพื่อให้เกิดการผสมกันทั่วทั้งกระบอกตวง (ให้หมุนขึ้น-ลงแบบเกลียวสว่าน 2-3 รอบ)

เอกสาร 5. บันทึกเวลาเมื่อคนเสร็จ ถ้าที่ผิวของสารแขวนลอยมีฟอง เติมเอมัลซิไฟเออร์ 1 หยด โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่า 6. ค่อยๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงอย่างระมัดระวังในสารแขวนลอย และอ่านค่าสเกลเหมือนเดิมนำไปใช้

- 7. เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที หลังจากการกวนผสมค่าที่อ่านได้ต้องหักลบจากค่าที่อ่านได้จากการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์
- 8. ค่อยๆ ดึงไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอย่างระมัดระวังเมื่ออ่านเสร็จ ล้างและเช็ดให้แห้ง
- 9. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้งโดยทำเหมือนเดิม
- 10. ทำ blank เช่นเดียวกับข้อ 1 – 9

การคำนวณ

$$\% \text{ sand} = \left(\frac{W - R_{40s}}{W} \right) \times 100$$
$$\% \text{ clay} = \left(\frac{R_{2hr}}{W} \right) \times 100$$
$$\% \text{ silt} = 100 - (\% \text{ sand} + \% \text{ clay})$$



รูปที่ ก.1 ตารางสามเหลี่ยมแจกแจงประเภทเนื้อดินตามมาตรฐาน USDA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

กราฟมาตรฐานสารละลาย

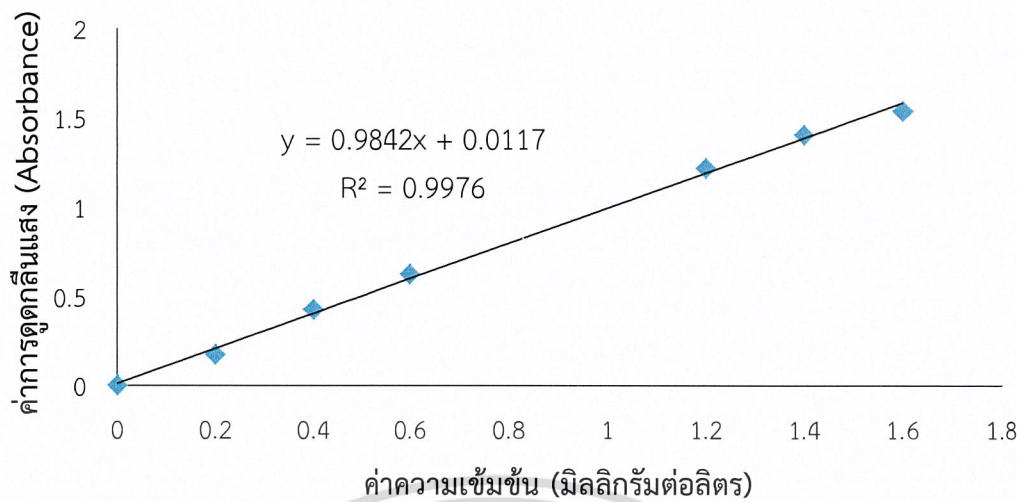
ข.1 วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายแคดเมียม

- 1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาปริมาณ 10 มิลลิลิตร ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2. ทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (จากข้อ1) มาปริมาณ 10 มิลลิลิตร ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3. เตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (จากข้อ2) มาปริมาณ 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ นำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
- 4. เก็บสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 , 1.0 ,1.2 ,1.4 ,1.6, 1.8 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ใส่ในขวดพลาสติก และแช่ตู้เย็น รอนำไปวัดหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (AAS)

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม

ค่าความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
0.1	0.0155
0.2	0.0490
0.4	0.1236
0.6	0.2078
0.8	0.2760
1.0	0.3133
1.2	0.3883
1.4	0.4442
1.6	0.4889
1.8	0.5349
2.0	0.5808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานสารละลายแคดเมียม

