การศึกษาความสามารถในการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก เพื่อแก้ไขปัญหาดินปนเปื้อนแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี

THE ABILITY STUDY OF USING COMPOST AND MANURE AS AMENDMENTS FOR THE REMEDIATION OF CADMIUN, LEAD AND ZINC CONTAMINATED SOIL

นายเจษฎา สุภรณ์ไพจิต

นายธนาวัฒน์ คำชื่น

นายธัญญพัทธ์ จันทร์กิตติชัย

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

การศึกษาความสามารถในการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก เพื่อแก้ไขปัญหาดินปนเปื้อนแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี

THE ABILITY STUDY OF USING COMPOST AND MANURE AS AMENDMENTS FOR THE REMEDIATION OF CADMIUN, LEAD AND ZINC CONTAMINATED SOIL

นายเจษฎา สุภรณ์ไพจิต

นายธนาวัฒน์ คำชื่น

นายธัญญพัทธ์ จันทร์กิตติชัย

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE ABILITY STUDY OF USING COMPOST AND MANURE AS AMENDMENTS FOR THE REMEDIATION OF CADMIUN, LEAD AND ZINC CONTAMINATED SOIL

MR.JESADA SUPORNPAIJIT

MR.THANAWAT COMECHUN

MR.TANYAPHAT CHUNKITTICHAI

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาความสามารถในการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก เพื่อแก้ไขปัญหาดินปนเปื้อนแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี

The Ability Study of Using Compost and Manure as Amendments for the Remediation of Cadmiun, Lead and Zinc Contaminated Soil

ชื่อนักศึกษา นายเจษฎา สุภรณ์ไพจิต รหัสนักศึกษา 55050900

นายธนาวัฒน์ คำชื่น รหัสนักศึกษา 55050925

นายธัญญพัทธ์ จันทร์กิตติชัย รหัสนักศึกษา 55050929

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ปัทมา ลีฬหาวงศ์ ประธานกรรมการ	
อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาความสามารถในการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก เพื่อแก้ไขปัญหาดินปนเปื้อนแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี			
ชื่อนักศึกษา	นายเจษฎา	สุภรณ์ไพจิต	รหัสนักศึกษา	55050900
	นายธนาวัฒน์	คำชื่น	รหัสนักศึกษา	55050925
	นายธัญญพัทธ์	จันทร์กิตติชัย	รหัสนักศึกษา	55050929
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)			
ภาควิชา	เคมี			
ปีการศึกษา	2558			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์			

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก เพื่อแก้ไขปัญหาดินปนเปื้อนแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี การสะเทินด้วยกรดและไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

จากผลการศึกษาพบว่า คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกจะเป็นตัวดูดซับโลหะหนักที่ดี ปุ๋ยคอกจะมีค่าความสามารถในการสะเทินกรดมากกว่าปุ๋ยหมักซึ่งมีค่าความสามารถในการสะเทินกรดเท่ากับ 1,440 meq/kg และ 480 meq/kg ตามลำดับ และ ในการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก อาจจะมีการดูดซับเป็นไปได้ 2 แบบ คือ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ส่วนการดูดซับตะกั่วและสังกะสีในปุ๋ยหมักจะมีการดูดซับเป็นไปตาม Langmuir Isotherm ส่วนปุ๋ยคอกมีการดูดซับเป็นไปตาม Freundlich Isotherm

คำสำคัญ : การดูดซับ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	THE ABILITY STUDY OF USING COMPOST AND MANURE AS AMENDMENTS FOR THE REMEDIATION OF CADMIUN, LEAD AND ZINC CONTAMINATED SOIL
Students	Mr.Jesada Supornpaijit Studen ID 55050900
	Mr.Thanawat Comechun Studen ID 55050925
	Mr.Tanyaphat Chunkittichai Studen ID 55050929
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Academic Year	2015
Advisor	Asst.Prof.Dr. Chompoonut Chaiyaraksa

Abstract

The study of this special project is on the ability of using compost and manure to solve the problem of cadmium, lead and zinc contaminated soil.

The chemical characteristic, acid neutralisation capability and adsorption isotherm of the compost and manure were examined. It was found from the characterisation process that compost and manure could be good materials to adsorb metal. Manure had higher neutralisation capability than compost. The acid neutralisation capability (ANC) of manure and compost were 1,440 meq/kg and 480 meq/kg, respectively. Be using both compost and manure, Freundlish and Langmuir isotherm were both suitable isotherm to explain the adsorption of cadmium. Whereas Langmuir isotherm was better to explain the adsorption of lead and zinc by manure. Freundlish isotherm was a suitable isotherm for adsorption of lead and zinc by compost.

Keywords : adsorption, compost, manure, cadmium, lead and zinc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี สืบเนื่องจากความช่วยเหลือและความกรุณาของทุกๆท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่กรุณาติดตามตรวจสอบ ดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด และให้คำปรึกษา ติชม จนผลงานสำเร็จลุล่วงได้ในที่สุด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ปัทมา ลีพหาวงศ์ และ อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบโครงงานพิเศษ ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน อีกทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีและเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมีทุกท่าน รวมถึงนักศึกษาปริญญาโทภาคเคมี และเพื่อนๆ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่อโครงงานพิเศษนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำมีความสำนึกในพระคุณของทุกๆท่านและถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณทุกๆท่านที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด ตลอดจนความตั้งใจที่มีให้กับโครงงานพิเศษนี้ ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นายเจษฎา สุภรณ์ไพจิต
นายธนาวัฒน์ คำชื่น
นายธัญญพัทธ์ จันทร์กิตติชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โลหะหนัก	4
2.1.1 แคดเมียม	4
2.1.2 ตะกั่ว	7
2.1.3 สังกะสี	10
2.2 การแพร่กระจายของโลหะหนัก	12
2.3 หลักของการดูดซับ	13
2.3.1 การดูดซับทางกายภาพ	13
2.3.2 การดูดซับทางเคมี	13
2.3.3 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน	13
2.3.4 การดูดซับแบบจำเพาะ	13
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	14
2.4.1 ปริมาณของตัวดูดซับ	14
2.4.2 อุณหภูมิในระบบที่เกิดการดูดซับ	14
2.4.3 pH ของสารละลาย	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.4 เวลาที่สารละลายได้สัมผัสกับตัวดูดซับ	14
2.4.5 ชนิดของตัวทำละลาย	14
2.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ	15
2.5.1 ไอโซเทอร์มของ Langmuir	15
2.5.2 ไอโซเทอร์มของ Freundlich	16
2.6 เทคโนโลยีการบำบัดดิน	17
2.6.1 Monitored Natural Attenuation	17
2.6.2 การขุดหรือตักดินไปฟื้นฟู	17
2.6.3 การปิดคลุม	17
2.6.4 การเปลี่ยนรูปให้เป็นของแข็งและการปรับเสถียร	18
2.6.5 การล้างดิน	19
2.6.6 จลนศาสตร์ไฟฟ้า	19
2.6.7 การสร้างกำแพงกั้น	20
2.6.8 การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้พืช	21
2.7 ปุ๋ยอินทรีย์	21
2.7.1 ปุ๋ยหมัก	22
2.7.2 ปุ๋ยคอก	27
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	64
ภาคผนวก ค	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกชนิดต่างๆ	27
3.1 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก	35
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การขุดหรือตักดินไปฟื้นฟู	17
2.2	การปิดคลุมและทำกำแพงกั้น	18
2.3	การทำกำแพงกั้นและป้องกันการซึมด้านล่าง	20
3.1	ปุ่ยหมัก	33
3.2	ปุ่ยคอก	34
4.1	การแสดงการสะเทินด้วยกรดของปุ่ยหมัก	40
4.2	การแสดงการสะเทินด้วยกรดของปุ่ยคอก	40
4.3	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ่ยหมักโดยใช้ Langmuir Isotherm	42
4.4	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ่ยหมักโดยใช้ Freundlich Isotherm	42
4.5	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ่ยหมักโดยใช้ Langmuir Isotherm	44
4.6	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ่ยหมักโดยใช้ Freundlich Isotherm	44
4.7	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ่ยหมักโดยใช้ Langmuir Isotherm	45
4.8	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ่ยหมักโดยใช้ Freundlich Isotherm	45
4.9	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ่ยคอกโดยใช้ Langmuir Isotherm	46
4.10	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ่ยคอกโดยใช้ Freundlich Isotherm	46
4.11	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ่ยคอกโดยใช้ Langmuir Isotherm	48
4.12	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ่ยคอกโดยใช้ Freundlich Isotherm	48
4.13	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ่ยคอกโดยใช้ Langmuir Isotherm	49
4.14	ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ่ยคอกโดยใช้ Freundlich Isotherm	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มลพิษของดิน หมายถึง สภาพการปนเปื้อนของดินด้วยสารมลพิษ (Soil Pollutant) ที่มากเกินขีดจำกัดจนมีอันตรายต่อสุขภาพอนามัย ตลอดจนการเจริญเติบโตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ (ศุภมาศ, 2539) โดยส่วนใหญ่สารที่เป็นมลพิษต่อดินจะเป็นสารจำพวกโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี เป็นต้น ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ต่างๆสำหรับใช้ในการอุปโภคและบริโภคของมนุษย์ได้ แต่ถ้ามีการจัดการที่ไม่ดีหรือมีการจัดการอย่างรู้เท่าไม่ถึงการณ์ก็จะทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินในด้านการเพาะปลูกลดลงและทำให้มีความเป็นพิษเพิ่มมากขึ้น เช่น การใช้น้ำมันที่มีสารตะกั่วจะทำให้ละอองผงตะกั่วจากไอเสียรถยนต์ไปสะสมในหน้าดินได้ การฝังกลบแบตเตอรี่ด้วยวิธีการที่ไม่ถูกต้องจะทำให้มีโลหะหนักแคดเมียมปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน การใช้สังกะสีเป็นสารคลุกเมล็ดฆ่าเชื้อรา เมื่อมีการนำไปเพาะปลูกจะทำให้มีการสะสมของสังกะสีในดินและมีการสะสมสังกะสีอยู่ในต้นพืชอีกด้วย