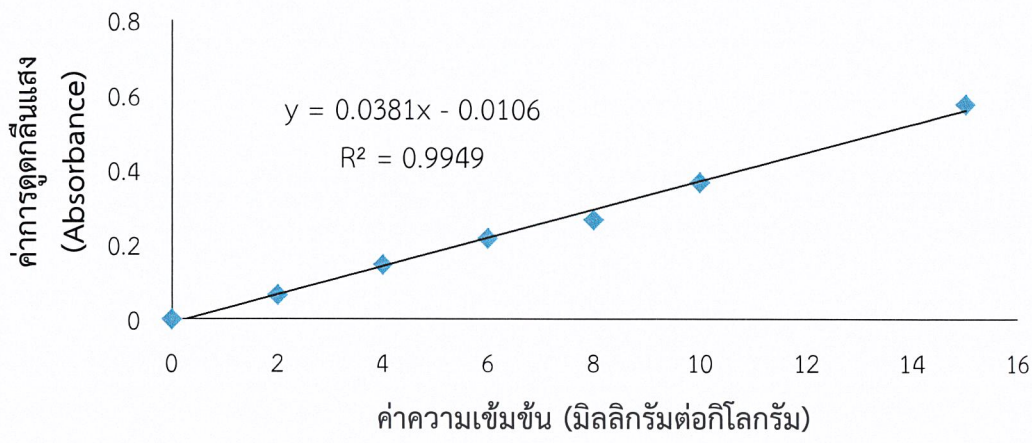
ข.2 วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายฟอสฟอรัส

1. นำสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4) ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง) จำนวน 0.2195 กรัม ละลายในน้ำกลั่นพอสมควร ปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดซัลฟูริก 1-2 หยด จากนั้นนำไปปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ซึ่งจะได้สารละลายมาตรฐาน ฟอสฟอรัสเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
2. จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐาน 0, 2, 4, 6, 8 ,10 และ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มาปริมาณ 2, 4, 6, 8, 10 และ 15 มิลลิลิตร ตามลำดับ นำมาเจือจางด้วยน้ำยาสกัดในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
3. นำไปวัดหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร

ตารางที่ ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส

ค่าความเข้มข้น	ค่าการดูดกลืน
2	0.076
4	0.143
6	0.208
8	0.295
10	0.356

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานสารละลายฟอสฟอรัส

ข.3 วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายโพแทสเซียม

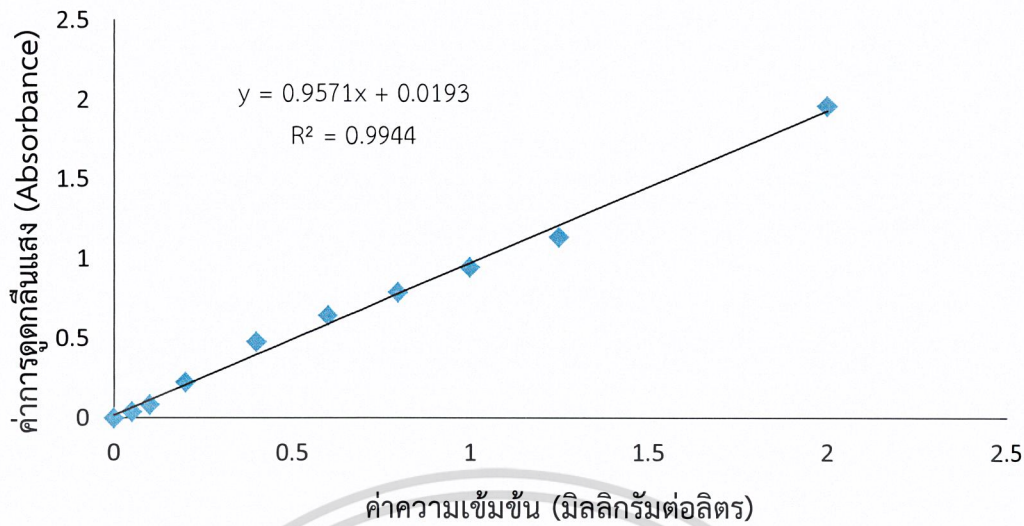
1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาปริมาณ 10 มิลลิลิตร ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 100 มิลลิลิตร มาปริมาณ 10 มิลลิลิตร ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. เตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปต สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มาปริมาณ 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิลิตร ตามลำดับ นำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
4. นำไปวัดหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยเครื่อง Flame spectrophotometer

หมายเหตุ

ในการทดลองนำสารละลายมาตรฐานวัดความเข้มข้นด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (AAS)

ตารางที่ ข.3 ค่าความเข้มแสงที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม

ค่าความเข้มข้น	intensity
0	141
2	10081
4	18601
6	25115
8	30268



รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานสารละลายโพแทสเซียม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

ค.1 การเตรียมดินสังเคราะห์แคดเมียม

การคำนวณการเตรียมสารละลาย Stock (Cd^{2+}) เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
หาปริมาตรของสารละลาย Stock Cd^{2+} ที่ใช้ โดยเตรียมจาก Stock Cd^{2+} เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากสูตร $C_1V_1=C_2V_2$

C_1 = ความเข้มข้นสารละลายก่อนเจือจาง (มิลลิกรัมต่อลิตร : mg/L)

C_2 = ความเข้มข้นสารละลายหลังเจือจาง (มิลลิกรัมต่อลิตร: mg/L)

V_1 = ปริมาตรสารละลายก่อนเจือจาง (มิลลิลิตร mL)

V_2 = ปริมาตรสารละลายหลังเจือจาง (มิลลิลิตร mL)

$$1,000 \text{ mg/L} \times V_1 = 50 \text{ mg/L} \times 1,000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 50 \text{ mL}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลาย Stock Cd^{2+} ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการปิเปตจากสารละลาย Stock Cd^{2+} ที่มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 50 มิลลิลิตร หลังจากนั้นจึงทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตรหรือ 1 ลิตร

เนื่องจากความเข้มข้นที่เราต้องการคือ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จึงทำการแปลงหน่วยจาก 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดย

$$\frac{50 \text{ mg/L} \times 1,000 \text{ mL}}{1 \text{ kg} \times 1,000 \text{ mL}} = 50 \text{ mg/kg}$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรจึงเท่ากับความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ค.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ (NaOH 0.1 N)

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

โดยมวลโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 39.997 g/mol

จากสูตร
$$\frac{g}{MW} = \frac{CV}{1,000}$$
$$\frac{g}{39.997 \text{ g/mol}} = \frac{0.1 \text{ M} \times 1,000 \text{ mL}}{1,000}$$
$$g = 3.9997 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์

จำนวน 3.99 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนถึงขีดในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000

ค.3 สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (KHP 0.1 N)

เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยมวลโมเลกุลของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเท่ากับ 204.22 g/mol

จากสูตร
$$\frac{g}{MW} = \frac{CV}{1,000}$$
$$\frac{g}{204.22 \text{ g/mol}} = \frac{0.1 \text{ M} \times 100 \text{ mL}}{1,000}$$
$$g = 2.04 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตจำนวน 2.04 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรจนถึงขีดในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร

ค.4 ความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์

โดยทำการไทเทรตระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต อินดิเคเตอร์ที่ใช้คือ ฟีนอล์ฟทาลีน

ตารางที่ ค.1 ค่าปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

ตัวอย่าง	ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
1	21.00
2	21.00
3	21.00
เฉลี่ย	21.00