เมื่อดินมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก จะทำให้ดินเป็นมลพิษ จึงทำให้ไม่สามารถนำดินมาใช้ประโยชน์ในด้านการเพาะปลูกได้เนื่องจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดินจะถูกพืชทางการเกษตรกรรมดูดซึมขึ้นไปสะสมอยู่ในส่วนต่างๆของพืช เมื่อมีการนำพืชที่มีโลหะหนักปนเปื้อนมาบริโภคก็จะทำให้ร่างกายของมนุษย์นั้นได้รับสารโลหะหนักเข้าไปด้วย ซึ่งในประเทศไทยก็เคยมีกรณีศึกษามาแล้ว คือ กรณีข้าวปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียมในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) ซึ่งเหตุการณ์นี้ส่งผลกระทบต่อวิถีการดำเนินชีวิต เศรษฐกิจและสุขภาพของประชาชนเป็นอย่างมาก โดยโลหะหนักแต่ละชนิดจะแสดงความเป็นพิษที่แตกต่างกันออกไปถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินกว่าที่ร่างกายจะรับได้ คือ แคดเมียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมในกระเพาะอาหาร แล้วแพร่กระจายไปที่ตับ ม้ามและลำไส้ และสะสมเพิ่มขึ้นในปริมาณสูงจะทำให้เกิดมะเร็ง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ปวดกระดูกสันหลัง ปวดแขนปวดขาและทำให้ไตพิการได้ ซึ่งโรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียม เรียกว่า โรคอิไต-อิไต (Itai Itai Disease) ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเข้าไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในการสร้างเม็ดเลือดแดงที่ไขกระดูก ส่งผลทำให้เม็ดเลือดแดงผิดปกติและแตกง่าย ทำให้เนื้อสมองบวม ยับยั้งการทำงานของสารเคมีในสมองและทำลายเยื่อหุ้มปลายประสาท ทำให้ไตทำงานผิดปกติ อาจมีอาการชัก เดินเซ ควบคุมการทรงตัวไม่ได้ ส่วนสังกะสี เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ และอาการท้องร่วงได้ (ภิญโญและคณะ, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มลพิษทางดินซึ่งเกิดจากปนเปื้อนของโลหะหนัก สามารถทำการบำบัดได้หลายวิธีการ เช่น การชะหน้าดิน การแข็งตัว การใช้กระแสไฟฟ้าและการขุดดิน นอกเหนือจากการเจือจางความเข้มข้นของมลพิษด้วยวิธีการเหล่านี้แล้ว ยังสามารถลดปริมาณมลพิษให้ลดลงได้โดยกระบวนการการดูดซับ กระบวนการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี กระบวนการแยกโดยใช้เมมเบรน กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น โดยตัวดูดซับนั้นสามารถนำมาใช้ฟื้นฟูดินได้ เช่น ปุ๋ยหมักจากของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารและปุ๋ยคอกจากมูลสัตว์ต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้ฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักได้ (Venegas *et al.*, 2015) โดยปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก จัดว่าเป็นปุ๋ยที่ดีมีประโยชน์อย่างมากในเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินแถมยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมไม่ทำลายระบบนิเวศน์ จุลินทรีย์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตอีกหลายชนิด และยังทำหน้าที่เป็นทั้งอาหารและที่อยู่อาศัยให้กับสิ่งมีชีวิตเล็กๆที่อาศัยอยู่ในดิน เนื่องจากองค์ประกอบของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกประกอบไปด้วยอินทรียวัตถุ คาร์บอน โปรตีนและกรดอะมิโนมากมายหลายชนิดซึ่งทำหน้าที่ปรับปรุงบำรุงรักษาโครงสร้างของดินให้มีความอุดมสมบูรณ์รักษาความสมดุลของสภาพความเป็นกลางไม่ให้เกิดความเป็นกรดหรือด่างจัดรวดเร็วเกินไป

โดยจากงานวิจัยของ Venegas และคณะได้ทำการดูดซับโลหะหนักชนิดต่างๆด้วยปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้ ซึ่งผลลัพธ์ของการทดลองได้พิสูจน์ว่า ปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้สามารถดูดซับโลหะหนักได้จริง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความสามารถการนำเอาปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดินปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกสามารถช่วยชะลอการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีให้เข้าสู่ต้นพืชได้ ทำให้เกษตรกรสามารถนำต้นพืชมาบริโภคได้อย่างปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษา Neutralisation capacity
2) เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี โดยใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกซึ่งมีขายทั่วไปตามท้องตลาด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก ได้แก่ pH, %Moisture content, CEC, %LOI, %TOC, %C, %DOC, HA, EC, %N, C/N ratio, Ca, Mg, K, P, Al, NO_3^-, Cl^-, Cd, Pb, Zn
2) ศึกษา Neutralisation capacity ของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกโดยใช้วิธี pH titration test
3) ศึกษา Isotherm ในการดูดซับแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี ของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถรักษาคุณค่าของดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี ให้ยังคงสามารถใช้ประโยชน์ในด้านการเพาะปลูกต่อไปได้

2) สามารถนำเอาปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกซึ่งมีขายทั่วไปตามท้องตลาดนำมาใช้ในการลดปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีของพืชที่ปลูกในดินปนเปื้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โลหะหนัก (พวงทอง, 2555)

โลหะหนัก (Heavy metal) หมายถึง โลหะที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) สูงตั้งแต่ 5 ขึ้นไป นอกจากนี้ในทางการแพทย์ยังหมายรวมถึงโลหะที่เป็นพิษต่อร่างกาย เช่น ตะกั่ว ปรอท แมงกานีส สังกะสี ทองแดง นิกเกิลและแคดเมียม คนมักได้รับพิษจากโลหะหนักจากที่ปนเปื้อน เช่น ในดิน แหล่งน้ำ การอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ของใช้ในบ้าน สีทาบ้าน อุปกรณ์ก่อสร้าง อาหาร หรือยาบางชนิด (เช่น ยารักษาโรคผิวหนังบางชนิด) จากการกิน ดื่ม สัมผัส และทางการหายใจ ทั้งนี้อาการพิษของโลหะหนักจะคล้ายคลึงกัน เช่น คลื่นไส้ อาเจียน มีปัญหาด้านความจำ สติปัญญา มีผลต่อการเจริญเติบโตของเด็ก คลื่นไส้ อาเจียนเรื้อรัง ปวดศีรษะเรื้อรัง ปวดท้องเรื้อรัง ท้องเสียเรื่อรัง อาจจะมีปัญหาทางการเห็นภาพหรือทางการได้ยิน แพทย์สามารถวินิจฉัยภาวะพิษจากโลหะหนักได้จากประวัติการบริโภคและการสัมผัสโลหะหนักรวมถึงจากการสูดดม โดยที่จะมีการสังเกตอาการผู้ป่วยและการตรวจปริมาณสารโลหะหนักในเลือด เส้นผมและในปัสสาวะ

2.1.1 แคดเมียม (เขมชิตและคณะ, 2551)

แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบาอ่อน ดัดโค้งได้ง่ายและทนต่อการกัดกร่อนมีความถ่วงจำเพาะ 8.65 ที่ 20 องศาเซลเซียส ค่า Mohs hardness 2.0 จุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส ดังนั้น เมื่อมีการใช้ความร้อนสูง เช่น การอบแร่ การบัดกรี การหลอมเหล็กและการเผาของเสีย ซึ่งจะทำให้มีไอของแคดเมียมออกมาได้ในระหว่างกระบวนการที่มีการให้ความร้อนและไอของแคดเมียมในบรรยากาศ จะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็วไปเป็นสารแคดเมียมออกไซด์ (CdO) นอกจากนี้ แคดเมียมยังเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในกรดไนทริกและกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง ซึ่งจะทำให้เป็นอันตรายต่อคนแบบเฉียบพลันเมื่อบริโภคเข้าไป โดยทั่วไปจะไม่ค่อยพบแคดเมียมในรูปของแคดเมียมบริสุทธิ์แต่มักจะพบในรูปของสารประกอบของเกลือ เช่น cadmium sulfate, cadmium nitrate, cadmium chloride ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลายได้ดีในน้ำและแคดเมียมยังสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับ cyanides และ amines

ประโยชน์ของแคดเมียม

แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆและสินค้าอุปโภค ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอยด์ (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและความทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น

1.1 อัลลอยด์ของทองแดงที่มีแคดเมียม 1% (cadmium bronze) ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขและโทรศัพท์

1.2 อัลลอยด์ของทองแดงและตะกั่วซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่ 20% ใช้ในการผลิตแบบพิมพ์ (printing plates)

1.3 อัลลอยด์ของทองแดง แคดเมียมและเซอร์โคเนียม ใช้ในอุปกรณ์การสื่อสารต่างๆที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ทั้งนี้เพราะโลหะผสมประเภทนี้จะมีความแข็งและมีแรงดึงได้สูงกว่าโลหะผสมของทองแดงกับแคดเมียม

1.4 แคดเมียมใช้ผสมกับโลหะอื่นในอุตสาหกรรมเพชรพลอยและเครื่องประดับอัญมณีต่างๆ

1.5 ใช้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูงๆในการผสมกับโลหะอื่นเพื่อให้มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำ เช่น cadmium arsenide, cadmium antimonide และ cadmium telluride

2. ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็กทองแดงอะลูมิเนียม ทำโดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ วิทยุ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

3. ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมสารประกอบแคดเมียมซัลไฟด์และแคดเมียมซัลโฟซีลไนต์ ใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีอินาเมล เซรามิก ยาง แก้ว ผ้าเส้นใยหนัง หมึกพิมพ์และพลาสติก

4. ใช้ผลิตแบตเตอรี่โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเป็น Cd – Ni battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟลชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด นาฬิกาและวิทยุเล็กๆ เป็นต้น

5. ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องทนความร้อน เช่น ทำหม้อน้ำรถยนต์ อุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆที่ต้องระบายความร้อนมากๆ

6. ใช้ในกิจการอื่นๆเช่น

6.1 ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อราที่ใช้ในกิจการเกษตร

6.2 ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณูเป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียร์

6.3 ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์

6.4 ใช้ในการถ่ายรูป

6.5 สารประกอบแคดเมียมบางชนิดใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของพลาสติก

ความเป็นพิษของแคดเมียม

จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภค ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศและในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัวคนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจจะติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร ซึ่งแคดเมียมอาจละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่มและได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่หรือบริเวณที่เป็นเหมืองทำแร่สังกะสี ซึ่งมักมีแคดเมียมปนอยู่จากการสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบและการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศเป็นเวลานานๆ จะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเราได้อีกด้วย ในร่างกายจะปริมาณแคดเมียมทั้งหมดอยู่ครึ่งหนึ่งที่จะไปสะสมอยู่ที่ตับและไต ทำให้เกิดพิษสะสมได้ในคน การขับแคดเมียมที่ร่างกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้ามากเพราะวงจรครึ่งชีวิตของแคดเมียมในคนใช้เวลาประมาณ 16 - 33 ปี โดยความเป็นพิษของแคดเมียมแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1. ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

1.1 ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกินซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่ม ที่มีแคดเมียมปนเปื้อนหรือบรรจุในภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม อาการที่ปรากฏเริ่มแรก คือ รู้สึกคลื่นเหียนอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริวและน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจเกิดอาการช็อค เนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้

1.2 ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ การสูดหายใจเอาไอของแคดเมียมเข้าไปจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอและยังทำให้เกิดอาการไอเวียนศีรษะอ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้เ จ็บหน้าอก

2. ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

ความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดกับคนส่วนใหญ่ มักเป็นแบบชนิดเรื้อรังซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปเป็นเวลานานติดต่อกัน ได้แก่