ดังนั้น เมื่อน้ำหนักของ KHP เท่ากับ 2.04 g มีค่า 0.1456 N ปริมาตร KHP ที่ใช้เท่ากับ 20 mL

จากสูตร
$$N_1V_1 \text{ (KHP)} = N_2V_2 \text{ (NaOH)}$$
$$0.1456 \text{ N} \times 20 \text{ mL} = N_2 \times 21.00 \text{ mL}$$
$$N_2 = 0.1387 \text{ N}$$

ค.5 ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl)

โดยทำการไทเทรตระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไฮโดรคลอริก อินดิเคเตอร์ที่ใช้คือ ฟีนอล์ฟทาลีน

ตารางที่ ค.2 ค่าปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮโดรคลอริก

ตัวอย่าง	ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
1	17.00
2	17.00
3	17.00
เฉลี่ย	17.00

จากสูตร $N_1V_1(\text{NaOH}) = N_2V_2(\text{HCl})$

$$0.1387\text{ N} \times 20\text{ mL} = N_2 \times 17.00\text{ mL}$$
$$N_2 = 0.1632\text{ N}$$

ค.6 สารละลายกรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอะเซติกเข้มข้น 0.05 M pH 7

เตรียมสารละลายกรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอะเซติกเข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร หรือ 1 ลิตร โดยมวลโมเลกุลของกรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอะเซติกเท่ากับ 292.24 g/mol

จากสูตร $\frac{g}{MW} = \frac{CV}{1,000}$

$$\frac{g}{292.24\text{ g/mol}} = \frac{0.05\text{ M} \times 1,000\text{ mL}}{1,000}$$
$$g = 14.612\text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายกรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอะเซติกเข้มข้น 0.05 M โดยชั่งกรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอะเซติก จำนวน 14.612 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับสารละลายให้ค่าพีเอช เท่ากับ 7 โดย 0.1 M NaOH และปรับปริมาตรจนถึงขีดในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร หรือ 1 ลิตร

ค.7 การเตรียมสารละลายกรดไดเอธิลีนไตรเอมีนเพนตระแอซิดิกเข้มข้น 0.005 M

เตรียมสารละลายกรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอะเซติกเข้มข้น 0.005 M ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร หรือ 1 ลิตร โดยมวลโมเลกุลของกรดไดเอธิลีนไตรเอมีนเพนตระแอซิดิกเท่ากับ 393.35 g/mol

จากสูตร $\frac{g}{MW} = \frac{CV}{1,000}$

$$\frac{g}{393.35\text{ g/mol}} = \frac{0.005\text{ M} \times 1,000\text{ mL}}{1,000}$$
$$g = 1.967\text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายกรดไดเอธิลีนไตรเอมีนเพนตระแอซิดิกเข้มข้น 0.005 M โดยชั่งกรดไดเอธิลีนไตรเอมีนเพนตระแอซิดิก จำนวน 1.967 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนถึงขีดในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร หรือ 1 ลิตร

ค.8 การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรต 1 M

เตรียมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรตเข้มข้น 1 M ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร หรือ 1 ลิตร โดยมวลโมเลกุลของแอมโมเนียมอะซิเตรตเท่ากับ 77.0825 g/mol

จากสูตร

$$\frac{g}{MW} = \frac{CV}{1,000}$$
$$\frac{g}{77.0825 \text{ g/mol}} = \frac{1 \text{ M} \times 1,000\text{mL}}{1,000}$$
$$g = 77.0825 \text{ g}$$

ดังนั้น การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรตเข้มข้น 1 M โดยชั่งแอมโมเนียมอะซิเตรต จำนวน 1.197 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนถึงขีดในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร หรือ 1 ลิตร



ภาคผนวก ง

ผลการทดลอง

ง.1 ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ

ตารางที่ ง.1 ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีเบื้องต้นของถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์
ค่าพีเอช	pH meter 1:5 (soil:water)	9.86
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter 1:5 (soil:water)	160.33 (mS/cm)
พื้นที่ผิว	Surface area and porosity analyzer	11.6797 m ² /g
ขนาดรูพรุน	Surface area and porosity analyzer	66.2770 A°
ปริมาตรรูพรุน	Surface area and porosity analyzer	0.019352 cm ³ /g
ปริมาณสารอินทรีย์ (%OM)	วิธีการ Walkley and Black	16.73 %
ความสามารถในการ แลกเปลี่ยนประจุ (CEC)	วิธีที่ทำให้ดินอิ่มตัว ด้วยแอมโมเนียมอะ ซิเตรท	18.61
ปริมาณไนโตรเจน ทั้งหมด	Kjeldahl method	0.07 %
การวิเคราะห์ โพแทสเซียมที่เป็น ประโยชน์ต่อพืช	ใช้น้ำยาสกัดโดย แอมโมเนียมอะ ซิเตรท	112.1 mg/L
การวิเคราะห์ ฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์ต่อพืช	ใช้สำหรับ Bray II เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า	66.85 mg/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่าการนำเอกสารนี้ไปใช้ในรูปแบบใดก็ตาม หากมีการดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.2 ความเข้มข้นแคดเมียมในชุดดินทดลอง

ตารางที่ ง.2 ค่าความเข้มข้นแคดเมียมของดินชุดทดลองก่อนและหลังการปลูกพืช

ชุดดินทดลอง	กระถางที่	ค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่วัดได้ (mg/kg)		$\bar{X}$	SD
		ก่อนการปลูก	หลังการปลูก		
ดินควบคุม	1	ND	ND	0.000	0.000
	2	ND	ND		
	3	ND	ND		
	4	ND	ND		
	5	ND	ND		
ดินปนเปื้อนแคดเมียม	1	45	38.442	42.134	2.522
	2		44.016		
	3		40.551		
	4		43.903		
	5		43.759		
ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่ บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจาก หญ้าเนเปียร์แคะ	1	45	20.039	16.852	3.181
	2		14.031		
	3		12.898		
	4		19.014		
	5		18.280		

*หมายเหตุ ND = Not detected

ง.3 ความเข้มข้นแคดเมียมในต้นดาวเรือง

ตารางที่ ง.3 ค่าความเข้มข้นแคดเมียมในต้นดาวเรืองหลังการปลูก

ชุดดินทดลอง	กระถางที่	ค่าที่วัดได้		
		ราก	ลำต้น	ใบ
ดินควบคุม	1	ND	ND	ND
	2	ND	ND	ND
	3	ND	ND	ND
	4	ND	ND	ND
	5	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อนแคดเมียม	1	ND	ND	ND
	2	ND	ND	ND
	3	ND	ND	ND
	4	ND	ND	ND
	5	ND	ND	ND
ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	1	ND	ND	ND
	2	ND	ND	ND
	3	ND	ND	ND
	4	ND	ND	ND
	5	ND	ND	ND

*หมายเหตุ ND = Not detected

ง.4 ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของชุดดินทดลอง

ตารางที่ ง.4 ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของชุดดินทดลองก่อนปลูกพืช

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/ เครื่องมือ	ชุดดินทดลอง	ผลการวิเคราะห์					$\bar{X}$	SD
			กระถางที่1	กระถางที่2	กระถางที่3	กระถางที่4	กระถางที่5		
ค่าพีเอช	pH meter 1:5 (soil:water)	ดินควบคุม	6.69	6.75	6.73	6.71	6.85	6.75	0.06
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	6.82	6.61	6.68	6.75	6.68	6.71	0.08
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	7.99	8.11	8.24	8.07	8.01	8.08	0.10
ค่าการนำ ไฟฟ้า (mS/cm)	Conductivity meter 1:5 (soil:water)	ดินควบคุม	1.36	1.33	1.56	1.58	1.70	1.51	0.16
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	1.25	1.50	1.28	1.33	1.52	1.38	0.13
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	4.22	4.74	4.71	4.29	4.37	4.47	0.24
ปริมาณ สารอินทรีย์ (%OM)	วิธี Walkley and Black	ดินควบคุม	29.79	29.80	29.54	30.16	29.65	29.79	0.23
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	26.38	26.05	25.54	25.42	25.72	25.82	0.39
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	42.06	41.88	41.79	42.43	41.64	41.96	0.30
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	24.87	25.18	25.34	25.45	25.41	25.25	0.24