2.1 ความเป็นพิษต่อปอดในคนที่หายใจเอาฝุ่นหรือไอ (fume) ของแคดเมียมเข้าไปติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดอาการบวมหรือพองของเนื้อเยื่อปอด ประสิทธิภาพในการระบายลมของปอดจะลดลง ทำให้อากาศอยู่ภายในปอดนานกว่าปกติ มีอาการหายใจขัดหรือหายใจไม่ออก นอกจากนี้ยังพบว่า แคดเมียมทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองและมีพังผืดในปอดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง เนื่องจาก แคดเมียมจะเป็นตัวไปขัดขวางการสร้าง antitrypsin ซึ่งเป็นตัวควบคุม trypsin ในร่างกายคนซึ่งสาร trypsin นี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองได้

2.2 ความเป็นพิษต่อไต ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกันจะพบความเป็นพิษที่ไตก่อนที่ปอดจะเกิดแผล ที่ไตพิษต่อไตจะปรากฏโดยผู้ป่วยมีอาการของโปรตีนยูเรียคือไตจะมีการขับปัสสาวะที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ ซึ่งโปรตีนที่ขับออกมาส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยชนิดของโปรตีนที่ถูกขับออกมาจะเป็นตัวบอกให้รู้ว่าไตส่วนใดถูกทำลาย เช่น ถ้าโปรตีนขนาดใหญ่ถูกขับออกมาแสดงว่าโกลเมอรูรัสถูกทำลาย แต่ถ้าเป็นโปรตีนขนาดเล็กถูกขับออกมา แสดงว่า ส่วนของทิบูลถูกทำลายนอกจากโปรตีนแล้วยังอาจมีสารอื่นๆถูกขับออกมากผิดปกติด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความเป็นพิษที่กระดูกที่ปรากฏเด่นชัด ในกรณีการเกิดโรคอิไตอิไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูกผุ คือ กระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้จะทำให้กระดูกเสียรูปทรง แตกร้าว และหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง

2.4 ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดโลหิตจะทำให้เกิดความดันโลหิตสูง เป็นสาเหตุให้เกิดโรคหัวใจ หัวใจเต้นผิดปกติในกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรคอิไตอิไตและกลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับแคดเมียมจะพบอาการของโรคโลหิตจางด้วย

2.5 ความเป็นพิษต่อตับ มีรายงานค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับความเป็นพิษต่อตับในคนแต่จากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่าแคดเมียมในปริมาณน้อย (ในน้ำดื่ม 1 ppm) มีผลทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ในตับเปลี่ยนไป

2.6 จากการทดลองในสัตว์ทดลอง จะพบว่าแคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่อยู่ลึก เช่น กล้ามเนื้อและกระดูกในหนูทดลอง

2.1.2 ตะกั่ว (ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2555)

ตะกั่วเป็นโลหะอ่อน สีเทาเงินหรือแกมน้ำเงิน มีจุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส แต่ในการเชื่อมบัดกรี ใช้ผสมกับดีบุก ทำให้จุดหลอมเหลวลดลงเหลือ 200 องศาเซลเซียส พบได้ทั่วไปทั้งในดิน หิน น้ำ พืช และอากาศ โดยเฉลี่ยในหินจะมีตะกั่วอยู่ 13 มิลลิกรัมต่อหิน 1 กิโลกรัมเช่น ในหินอัคนีพบประมาณ 10 - 20 พีพีเอ็ม ในหินตะกอนพบประมาณ 10 - 70 พีพีเอ็ม แร่ที่มีตะกั่วผสมอยู่ คือ แร่กาลีนา แร่เซอรัสไซท์ และแร่อะไนลีไซท์ ในดินพบคล้ายในหิน คือ ประมาณ 5 - 25 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัมในน้ำ โดยเฉพาะน้ำบาดาล พบในอนุภาคขนาดเล็ก ประมาณ 1 - 60 พีพีเอ็ม ในทะเลสาบและแม่น้ำ พบประมาณ 1 - 10 พีพีเอ็ม แต่ในน้ำทะเลพบตะกั่วน้อยกว่าน้ำจืด โดยพบ 0.08 - 0.04 พีพีเอ็ม ในอากาศบริเวณห่างไกลชุมชนพบประมาณ 0.0006 ไมโครกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร แต่บริเวณชุมชนพบมากถึง 0.001 ไมโครกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ในพืชโดยทั่วไปพืชขนาดใหญ่ พบประมาณ 1.0 พีพีเอ็ม (ของเนื้อไม้แห้ง) ในพืชผัก พบประมาณ 0.1 - 1.0 พีพีเอ็ม (พืชแห้ง)

ประโยชน์ของตะกั่ว

โลหะตะกั่วเป็นมีคุณสมบัติเด่น คือ มีหลอมเหลวต่ำ มีความหนาแน่นสูง มีความอ่อนตัวสูง ความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ต่ำ มีคุณสมบัติหล่อลื่นและต้านทานการกัดกร่อนได้ดี การใช้ประโยชน์ของตะกั่วส่วนใหญ่ จะใช้ในอุตสาหกรรมทำแบตเตอรี่รถยนต์ ใช้ทำฉากกั้นเพื่อป้องกันรังสีต่างๆ เช่น รังสีเอ็กซ์ รังสีเบต้า รังสีแกมมา เป็นต้น ใช้เป็นสารประกอบตะกั่วสำหรับผสมทำสี ใช้ทำลูกกระสุนและยุทธภัณฑ์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นธาตุผสมกับโลหะทองแดงและเหล็ก เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการกลึงหรือตัด ซึ่งการนำตะกั่วไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งสภาพโลหะและสารเคมีที่สำคัญ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบตเตอรี่

โลหะตะกั่วใช้มากที่สุดในการผลิตแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบด้วย แผ่นขั้วและห่วงยึดแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์จะมีตะกั่วประมาณ 9 - 12 กิโลกรัม

2. เปลือกเคเบิล

ใช้ตะกั่วหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าและสื่อสารที่อยู่ใต้ดินและใต้น้ำ เพื่อป้องกันความเสียหายจากความชื้น และการกัดแทะของหนู ซึ่งช่วยให้ไม่เกิดการขัดข้องในระบบไฟฟ้าและการสื่อสาร

3. ตะกั่วแผ่น

เนื่องจากตะกั่วมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน จึงใช้ตะกั่วแผ่นเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในอุตสาหกรรมเคมี และการก่อสร้างอาคาร แผ่นกั้นรังสีต่างๆ รวมทั้งการใช้ตะกั่วแผ่นร่วมกับแอสเบสทอสและเหล็กสำหรับปูใต้ฐานตึก เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนและควบคุมเสียงสำหรับรถไฟใต้ดิน

4. ท่อตะกั่ว

เนื่องตะกั่วมีคุณสมบัติต้านการกัดกร่อน ดัดงอง่าย และแปรรูปด้วยการอัดรีดง่าย จึงใช้ทำท่อไร้ตะเข็บสำหรับอุตสาหกรรมเคมีและระบบท่อส่งน้ำ

5. โลหะบัดกรี

จากคุณสมบัติจุดหลอมเหลวต่ำและราคาถูก จึงใช้เจือกับดีบุกเป็นโลหะบัดกรี (อัตราส่วนดีบุกต่อตะกั่ว 60 - 40 หรือ 70 - 30) เพื่อเชื่อมชิ้นงานโลหะให้ติดกัน โลหะบัดกรีบางชนิดอาจผสมธาตุอื่น เช่น พลวงและเงิน เข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งและต้านทานการกัดกร่อน

6. โลหะตัวพิมพ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์

เป็นโลหะผสมระหว่างตะกั่ว พลวง และดีบุก โดยตะกั่วช่วยให้มีจุดหลอมเหลวต่ำและหล่อได้ง่าย พลวงช่วยเพิ่มความแข็งแรง ต้านทานแรงกดและการสึกหรอ ลดอุณหภูมิหล่อ และลดการหดตัวของตัวพิมพ์ สำหรับดีบุกช่วยให้หล่อได้ง่าย ลดความเปราะ และช่วยให้ตัวพิมพ์มีลวดลายละเอียด

ความเป็นพิษของตะกั่ว

1. พิษตะกั่วเฉียบพลัน

อาการสำคัญที่พบ คือ อาการของโรคเนื้อสมองเสื่อมเฉียบพลัน มักเกิดเมื่อระดับตะกั่วในเลือดสูงเกิน 120 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร และมักพบในเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี อาการอาจเริ่มด้วยชักและหมดสติ หรือมีอาการอื่นร่วม เช่น เบื่ออาหาร ซีด กระวนกระวาย ซึม เล่นน้อยลง กระสับกระส่าย เสียกิริยาประสานงาน อาเจียน มีอาการทักษะเสื่อมถอย โดยเฉพาะการพูด อาการจะมากขึ้นเรื่อยๆ ใน 3 - 6 สัปดาห์ จากนั้นจึงมีอาการของโรคสมองเสื่อมตามมา ใน 2 - 5 วัน เริ่มด้วยอาการเดินเซ อาเจียนมาก ซึม หมดสติ และชักที่ควบคุมลำบาก แต่จะไม่พบอาการปลายประสาทเสื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พิษตะกั่วเรื้อรัง

อาการแสดงทางคลินิกที่พบในระบบต่างๆ มีดังนี้

2.1 ระบบประสาทส่วนกลางและประสาทสมอง อาการสำคัญที่พบ คือ สมองเสื่อมจากพิษตะกั่ว พบในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ มีอาการหงุดหงิดง่าย กระวนกระวาย ซึม เวียนศีรษะ เดินเซ หกล้มง่าย นอนไม่หลับ บุคลิกภาพเปลี่ยนแปลง ความจำเสื่อม ในรายที่เป็นรุนแรง อาจมีอาการสั่นเวลาเคลื่อนไหว ชัก หมดสติ และเสียชีวิตได้ ซึ่งเป็นผลจากตะกั่วเข้าไปทำลายเซลล์ประสาท ทำให้เนื้อเยื่อสมองเกิดอาการบวม มีน้ำและสารต่างๆ ในเซลล์เพิ่มขึ้น เมื่อสมองถูกกดมากๆ ทำให้เนื้อสมองถูกทำลาย

2.2 ระบบประสาทส่วนปลายและกล้ามเนื้อ พบมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อและตามข้อต่างๆ โดยกล้ามเนื้อที่ใช้บ่อยจะมีอาการอ่อนแรงหรือเป็นอัมพาต เช่น กล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อมือ ข้อเท้าอ่อนแรง ทำให้เกิดอาการข้อมือตก ข้อเท้าตก อาจเป็นข้างเดียวหรือสองข้างก็ได้ อาการของระบบประสาทส่วนปลาย พบมีอาการชา ปลายประสาทอักเสบ