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/ เครื่องมือ	ชุดดินทดลอง	ผลการวิเคราะห์					$\bar{X}$	SD
			กระถางที่1	กระถางที่2	กระถางที่3	กระถางที่4	กระถางที่5		
ความสามารถ ในการ แลกเปลี่ยน ประจุ (CEC)	วิธีที่ทำให้ดิน อิ่มตัวด้วย แอมโมเนียมอะ ซิเตรท	ดินควบคุม	10.40	10.54	11.32	11.51	10.24	10.80	0.57
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	10.98	10.87	9.95	10.50	10.12	10.48	0.45
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ	24.87	25.18	25.34	25.45	25.41	25.25	0.24
ปริมาณ แคดเมียม (mg/kg)	Atomic Absorption Spectropho meter	ดินควบคุม	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม							
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ	39.81	46.25	48.06	40.81	48.57	45	4.11
ร้อยละ ปริมาณ ไนโตรเจน ทั้งหมด	Kjeldahl method	ดินควบคุม	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.01
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	0.13	0.13	0.12	0.12	0.14	0.13	0.01
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ	0.16	0.17	0.19	0.17	0.18	0.17	0.01

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/ เครื่องมือ	ชุดดินทดลอง	ผลการวิเคราะห์					$\bar{X}$	SD
			กระถางที่1	กระถางที่2	กระถางที่3	กระถางที่4	กระถางที่5		
การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/L)	ใช้น้ำยาสกัดโดยแอมโมเนียมอะซิเตรท	ดินควบคุม	27.05	28.08	27.03	27.43	26.91	27.30	0.48
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	26.38	26.12	26.26	26.58	27.14	26.50	0.40
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ	90.54	87.66	89.47	90.36	87.99	89.20	1.33
การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/kg)	น้ำยา Bray II	ดินควบคุม	30.42	30.29	31.47	31.70	30.88	30.95	0.62
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	28.41	30.09	30.30	29.61	30.11	29.70	0.77
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ	38.15	38.52	38.84	38.17	38.10	38.36	0.32

*หมายเหตุ ND = Not detected

ตารางที่ ง.5 ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้นของชุดดินทดลองหลังปลูกพืช

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/ เครื่องมือ	ชุดดินทดลอง	ผลการวิเคราะห์					$\bar{X}$	SD
			กระถางที่1	กระถางที่2	กระถางที่3	กระถางที่4	กระถางที่5		
ค่าพีเอช	pH meter 1:5 (soil:water)	ดินควบคุม	6.72	6.83	6.84	6.75	6.98	6.82	0.10
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	7.01	6.81	6.81	6.93	6.82	6.88	0.09
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	8.15	8.37	8.52	8.46	8.14	8.33	0.18
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	Conductivity meter 1:5 (soil:water)	ดินควบคุม	1.25	1.23	1.33	1.34	1.50	1.33	0.11
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	1.07	1.36	1.05	1.12	1.32	1.18	0.15
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	3.61	3.94	3.90	3.63	3.73	3.76	0.15
ปริมาณสารอินทรีย์ (%OM)	วิธี Walkley and Black	ดินควบคุม	25.83	25.94	25.99	26.59	25.61	25.99	0.36
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	22.96	22.82	21.85	21.81	21.92	22.27	0.57
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	39.54	38.52	38.41	39.51	38.47	38.89	0.58

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/ เครื่องมือ	ชุดดินทดลอง	ผลการวิเคราะห์					$\bar{X}$	SD
			กระถางที่1	กระถางที่2	กระถางที่3	กระถางที่4	กระถางที่5		
ความสามารถ ในการ แลกเปลี่ยน ประจุ (CEC)	วิธีที่ทำให้ดิน อิ่มตัวด้วย แอมโมเนียม อะซิเตรท	ดินควบคุม	2.62	2.70	3.51	3.54	2.66	3.01	0.47
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	3.48	3.45	2.53	2.63	2.44	2.91	0.51
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	23.12	24.51	24.37	24.39	24.45	24.17	0.59
ปริมาณ แคดเมียม (mg/kg)	Atomic Absorption Spectrophotometer	ดินควบคุม	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	38.442	44.016	40.551	43.903	43.759	42.13	2.52
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	20.039	14.031	12.898	19.014	18.280	16.85	3.18
ร้อยละ ปริมาณ ไนโตรเจน ทั้งหมด	Kjeldahl method	ดินควบคุม	0.02	0.05	0.05	0.03	0.02	0.03	0.02
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05	0.03	0.01
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วย ถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	0.14	0.15	0.17	0.15	0.16	0.15	0.01

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/ เครื่องมือ	ชุดดินทดลอง	ผลการวิเคราะห์					$\bar{x}$	SD
			กระถางที่1	กระถางที่2	กระถางที่3	กระถางที่4	กระถางที่5		
การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/L)	ใช้น้ำยาสกัดโดยแอมโมเนียมอะซิเตรท	ดินควบคุม	23.28	25.07	23.30	23.08	24.79	23.90	0.95
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	22.90	22.79	23.01	22.87	23.94	23.10	0.48
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ	88.86	86.72	87.45	88.91	86.56	87.70	1.13
การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (mg/kg)	น้ำยา Bray II	ดินควบคุม	28.13	27.95	29.88	29.80	28.23	28.80	0.96
		ดินปนเปื้อนแคดเมียม	26.07	27.26	27.56	26.24	27.39	26.90	0.69
		ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคะ	36.84	37.09	36.97	37.06	37.15	37.02	0.12

*หมายเหตุ ND = Not detected

ง.5 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองในชุดดินทดลอง

ตารางที่ ง.6 ค่าการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองในชุดดินทดลอง

ส่วนของพืช	ชุดดินทดลอง	สัปดาห์ที่	ค่าที่วัดได้					เฉลี่ย	SD
			กระถางที่1	กระถางที่2	กระถางที่3	กระถางที่4	กระถางที่5		
ความยาวราก (cm)	ดินควบคุม	1	2.70	2.80	2.80	2.80	2.90	2.80	0.07
		4	10.20	10.30	10.30	10.30	10.40	10.30	0.07
	ดินปนเปื้อนแคดเมียม	1	2.5	2.6	2.7	2.7	2.5	2.60	0.10
		4	9.9	10.1	10.4	10.3	9.8	10.10	0.25
	ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์แคระ	1	2.80	2.70	2.80	2.80	2.90	2.80	0.07
		4	ND	ND	ND	ND	ND	0.00	0.00