2.3 ระบบทางเดินอาหาร เป็นอาการที่พบได้บ่อยที่สุด ผู้ป่วยมีอาการเบื่ออาหาร อาเจียน คลื่นไส้ โดยเริ่มแรกมักมีอาการท้องผูก แต่บางรายอาจมีอาการท้องเดิน น้ำหนักลด รู้สึกลิ้นรับรสของโลหะ เมื่อภาวะเป็นพิษเพิ่มมากขึ้น กล้ามเนื้อหน้าท้องบีบเกร็งและกดเจ็บ ทำให้มีอาการปวดท้องมาก เรียกว่า "โคลิก" นอกจากนี้อาจตรวจพบเส้นสีน้ำเงิน – ดำที่เหงือก ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแบคทีเรียในช่องปากกับตะกั่ว โดยอาจพบได้ถึงร้อยละ 80 ของผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วสะสมมาเป็นเวลานานๆ

2.4 ระบบโลหิต มักพบมีอาการซีดซึ่งเกิดจากการขาดธาตุเหล็ก เนื่องจากตะกั่วจะเข้าไปยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ฮีมในไขกระดูก โดยจะขัดขวางการใช้เหล็กและการสร้างโกลบินในไขกระดูก นอกจากนี้ยังมีผลให้เม็ดเลือดแดงมีลักษณะต่างจากปกติ เม็ดเลือดแดงมีขนาดเล็กและแตกง่าย เม็ดเลืองแดงมีอายุสั้นกว่าปกติ มีจุดสีน้ำเงินกระจายอยู่ภายใน (basophilic stippling) ความเป็นพิษต่อระบบโลหิตนี้มีผลต่อเด็กมากกว่าผู้ใหญ่

2.5 ระบบทางเดินปัสสาวะ ผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วเป็นเวลานานๆ อาจจะเกิดภาวะไตวายเรื้อรัง เนื่องจากตะกั่วมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและหน้าที่ของไต โดยทำให้เซลล์ที่บุส่วนต้นของท่อภายในไต เกิดสารประกอบของตะกั่วกับโปรตีน ซึ่งมีผลต่อกระบวนการสร้างพลังงานของไต โดยจะตรวจพบน้ำตาล กรดอะมิโน และฟอสเฟตในปัสสาวะสูง รวมทั้งฟอสเฟตในเลือดต่ำ เนื่องจากการดูดกลับลดลง ทำให้ความแข็งแรงของกระดูกลดลง จากการที่ร่างกายดึงฟอสเฟตจากกระดูกมาใช้และในรายที่เป็นเรื้อรัง ไตจะมีขนาดเล็กลง เส้นเลือดแข็ง และผู้ป่วยอาจเสียชีวิต เนื่องจากภาวะไตวาย นอกจากนี้ผู้ป่วยอาจเกิดภาวะกรดยูริกคั่งในร่างกาย เกิดอาการของโรคเกาต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ระบบโครงสร้าง ตะกั่วจะไปสะสมที่กระดูก โดยเฉพาะที่ส่วนปลายของกระดูกยาว เมื่อเอกซเรย์ดูจะพบรอยหนาทึบของตะกั่วฟอสเฟต พบได้ในเด็ก ถ้าร่างกายขาดแคลเซียมจะทำให้ร่างกายดึงแคลเซียมจากกระดูกมาใช้เป็นผลให้ตะกั่วกลับเข้าสู่กระแสเลือดด้วย

2.7 ระบบสืบพันธุ์ ผู้ที่ได้รับตะกั่วติดต่อกันเป็นเวลานาน อาจพบอาการเป็นหมันได้ ทั้งชายและหญิง โดยเพศชายจะมีจำนวนเชื้ออสุจิน้อย อ่อนแอและมีลักษณะผิดปกติ ส่วนใหญ่เพศหญิงจะมีความผิดปกติของประจำเดือน รังไข่ทำงานผิดปกติ และแท้งได้ ทำให้เกิดความผิดปกติในการทำงานของต่อมไทรอยด์และต่อมหมวกไตได้ นอกจากนี้ตะกั่วยังเป็นสารก่อมะเร็งอาจทำให้เกิดมะเร็งที่ไต เนื้องอกที่ระบบทางเดินหายใจและระบบทางเดินอาหาร รวมทั้งเป็นสารก่อกลายพันธุ์ โดยทำให้เกิดความผิดปกติของดีเอ็นเอได้

2.1.3 สังกะสี (สยามเคมี, 2557)

สังกะสี จัดเป็นโลหะธาตุสีเงิน มันวาว มีเลขออกซิเดชันสามัญ +2 มีจุดหลอมเหลว 419.5 องศาเซลเซียส มีจุดเดือด 907 องศาเซลเซียส นิยมนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมสำหรับเป็นโลหะโครงสร้างหรือโลหะผสมกับโลหะอื่นสำหรับประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ นอกจากนั้น สังกะสียังเป็นแร่ธาตุหนึ่งที่สามารถพบได้ในร่างกายมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากจัดเป็นแร่ที่ร่างกายต้องการชนิดหนึ่ง

มนุษย์รู้จักนำสังกะสีมาใช้ประโยชน์เป็นเวลาช้านานแล้วแต่การรู้จักว่าเป็นแร่สังกะสีในรูปของโลหะหรือธาตุอิสระ โดยเกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบกับทองแดงและตะกั่วที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เพราะในสมัยโบราณรู้จักใช้สังกะสีเพียงในรูปของโลหะผสมเท่านั้น การนำแร่สังกะสีโลหะธาตุหรือแร่สังกะสีบริสุทธิ์มาใช้เริ่มแรกเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1000 จากการถลุงและสกัดสังกะสีที่ไม่บริสุทธิ์ในประเทศจีนและอินเดียจนมีการพัฒนาการถลุงให้ค่อนข้างบริสุทธิ์ที่เรียกว่า spelter

สังกะสีที่พบในธรรมชาติไม่พบในรูปของธาตุอิสระ โดยทั่วไปมักจะพบสังกะสีในดินประมาณ 120 กรัม/ตัน โดยอยู่ในรูปของซัลไฟด์ (ZnS) และมักปนกับซัลไฟด์ของโลหะอื่น เช่น เหล็ก, ตะกั่ว, แคดเมียมและทองแดง ในประเทศไทยพบสินแร่สังกะสีเป็นชนิดซัลไฟด์ปนกับแร่ตะกั่วซัลไฟด์ พบมากที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ประโยชน์ของสังกะสี

สังกะสีเป็นโลหะในหมู่เดียวกันกับปรอท มีลักษณะสีเงิน มันวาว หลอม และขึ้นรูปได้ง่าย มีความทนต่อการเกิดสนิม มีความแข็งแต่เปราะง่ายไม่สามารถดัดโค้งงอตามรูปที่ต้องการได้ เนื่องจากเปราะและมีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับโลหะอื่น เช่น ทอง ที่ดัดโค้งงอได้ดีกว่า

1. เป็นโลหะสำคัญที่ใช้เป็นโลหะผสมกับโลหะชนิดอื่นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติโลหะต่างๆ
2. เป็นโหละที่ใช้เคลือบโลหะอื่นๆสำหรับป้องกันการเกิดสนิม
3. ใช้ผลิตทองเหลือง (สังกะสีผสมทองแดง)
4. ใช้ผลิตสังกะสีมุงหลังคา
5. ซิงค์ออกไซด์ มีลักษณะสีขาว ใช้เป็นส่วนผสมผลิตสีเคลือบ สีทา ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ซิงค์คาร์บอเนตใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมยา เช่น ยาทาแก้อาการคันตามผิวหนัง
7. ซิงค์ซัลเฟตใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ
8. ซิงค์ซัลไฟต์ใช้เป็นสีขาวในอุตสาหกรรมยาง ใช้เคลือบเป็นฉากเรืองแสงในหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ของโทรทัศน์
9. ซิงค์ไฮดรอกไซด์ใช้ในอุตสาหกรรมยาง
10. ซิงค์คลอไรด์ใช้เป็นสารป้องกันเชื้อราในอุตสาหกรรมกระดาษและไม้อัด
11. ซิงค์ไพริดีนไธโอนใช้เป็นส่วนผสมในน้ำยาหรือแชมพูสระผมป้องกันรังแค

ความเป็นพิษ

1. การได้รับสังกะสีจากภาวะมลพิษ

มลพิษที่ปนเปื้อนสังกะสีมักอยู่ในรูปของฝุ่นหรือไอสารที่ลอยอยู่ในอากาศ ฝุ่นหรือไอของซิงค์ออกไซด์สามารถทำให้เกิดความระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจได้ ส่วนการสัมผัสทางผิวหนังเป็นเวลานานทำให้เกิดผิวหนังอักเสบอย่างรุนแรง ที่เรียกว่า โรคออกไซด์พ็อกซ์ (Oxide pox) อาการเมื่อได้รับฝุ่นหรือไอของสังกะสีในปริมาณมากจากการสูดดมจะเกิดอาการกระหายน้ำ ไอ หลอดลมอักเสบ ปอดบวม เหนื่อยล้าง่าย อ่อนแรง มีอาการปวดกล้ามเนื้อ คลื่นไส้ มีไข้ ซึ่งมักเกิดภายใน 4 - 12 ชั่วโมง หลังการสัมผัส ซึ่งอาการเหล่านี้จะสามารถหายเป็นปกติได้ภายใน 1 - 2 วัน โดยโรคนี้มีชื่อเรียกว่า โรคไข้วันจันทร์ (Monday fever)

2. การปนเปื้อนจากอาหารและน้ำดื่ม

สารประกอบซิงค์ออกไซด์มักปะปนในแหล่งน้ำหรืออาหารได้ง่าย โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ใกล้แหล่งแร่สังกะสี ซึ่งเมื่อร่างกายได้รับสารพิษและสะสมเป็นเวลานาน จะทำให้เอนไซม์ของตับเกิดความผิดปกติและพบอาการเลือดออกในระบบทางเดินอาหารได้ ตามที่ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ได้กำหนดให้มีสังกะสีปนเปื้อนในแหล่งน้ำไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร การเกิดพิษในระบบทางเดินอาหารจากการกินสังกะสีเข้าไป จะทำให้เกิดการกัดกร่อนบริเวณทางเดินอาหารส่วนต้น ได้แก่ หลอดอาหารและกระเพาะอาหาร ทำให้มีอาการอักเสบ ปวดท้องอย่างรุนแรง และอาจทำให้ทางเดินอาหารตีบตันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การแพร่กระจายของโลหะหนัก

เมื่อมนุษย์มีการปล่อยทิ้งหรือมีการปนเปื้อนของสารมลพิษเกิดขึ้น เส้นทางการแพร่กระจายของสารพิษที่มนุษย์จะได้รับผลกระทบนั้น อาจจะเกิดขึ้นได้หลายทางไม่ว่าจะโดยตรงหรือโดยทางอ้อม ดังนั้น เมื่อมีการปล่อยมลพิษลงสู่ดินหรือสู่แหล่งน้ำ สารพิษเหล่านี้จะถูกแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ในรูปสารละลายหรือสารแขวนลอยในน้ำใต้ดิน ซึ่งน้ำใต้ดินจะเป็นตัวกลางในการแพร่กระจายมลพิษดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้