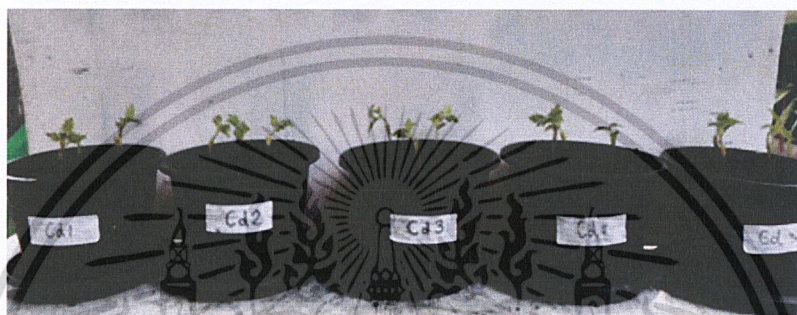
ส่วนของ พืช	ชุดดินทดลอง	สัปดาห์ที่	ค่าที่วัดได้					เฉลี่ย	SD
			กระถางที่1	กระถางที่2	กระถางที่3	กระถางที่4	กระถางที่5		
ความสูง ลำต้น (cm)	ดินควบคุม	1	6.00	5.70	6.10	6.00	6.20	6.00	0.19
		2	6.90	6.60	6.90	6.80	7.30	6.90	0.25
		3	8.00	7.50	7.90	8.00	8.60	8.00	0.39
		4	9.10	8.60	9.00	9.30	10.00	9.20	0.51
	ดินปนปุ๋ยคอกเค็ม	1	6.10	6.00	6.10	5.90	5.90	6.00	0.10
		2	7.00	6.70	6.90	6.60	6.80	6.80	0.16
		3	8.30	7.60	7.90	7.70	8.00	7.90	0.27
		4	9.50	8.90	9.20	9.00	9.40	9.20	0.25
	ดินปนปุ๋ยคอกเค็มที่ บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจาก หญ้าเนเปียร์แคระ	1	5.70	5.90	6.00	6.30	6.10	6.00	0.22
		2	ND	ND	ND	ND	ND	0.00	0.00
		3	ND	ND	ND	ND	ND	0.00	0.00
		4	ND	ND	ND	ND	ND	0.00	0.00

ส่วนของพืช	ชุดดินทดลอง	สัปดาห์ที่	ค่าที่วัดได้					$\bar{x}$	SD
			กระถางที่1	กระถางที่2	กระถางที่3	กระถางที่4	กระถางที่5		
จำนวนใบ (ใบ)	ดินควบคุม	1	35	38	30	33	29	33	3.67
		2	47	50	44	47	42	46	3.08
		3	56	59	51	55	49	54	4.00
		4	70	72	63	69	61	67	4.74
	ดินปนเปื้อนแคดเมียม	1	30	32	29	30	29	30	1.22
		2	45	48	40	46	41	44	3.39
		3	57	58	49	56	50	54	4.18
		4	68	70	65	63	59	65	4.30
	ดินปนเปื้อนแคดเมียมที่ บำบัดด้วยถ่านชีวภาพจาก หญ้าเนเปียร์แคระ	1	32	35	31	29	28	31	2.74
		2	ND	ND	ND	ND	ND	0.00	0.00
		3	ND	ND	ND	ND	ND	0.00	0.00
		4	ND	ND	ND	ND	ND	0.00	0.00

*หมายเหตุ ND = Not detected



รูปที่ ง.1 ต้นดาวเรืองในชุดดินควบคุมสัปดาห์ที่ 1



รูปที่ ง.2 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมสัปดาห์ที่ 1



รูปที่ ง.3 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพ
จากหญ้าเนเปียร์แคะสัปดาห์ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.4 ต้นดาวเรืองในชุดดินควบคุมสัปดาห์ที่ 2



รูปที่ ง.5 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมสัปดาห์ที่ 2



รูปที่ ง.6 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพ
จากหญ้าเนเปียร์แคะสัปดาห์ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗.๗ ต้นดาวเรืองในชุดดินควบคุมสัปดาห์ที่ 3



รูปที่ ๗.๘ ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมสัปดาห์ที่ 3



รูปที่ ๗.๙ ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพ
จากหญ้าเนเปียร์แคะสัปดาห์ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.10 ต้นดาวเรืองในชุดดินควบคุมสัปดาห์ที่ 4



รูปที่ ง.11 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมสัปดาห์ที่ 4



รูปที่ ง.12 ต้นดาวเรืองในชุดดินปนเปื้อนแคดเมียมที่บำบัดด้วยถ่านชีวภาพ
จากหญ้าเนเปียร์แคะสัปดาห์ที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้