1. เมื่อสารพิษที่ปนมากับน้ำหรือสะสมอยู่ในดินจะถูกดูดซับโดยพืช อาจทำให้มีการสะสมของสารพิษในพืช ไม่ว่าจะเป็นพืชหัว พืชผักหรือพืชอาหารสัตว์ เมื่อถูกนำไปบริโภคก็จะเป็นอันตรายได้ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาการเคลื่อนตำแหน่ง (translocation) การสะสม (accumulation) ของสารมลพิษต่างๆ ในพืชพรรณที่ปลูกตลอดจนอายุเก็บเกี่ยวเพื่อนำส่วนที่มีการสะสมน้อยที่สุดเพื่อให้เป็นการบริโภคที่ปลอดภัยไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ได้
2. เมื่อสารพิษแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำโดยการไหลชะของน้ำตามผิวดิน (surface runoff) เช่น การสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการใช้วัสดุปูพื้นเป็นตัวการทำให้เกิดการไหลชะของน้ำตามผิวดินหากน้ำที่ไหลชะตามผิวดินมีสารพิษละลายหรือแขวนลอยอยู่เมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ปริมาณสะสมของสารพิษจะมากขึ้นตามลำดับขั้นของการบริโภค ซึ่งผู้บริโภคลำดับสุดท้ายก็คือมนุษย์
3. เมื่อสารพิษแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งหากถูกนำไปใช้โดยตรงก็ย่อมเกิดอันตรายได้และเมื่อน้ำใต้ดินนี้ไหลลงสู่แหล่งน้ำใดๆ ก็ย่อมนำสารพิษไปปนเปื้อนแหล่งน้ำนั้นได้
4. สารพิษในดินมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นสำคัญโดยเฉพาะกิจกรรมด้านการเกษตร การอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากชุมชน จะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดสารมลพิษแต่ละแห่งทำให้เกิดสารมลพิษแตกต่างกัน การใช้สารเคมีฆ่าศัตรูพืช ทำให้ดินเป็นแหล่งสะสมสารเคมีที่มีผลตกค้างนาน เช่น สารประเภทคลอรีนอินทรีย์ เป็นต้น สารฆ่าศัตรูพืชประเภทอนินทรีย์ มักจะใช้ธาตุเป็นองค์ประเภทหลัก เช่น สารหนู ปรอททองแดง ฯลฯ ซึ่งเป็นธาตุที่อยู่ในรูปของสารพิษในดินได้นาน
5. สารมลพิษโดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะสภาวะมลพิษเป็น 2 พวกคือ
    5.1 สารมลพิษที่เป็นปัญหาในระยะยาว ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่วและปรอท แร่ธาตุเหล่านี้จะสะสมอยู่ในดินมากแต่พืชก็สามารถดูดซับได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้น ในฤดูแรกๆที่ดินได้รับมลพิษเหล่านี้ จึงอาจมองไม่เห็นปัญหาได้ชัดเจนเพราะธาตุเหล่านี้แพร่กระจายสู่โซ่อาหารได้ปริมาณน้อย
    5.2 สารมลพิษที่เกิดปัญหาได้ในระยะสั้น ได้แก่ สารมลพิษที่ละลายน้ำได้ง่าย พืชดูดกินได้ในทันทีและในปริมาณมาก จึงเกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมได้โดยรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักของการดูดซับ (ศรัณย์, 2554)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับ การสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่อยู่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส 2 เฟส เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยชนิดของสารที่เกิดการดูดซับเรียกว่า “ตัวดูดซับ” (adsorbent) และสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า “ตัวถูกดูดซับ” (adsorbate) การดูดซับจะเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สำหรับการดูดซับระหว่างเฟสของเหลว - ของแข็งนั้น ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยสารจะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ซึ่งสามารถจำแนกการดูดซับออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่

2.3.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นแบบผันกลับได้เนื่องจากแรงทางกายภาพ แรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเป็นแรงที่อ่อน เช่น แรงแวนเดอวาลส์ แรงกระทำระหว่างโมเลกุลมีขั้วซึ่งมีไดโพลแบบถาวร แรงกระทำที่เกิดจากโมเลกุลที่มีขั้วเหนี่ยวนำให้อะตอมหรือโมเลกุลอื่นมีขั้วหรือแรงลอนดอนที่เกิดขึ้นจากแรงระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้วด้วยกัน โดยแรงดังกล่าวจะไม่มีพลังงานจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย จึงสามารถขจัดตัวถูกดูดซับให้หลุดออกจากผิวของตัวดูดซับได้ง่าย ด้วยเหตุนี้เอง จึงอาจเกิดการดูดซับแบบหลายชั้นขึ้นได้

2.3.2 การดูดซับทางเคมี

เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ทำให้ตัวถูกดูดซับเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยจะมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของตัวถูกดูดซับแล้วเกิดการจัดเรียงอะตอมขึ้นเป็นสารประกอบใหม่ที่มีพันธะเคมีที่แข็งแรงมากขึ้น กระบวนการนี้จะมีพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่ามาก จึงเป็นการยากที่จะขจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวของตัวดูดซับได้ การดูดซับทางเคมีจึงเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

2.3.3 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน

เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับซึ่งมีประจุที่ตรงข้ามกันหรือเกิดจากการที่มีการแทนที่ของประจุระหว่างผิวของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ

2.3.4 การดูดซับแบบจำเพาะ

เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างแรงยึดเหนี่ยวของหมู่ฟังก์ชั่นนอล (Functional group) บนผิวของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับโดยที่ตัวดูดซับจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (วินัย, 2544)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่มีปัจจัยหลายประการ ที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 ปริมาณของตัวดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับจะแปรผันตรงตามปริมาณของตัวดูดซับ เมื่อปริมาณของตัวดูดซับเพิ่มขึ้นจะมีบริเวณที่เกิดการดูดซับเพิ่มมากขึ้น ทำให้ตัวดูดซับสามารถเกิดการดูดซับได้มากขึ้น

2.4.2 อุณหภูมิในระบบที่เกิดการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เนื่องจากการดูดซับปฏิกิริยาแบบคายความร้อนทำให้เมื่ออุณหภูมิในระบบเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการดูดซับจึงลดลงซึ่งแปรผกผันกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่ในบางกรณีตัวถูกละลายบางชนิดจะมีค่าการละลายเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น ความสามารถในการดูดซับของสารประเภทดังกล่าวจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ

2.4.3 pH ของสารละลาย

pH ของสารละลายจะมีผลต่อความเป็นขั้วของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ โดย pH จะทำให้แรงที่กระทำต่อกันระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากสารมีสมบัติความเป็นขั้วที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้เกิดการดูดซับได้ดีขึ้นหรือแย่ลง

2.4.4 เวลาที่สารละลายได้สัมผัสกับตัวดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป จนกระทั่งระบบเข้าสู่สมดุล ซึ่งเป็นเวลาที่อัตราของการดูดซับ มีค่าเท่ากับอัตราของการคาย จะเกิดการดูดซับสูงที่สุด ซึ่งเมื่อระบบเข้าสู่สมดุลไปแล้ว ค่าของการดูดซับจะมีค่าคงที่เสมอ แม้เวลาที่สารละลายได้สัมผัสกับตัวดูดซับจะมากขึ้นก็ตาม

2.4.5 ชนิดของตัวทำละลาย

ตัวทำละลายแต่ละชนิดนั้น จะมีผลต่อแรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับที่แตกต่างกัน โดยอิทธิพลของตัวทำละลายที่มีผลต่อการดูดซับ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุดังนี้

2.4.5.1 แรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างตัวทำละลายกับตัวถูกละลายในสารละลาย

2.4.5.2 แรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างตัวทำละลายกับตัวดูดซับ

2.4.5.3 แรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกละลายกับผิวของตัวดูดซับ

2.4.5.4 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ขนาดของตัวดูดซับจะมีผลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ โดยตัวดูดซับที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ อัตราเร็วของการดูดซับจะมีค่าน้อย ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ โดยตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะสามารถเกิดการดูดซับได้มากกว่า เนื่องจาก มีพื้นที่ที่สามารถรองรับตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (A. Alihosseini *et al.*, 2010)

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ ณ จุดสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ โดยตัวถูกดูดซับจะมีหน่วยเป็นความดันเมื่อมีสถานะเป็นแก๊สและมีหน่วยเป็นความเข้มข้นเมื่อมีสถานะเป็นของเหลวมีการอธิบายและตั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไอโซเทอร์มของการดูดซับที่สมดุลในรูปแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.5.1 ไอไซเทอร์มของ Langmuir (Langmuir isotherm)

ทฤษฎีไอโซเทอร์มของ Langmuir ถูกพัฒนามาจากการศึกษาการดูดซับโมเลกุลของแก๊สบนตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง โดยจะสมมติให้พลังงานของการดูดซับของสารแต่ละโมเลกุลมีค่าคงที่ ไม่เกิดการทำปฏิกิริยาของตัวถูกดูดซับด้วยกันเองและพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) การดูดซับจะเกิดขึ้นในตำแหน่งของพื้นที่ผิว ที่เรียกว่า “ตำแหน่งดูดซับ” (adsorption site) โดยตำแหน่งที่เกิดการดูดซับจะสามารถดูดซับสารได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ไม่สามารถดูดซับสารเพิ่มเติมได้อีก ซึ่งในกรณีของการดูดซับของของเหลวบนตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$q_e = q_m C_e b / (1+q_m C_e)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (กรัมต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ)

q_m คือ ปริมาณสูงสุดที่สามารถดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ (กรัมต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ)

b คือ ค่าคงที่ของการดูดซับของ Langmuir

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย (กรัมต่อลิตร)

จากสมการถ้าค่าคงที่ของการดูดซับ (b) มีค่าเท่ากับ 1 จำนวนปริมาณของตัวดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (q_e) จะมีค่าเข้าใกล้ปริมาณสูงสุดที่สามารถถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับได้ (b) เพราะเนื่องจาก ตำแหน่งที่ใช้ในการดูดซับถูกใช้ไปจนหมดและไม่สามารถเกิดการดูดซับแบบหลายชั้นได้อีก เมื่อนำสมการมาจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงจะได้ดังสมการดังนี้

$$C_e / q_e = (1 / q_m b) + (1C_e / b)$$

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_e / q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรงที่สามารถหาค่า $1/b$ และ $1 / q_m b$ ได้จากความชันของกราฟและจุดตันแกนในแนวตั้ง โดยค่า b ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่หาได้จากการทดลองจะเป็นตัวบอกปริมาณสูงสุดของตัวดูดซับที่สามารถดูดซับได้ในตัวดูดซับ 1 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ไอโซเทอร์มของ Freundlich (Freundlich isotherm)

Freundlich ได้เสนอสมการของไอโซเทอร์มแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล แสดงการดูดซับที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวที่ไม่มีความสม่ำเสมอ โดยแต่ละพื้นผิวที่เกิดการดูดซับจะให้พลังงานของการดูดซับออกมาไม่คงที่ จึงมีการรวมพื้นที่ผิวที่ให้พลังงานการดูดซับเท่ากันเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งมีข้อเสีย คือ จะไม่สามารถหาค่าการดูดซับสูงสุดได้และจะใช้ในการอธิบายการดูดซับแบบชั้นเดียวที่เกิดในความดันสูงๆได้ไม่ดีนัก สมการของ Freundlich เป็นดังนี้

$$C_s = K_f C_a^{1/n}$$

เมื่อ C_s คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (กรัมต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ)

K_f คือ ค่าคงที่ของการดูดซับของ Freundlich

n คือ ค่าคงที่ที่แสดงถึงความแข็งแรงของการดูดซับ

C_a คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย (กรัมต่อลิตร)

สมการของ Freundlich จะแตกต่างจากสมการของ Langmuir เมื่อค่าคงที่ที่แสดงถึงความแข็งแรงของการดูดซับมีค่าเท่ากับ 1 จะทำให้กราฟเป็นเส้นตรง แต่เมื่อค่าคงที่ที่แสดงถึงความแข็งแรงของการดูดซับเพิ่มมากขึ้น กราฟจะเบี่ยงเบนออกไปไม่เป็นเส้นตรงอีก เมื่อนำสมการมาจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงจะได้ดังสมการ

$$\log C_s = (1/n) \log C_a + \log K_f$$

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_s$ กับ $\log K_f$ จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า 1/n และค่า K_f ได้จากความชันของกราฟ และจุดตัดแกนในแนวตั้ง ทั้งนี้การดูดซับของสารที่ความเข้มข้นต่ำๆ โดยที่สารสามารถแพร่ไปมาระหว่างเฟส 2 เฟส (partitioning) คือ ระหว่างตัวดูดซับกับตัวกลางที่จุดสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่ n จะมีค่าเท่ากับ 1 ทำให้กราฟเป็นเส้นตรง โดยค่า $1/n = 1$ อธิบายถึงไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง ค่า $1/n > 1$ อธิบายถึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับ และ $1/n < 1$ อธิบายถึงปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับมีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ ในการอธิบายการดูดซับที่ความเข้มข้นต่ำๆจะใช้สมการ $C_s = KC_a$ โดย K คือ partitioning coefficient

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เทคโนโลยีการบำบัดดิน (ธเรศ, 2557)

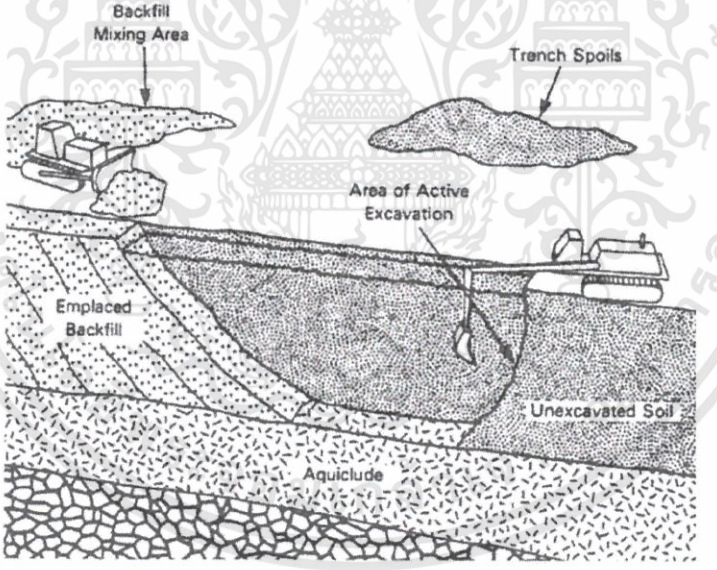
โลหะหนักสามารถปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้หลายแบบ ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือปนเปื้อนอยู่ในดิน ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในด้านการเพาะปลูกและการอยู่อาศัย เมื่อดินมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก จะทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากพื้นดินบริเวณที่มีการปนเปื้อนได้ ดังนั้น เราจึงจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดดินปนเปื้อนโลหะหนัก เพื่อช่วยให้สามารถนำดินมาใช้ประโยชน์ได้ต่อไป โดยในปัจจุบันมีวิธีการบำบัดดินอยู่ 8 ประเภท คือ

2.6.1 Monitored Natural Attenuation (MNA)

Monitored Natural Attenuation (MNA) เป็นเทคนิคการปล่อยให้เกิดการย่อยสลายเองตามธรรมชาติ โดยการติดตามตรวจวัดเป็นระยะ ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการบำบัดอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาวะแวดล้อม ปริมาณความเข้มข้นของสารปนเปื้อน เป็นต้น

2.6.2 การขุดหรือตักดินไปฟื้นฟู (Excavation)

เป็นการฟื้นฟูดินปนเปื้อน โดยสามารถทำได้ดีทั้งในดินที่มีความเข้มข้นของสารพิษปนเปื้อนสูงหรือต่ำโดยการตักดินที่ปนเปื้อนออกไปนอกพื้นที่ (Ex-situ) นำไปเข้าเตาเผาหรือผ่านขั้นตอนการทำให้เสถียรก่อนนำไปฝังกลบที่หลุมฝังกลบของเสียอันตราย ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การขุดหรือตักดินไปฟื้นฟู (Sharma *et al.*, 2004)

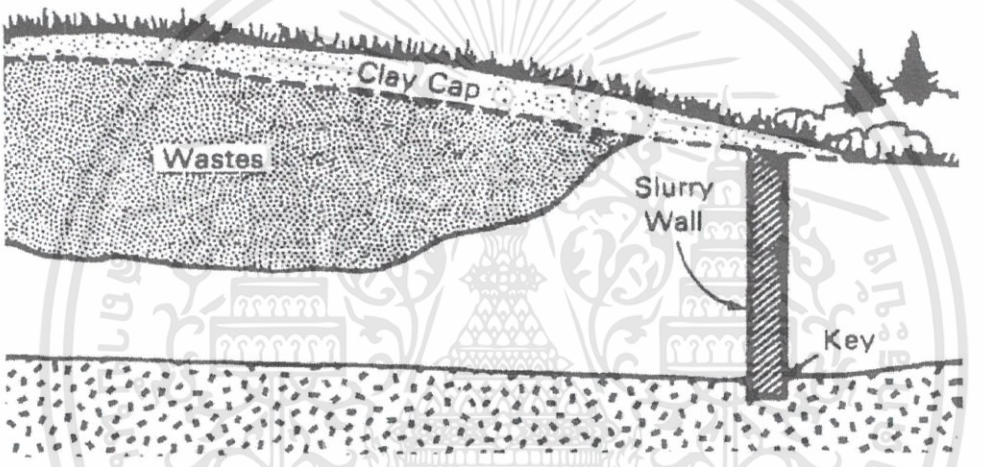
2.6.3 การปิดคลุม

การปิดคลุมหรือการคลุม (Capping) เป็นการปกปิดวัสดุที่ปนเปื้อน เช่น หลุมฝังกลบหรือดินที่มีการปนเปื้อน การคลุมไม่ได้เป็นการทำลายหรือขนย้ายสารปนเปื้อนแต่จะเป็นเพียงการแยกเก็บไว้ไม่ให้การปนเปื้อนแพร่กระจายและป้องกันไม่ให้มีการสัมผัสสารปนเปื้อน หลักการทำงานการคลุมเป็นการแยกและป้องกันการกระจายจากหลายสาเหตุ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ป้องกันฝนไม่ให้ซึมเข้าไปชะล้างสารปนเปื้อนออกมาปนเปื้อนน้ำใต้ดิน
- ป้องกันไม่ให้น้ำฝนพัดพาสารปนเปื้อนออกนอกพื้นที่หรือลงสู่ทะเลสาบและแม่น้ำ
- ป้องกันไม่ให้ลมพัดสารปนเปื้อนออกนอกพื้นที่
- ป้องกันก๊าซประเภทระเหยง่ายที่ผลิตและปล่อยออกมาจากการระเหย

การเลือกแบบที่ปกคลุมสำหรับพื้นที่ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดและความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ขนาดพื้นที่ ปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่และการใช้งานในอนาคต การก่อสร้างแผ่นคลุมอาจเป็นแบบง่ายๆสำหรับดินที่ปนเปื้อนน้อยหรืออาจต้องใช้วัสดุหลายชั้นและหลายชนิด เพื่อจะกันของเสียที่มีการปนเปื้อนสูงหรือในบางครั้งอาจจะมีการทำกำแพงกั้นบริเวณที่มีการปิดคลุม เพื่อป้องกันการแพร่กระจายการปนเปื้อนด้วย ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การปิดคลุมและทำกำแพงกั้น (Sharma *et al.*, 2004)

2.6.4 การเปลี่ยนรูปให้เป็นของแข็งและการปรับเสถียร

การเปลี่ยนรูปให้เป็นของแข็งและการปรับเสถียร (Solidification and Stabilization) คือ วิธีการที่จะป้องกันหรือทำให้สารปนเปื้อนในดิน ตะกอนดิน หรือกากตะกอน ปล่อยออกมาข้างลง วิธีเหล่านี้โดยปกติจะไม่ทำลายสารปนเปื้อน แต่เป็นการเก็บสารปนเปื้อนไม่ให้ชะล้างออกมาสู่สิ่งแวดล้อมรอบๆเกินระดับที่ปลอดภัย การชะล้างเกิดขึ้นเมื่อน้ำจากน้ำฝนหรือแหล่งอื่นๆละลายสารปนเปื้อนและไหลไปปนเปื้อนน้ำใต้ดินดินทะเลสาบและแม่น้ำ

Solidification คือ การตรึงของเสียไว้ในก้อนวัสดุที่เป็นของแข็งและยึดติดไว้กับที่ ประกอบด้วยการผสมสิ่งปนเปื้อนกับสารที่ทำหน้าที่จับสารปนเปื้อน ซึ่งเป็นสารที่จะทำให้วัตถุที่จับกันหลวมๆติดกันแน่นขึ้น สารที่ทำหน้าที่ตรึงโดยทั่วๆไป เช่น ซีเมนต์ เถ้าลอยและดินเหนียว โดยต้องมีการผสมน้ำเพื่อจะให้มีการยึดจับหลังจากนั้นจะปล่อยให้แห้งเพื่อให้ได้ก้อนที่แข็งส่วน Stablilization คือ การทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งตรึงสารปนเปื้อนไม่ให้ชะล้างออกสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยลงประกอบด้วยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมสิ่งปนเปื้อนกับน้ำและสารที่ทำหน้าที่ตรึง ส่วนสารที่ทำหน้าที่ตรึงในขณะเดียวกันนั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่จะทำให้สารปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยลงไปด้วย

การเปลี่ยนรูปให้เป็นของแข็งและการปรับเสถียร (Solidification and Stabilization) สามารถดำเนินการได้ทั้งในพื้นที่ (In-situ) และนอกพื้นที่ (Ex-situ) การดำเนินการในพื้นที่วิธีการประกอบด้วยขั้นตอนการเจาะบ่อหรือรูโดยใช้รถเจาะกับเครื่องผสมหรือสว่านขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถทำได้ทั้งเติมและผสมสารที่เติมเข้าไปกับสิ่งที่ปนเปื้อนบริเวณใต้ดิน ยกตัวอย่างเช่น เมื่อนำดินปนเปื้อนโลหะหนักมาผสมกับน้ำและปูนขาว ปูนขาวจะทำปฏิกิริยากับโลหะหนักให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำสารที่ใช้เติมเข้าไปจะผสมกับสิ่งที่ปนเปื้อน ณ. ที่ปนเปื้อน จำนวนของบ่อหรือรูขึ้นอยู่กับขนาดสว่านและพื้นที่ปนเปื้อนบางกรณีอาจจำเป็นต้องขุดบ่อหรือรูจำนวนมาก ถ้าหากสารปนเปื้อนพบในบริเวณตื้นจะขุดดินที่ปนเปื้อนขึ้นมาและผสมกับสารเติมแต่งเหนือพื้น (ณ. ที่ปนเปื้อน) หรือใช้รถขุดเจาะที่เรียกว่า pug mills จะสามารถบดและผสมสิ่งปนเปื้อนได้ในเวลาเดียวกันทำให้สิ่งปนเปื้อนแข็งตัวหรือเสถียรบริเวณเหนือพื้น

การเปลี่ยนรูปให้เป็นของแข็งและการปรับเสถียร มักจะใช้ควบคู่กันไปเพื่อป้องกันประชาชนและสัตว์ป่าจากการสัมผัสสารปนเปื้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากโลหะและกัมมันตภาพรังสี ส่วนการดำเนินการนอกพื้นที่ ได้แก่ การขุดหรือตักดินที่ปนเปื้อนออกจากบริเวณพื้นที่ปนเปื้อน จากนั้นนำสารปนเปื้อนเข้าสู่กระบวนการการเปลี่ยนรูปให้เป็นของแข็งและการปรับเสถียร นำไปฝังกลบยังหลุมฝังกลบที่ปลอดภัย

2.6.5 การล้างดิน (Soil Washing)

การล้างดินหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การขัดดิน (soil washing) เป็นการนำดินที่มีการปนเปื้อนจากสารปนเปื้อนมาทำการล้างด้วยน้ำหรือสารละลาย เช่น สารลดแรงตึงผิว (surfactants) หรือสารละลายกรดอ่อน สารละลายด่างอ่อน เพื่อให้สารปนเปื้อนนั้นหลุดออกมาจากอนุภาคของดินซึ่งเป็นหนึ่งในการฟื้นฟูแบบ Ex-situ ระบบการล้างดินจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ คือ Scrubbing Unit และ Treatment Unit ดินที่มีการปนเปื้อนจะเข้าสู่ระบบ Scrubbing unit ซึ่งจะมีการเติมน้ำหรือสารละลายโดยดูจากค่าความสามารถในการละลายของสารปนเปื้อนนั้นโดยสารปนเปื้อนที่หลุดออกมาจากอนุภาคดินจะละลายอยู่ในส่วนของของเหลว จากนั้นของเหลวที่ผ่านระบบ Scrubbing Unit จะเข้าสู่ระบบ Treatment Unit และทำการบำบัดสารปนเปื้อนตามวิธีการที่เหมาะสมต่อไป ส่วนดินที่ผ่านการบำบัดแล้วนั้นจะนำไปฝังกลบไว้ที่เดิม

2.6.6 จลนศาสตร์ไฟฟ้า (Electrokinetic)

เป็นกระบวนการสกัดโลหะหนักหรือสารปนเปื้อนที่เป็นสารอินทรีย์ออกจากดินด้วยวิธีการทางไฟฟ้าโดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านทางขั้วไฟฟ้า (electrodes) ซึ่งเป็นขั้วบวก (anode) และขั้วลบ (cathode) โดยสารปนเปื้อนจะถูกทำให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าที่ได้มีการติดตั้งไว้

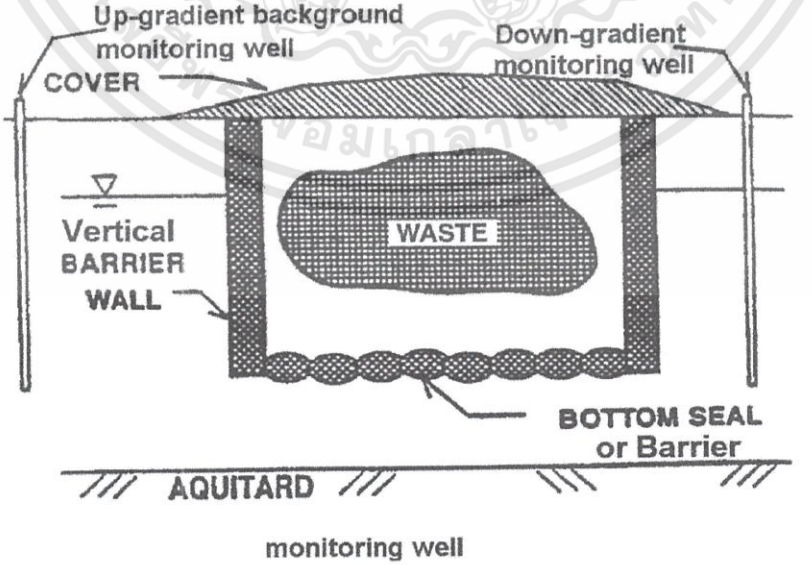
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7 การสร้างกำแพงกั้น (Vertical Engineering Barriers)

การสร้างกำแพงกั้น (Vertical Engineering Barriers, VEB) คือ ผนังที่กั้นลงไปในดินเพื่อจะควบคุมการไหลของน้ำใต้ดิน VEB อาจใช้เพื่อเปลี่ยนทิศทางไหลของน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนไม่ให้สัมผัสกับบ่อน้ำดื่ม พื้นที่ชุ่มน้ำ แม่น้ำลำธารหรืออาจใช้สำหรับการกักเก็บและแยกดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนไม่ให้ผสมกับน้ำใต้ดินที่สะอาด

VEB ทำจากวัสดุที่น้ำซึมผ่านไม่ได้หรือซึมผ่านได้น้อยซึ่งหมายถึงการป้องกันหรือลดการไหลของน้ำและสารปนเปื้อนผ่านผนัง ผนังชนิดที่พบมากที่สุดคือกำแพงทึบน้ำ (slurry wall) ก่อสร้างโดยขุดคูแคบๆโดยทั่วไปกว้างประมาณ 2 - 4 ฟุต (ประมาณ 60 – 120 เซนติเมตร) เติมวัสดุที่ใช้ทำกำแพงลงในหลุมซึ่งประกอบด้วยดินผสมน้ำและดินเหนียวสังเคราะห์ซึ่งนิยมใช้เบนโทไนท์ สาเหตุที่นิยมใช้เบนโทไนท์เพราะมีคุณสมบัติขยายตัวเมื่อเปียกน้ำจนปิดหลุมหรือคูที่ขุดไว้ โดยอาจมีการผสมซีเมนต์เพื่อทำให้กำแพงแข็งแรงขึ้น VEB ยังสามารถสร้างโดยใช้แผ่นเหล็กไวนิลหรือวัสดุอื่นๆซ้อนกันแล้วใช้เครื่องมือตอกให้แผ่นวัสดุฝังลงไปในดิน ในพื้นที่ปนเปื้อนบางแห่งสามารถก่อสร้าง VEB และตอกให้ลึกลงไปถึงชั้นของดินหรือหินที่น้ำซึมผ่านได้น้อย ซึ่งทำให้กักน้ำใต้ดินไม่ให้ซึมสู่บริเวณด้านล่างของผนังออกไปอาจมีการติดตั้งแผ่นคลุมที่ด้านบนของ VEB เพื่อป้องกันความเสียหายจากยานพาหนะหรือกิจกรรมอื่นๆ

ถึงแม้ว่าจะมีการล้อมรอบโดย VEB น้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนอาจเกิดขึ้นในบริเวณอื่นหรืออาจไหลออกจากรูเล็กๆใน VEB ไปในบริเวณที่ยังไม่ปนเปื้อน ดังนั้น เพื่อป้องกันการปนเปื้อนบริเวณอื่นอีกอาจต้องมีการขุดบ่อนอกบริเวณเพื่อสูบน้ำที่ปนเปื้อนขึ้นมาบำบัด VEB รวมทั้งมีการติดตั้งบ่อตรวจสอบเพื่อตรวจสอบว่า พื้นที่ที่ปนเปื้อนยังคงถูกแยกไว้และน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนไม่กระจายออกมาปนเปื้อนที่บริเวณอื่น ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การทำกำแพงกั้นและป้องกันการซึมด้านล่าง (Sharma *et al.*, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.8 การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้พืช (Phytoremediation)

เป็นการใช้พืชในการช่วยบำบัดสารปนเปื้อนในบริเวณพื้นที่ปนเปื้อน เพื่อลดอันตรายของสารปนเปื้อนต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดสารปนเปื้อน ทั้งที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำและสารอนินทรีย์ที่อยู่ในตัวกลางดินน้ำหรืออากาศ ซึ่งการบำบัดนี้อาศัยประโยชน์จาก กระบวนการดูดน้ำและแร่ธาตุผ่านทางรากของพืชและกระบวนการคายน้ำของพืชในการเปลี่ยนสารปนเปื้อนเหล่านั้นให้อยู่ในรูปที่ไม่มีความเป็นพิษหรือมีความเป็นพิษลดลง คุณสมบัติของพืชที่เหมาะต่อการทำ Phytoremediation มีดังนี้

- มีความทนทานต่อสารพิษที่ปนเปื้อนในพื้นที่
- เป็นพืชที่ง่ายต่อการปลูกและดูแลรักษา
- มีการเจริญเติบโตเร็ว
- มีวงจรชีวิตสั้น
- ขยายพันธุ์หรือสืบพันธุ์ได้ในอัตราสูง
- มีปริมาณของมวลชีวภาพมาก
- มีการสะสมของสารพิษหรือโลหะหนักที่ระดับสูง

2.7 ปุ๋ยอินทรีย์ (บัญชา, 2552)

ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งได้มาจากซากพืชซากสัตว์ เศษเหลือจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ต่างๆ ปุ๋ยอินทรีย์จะเป็นประโยชน์เมื่อผ่านกระบวนย่อยสลายโดยกระบวนการของจุลินทรีย์เสียก่อน ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสด

ความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์มีความสำคัญต่อการปรับปรุงดินมาก เพราะเป็นแหล่งของอินทรียวัตถุที่จะทำให้สภาพต่างๆของดินดีขึ้น

- ปุ๋ยอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารและจุลธาตุพอเพียงต่อตามความต้องการของพืช
- ในระยะแรกๆ ปุ๋ยอินทรีย์อาจทำให้พืชมีผลผลิตไม่สูงมากนักแต่ถ้าพิจารณาในระยะยาวแล้วผลผลิตของพืชจะสูงมากเนื่องจากสมบัติของดินดีขึ้นเรื่อยๆ
- ปุ๋ยอินทรีย์ จะช่วยให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเปลี่ยนแปลงได้ยากขึ้นรวมทั้งช่วยดูดยึดธาตุอาหารต่างๆเอาไว้ไม่ให้สูญเสียไปจากดินได้โดยง่าย
- ส่งเสริมให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดดิน ดินไม่อัดตัวกันแน่น มีการถ่ายเทอากาศดี การอุ้มน้ำและการไหลซึมของน้ำในดินดีขึ้น
- ธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์จะมีโอกาสสูญเสียน้อย เพราะธาตุอาหารบางส่วนเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในปุ๋ยและบางส่วนจะถูกยึดในปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของคีเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์

2.7.1 ปุ๋ยหมัก (compost)

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งได้จากการนำเอาวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ต่างๆนำมาหมักรวมกันแล้วปรับสภาพให้เกิดการย่อยสลาย โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลายจนมีสีน้ำตาลปนดำ ปุ๋ยหมักมีความสำคัญและมีคุณค่าสูงในทางการเกษตรแต่ไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควรเนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น เกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่เห็นความสำคัญที่แท้จริงของปุ๋ยหมักว่ามีคุณค่าเพียงใด ในการปรับปรุงหรือช่วยรักษาสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินให้ดีอยู่เสมอ เกษตรกรขาดความรู้และความเข้าใจในการทำปุ๋ยหมักอย่างถูกวิธี ทำให้ประสบความล้มเหลวหรือได้ผลไม่ดีเท่าที่ควรมีผลให้หมดกำลังใจและเสียความตั้งใจในการทำปุ๋ยหมักไปได้ ดังนั้นเกษตรกรต้องมีความรู้ความเข้าใจในการทำปุ๋ยหมักตลอดจนคุณประโยชน์ที่แท้จริงของปุ๋ยหมัก ต้องมีความตั้งใจจริงที่จะปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพในการเพาะปลูก จึงจะทำให้การส่งเสริมการผลิตปุ๋ยหมักบรรลุเป้าหมายได้

ความสำคัญและประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

ประโยชน์ของปุ๋ยหมักแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. ประโยชน์ในด้านการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช
2. ประโยชน์ในด้านการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน
3. ประโยชน์ในด้านการปรับปรุงสภาพแวดล้อม

การปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของดิน

ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งถ้าเป็นดินเนื้อละเอียดอัดตัวกันแน่น เช่น ดินเหนียว ปุ๋ยหมักก็จะช่วยให้ดินนั้นมีสภาพร่วนซุยมากขึ้นอัดตัวกันแน่นทึบ ทำให้การระบายน้ำและการระบายอากาศดีขึ้น ช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำหรือดูดซับน้ำที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ได้มากขึ้น ช่วยทำให้รากพืชเจริญเติบโตได้เร็ว แข็งแรง แตกแขนงได้มาก มีระบบรากที่สมบูรณ์จึงดูดซับแร่ธาตุต่างๆและน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายและดินร่วนปนทรายส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมีสารอินทรีย์อยู่น้อยไม่อุ้มน้ำการใส่ปุ๋ยหมัก ก็จะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและทำให้ดินเหล่านั้นสามารถดูดซับน้ำไว้ให้พืชได้มากขึ้นในดินเนื้อหยาบจึงควรต้องใส่ปุ๋ยหมักให้มากกว่าปกติ นอกจากคุณสมบัติต่างๆดังกล่าวแล้ว ปุ๋ยหมักยังสามารถช่วยปรับปรุงดินในแง่อื่นๆอีก เช่น ช่วยลดการจับตัวเป็นแผ่นแข็งของหน้าดิน (soil crust) ทำให้การงอกของเมล็ดและการซึมของน้ำไหลลงไปในดินสะดวกขึ้น ช่วยลดการไหล่บ่าของน้ำขณะฝนตกเป็นการลดการพัดพาหน้าดินที่สมบูรณ์ไป เมื่อกล่าวโดยรวมแล้วปุ๋ยหมักสามารถทำให้คุณสมบัติต่างๆของดินดีขึ้น ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คุณสมบัติทางกายภาพ

1.1 ส่งเสริมการเกิดเม็ดดิน (soil aggregation) ปุ๋ยหมักที่ใส่ลงในดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดีขึ้น ฮิวมัสในปุ๋ยหมักเป็นสารอินทรีย์ซึ่งมีประจุลบ ซึ่งเป็นตัวช่วยดูดยึดธาตุและมีผลให้อนุภาคดินเกาะตัวกันและสารเมือกที่ปลดปล่อยจากแบคทีเรียจะส่งเสริมการเกิดเม็ดดิน

1.2 ปุ๋ยหมักจะปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้นและลดความหนาแน่นของดินลง การระบายอากาศของดินเพิ่มมากขึ้น ระบบรากของพืชสามารถแผ่กระจายในดินได้อย่างกว้างขวาง ทำให้ความสามารถในการดูดธาตุอาหารของรากเพิ่มมากขึ้นด้วย ตลอดจนสะดวกต่อการไถพรวนและลดการเกิดชั้นดินดานแข็งได้ด้วย

1.3 ส่งเสริมให้เกิดความพรุนของผิวหน้าดินไม่เกิดสภาพผิวดินแข็ง ทำให้การซึมผ่านน้ำและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ดีขึ้น ดินมีความชุ่มชื้นยาวนานกว่าดินที่มีโครงสร้างไม่ดี ลักษณะดังกล่าวมีผลทางอ้อมในการลดการกัดกร่อนได้

2. คุณสมบัติทางเคมีของดิน

2.1 การใส่ปุ๋ยหมักจะเป็นการช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินโดยตรงถึงแม้ว่าจะไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีแต่ก็ค่อยๆ ปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาวปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำมาจากวัสดุเศษพืชต่างๆ ดังนั้น จึงมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองค่อนข้างครบถ้วนที่พืชจะเจริญเติบโตและเป็นแหล่งที่สำคัญของไนโตรเจน รวมถึงมีธาตุอาหารเสริมที่สำคัญ เช่น เหล็ก ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดินัมและอื่นๆ

2.2 เพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน ปุ๋ยหมักจะเป็นวัสดุที่มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างสูงมากกว่าดินเหนียวประมาณ 5 ถึง 10 เท่าจึงจะมีส่วนช่วยให้ปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปของแคตไอออนบางชนิดถูกดูดยึดไม่สูญเสียไป และพืชก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในบางกรณี

2.3 ปุ๋ยหมักช่วยลดความเป็นพิษของการที่มีธาตุอาหารบางธาตุมากเกินไป เช่น การใช้ปุ๋ยหมักในดินกรดจะสามารถลดความเป็นพิษของอลูมินัมและแมงกานิส โดยช่วยดูดยึดธาตุอาหารทั้ง 2 ไว้ทำให้ปริมาณในสารละลายดินลดลง การใช้ปูนขาวร่วมกับปุ๋ยหมักจะลดความเป็นพิษของอลูมินัมและแมงกานีสได้ดีที่สุด

2.4 การใส่ปุ๋ยหมักในดิน เป็นการช่วยเพิ่มความต้านทานในการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่างทำให้การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่รวดเร็วจนเป็นอันตรายต่อพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คุณสมบัติทางชีวภาพของดิน

3.1 การใส่ปุ๋ยหมักลงในดิน จะเป็นการเพิ่มอาหารให้แก่จุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์พวกเฮทเทอร์โรโทรพ ซึ่งทำให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นและพบว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่มีประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น เช่น กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดินรวมทั้งกิจกรรมของพวกเชื้อราไมคอร์ไรซาบริเวณรากพืชด้วย

3.2 การใส่ปุ๋ยหมัก ทำให้ปริมาณแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มขึ้น เช่น เชื้อ Azotobacter sp. จะมีปริมาณมากและยังมีผลต่อการยับยั้งการเจริญและความสามารถในการก่อให้เกิดโรคบางชนิดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่อยู่อาศัยใกล้รากพืชปุ๋ยหมักเป็นธาตุอาหารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ Trichorderma sp. จึงมักพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักลงดินจะช่วยลดปริมาณของเชื้อโรคบางชนิดในดินและทำให้พืชเกิดโรคน้อยลง นอกจากนี้ จุลินทรีย์บางชนิดที่เจริญเติบโตอยู่สามารถขับสารปฏิชีวนะรวมทั้งสารยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆได้หลายชนิดเป็นการลดการระบาดและความรุนแรงของโรคพืชบางชนิดได้

3.3 การเจริญของจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดฟอร์มิก อะซิติก เป็นต้น กรดอินทรีย์บางชนิดจะถูกพืชนำไปใช้ได้โดยตรง บางชนิดมีผลต่อการปลดปล่อยและการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

3.4 การใส่ปุ๋ยหมักจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณไส้เดือนฝอยในดิน จุลินทรีย์ที่เป็นศัตรูของไส้เดือนฝอยสามารถเจริญเติบโตได้ดี รวมทั้งขับสารพวกอัลคาลอยด์และกรดไขมันบางชนิดที่เป็นพิษต่อไส้เดือนฝอย การใส่ปุ๋ยหมักจึงมักส่งผลให้มีปริมาณไส้เดือนฝอยลดลง ปรากฏการณ์นี้ เกิดขึ้นคล้ายคลึงกันกับการลดลงของเชื้อสาเหตุโรคพืชในดินตามที่กล่าวข้างต้นแล้ว

การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งแร่ธาตุอาหารที่จะปลดปล่อยออกมาให้แก่ต้นพืชอย่างช้าๆและสม่ำเสมอ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปุ๋ยหมักจะมีแร่ธาตุอาหารพืชที่สำคัญครบถ้วนกล่าวคือมีไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 0.4 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณ 0.2 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์และโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำได้ 0.5 ถึง 1.8 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแร่ธาตุอาหารดังกล่าวจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเศษพืชที่นำมาหมักและวัสดุอื่นๆที่ใส่ลงไปในกองปุ๋ยนอกจากธาตุอาหาร 3 ธาตุที่กล่าวมาแล้ว ปุ๋ยหมักยังมีธาตุอาหารพืชชนิดอื่นๆอีก เช่น แคลเซียม กำมะถัน แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีส ทองแดง โบรอน คลอรีนและธาตุอื่นๆ ซึ่งโดยปกติแล้วปุ๋ยเคมีจะไม่มีหรือมีเพียงบางธาตุเท่านั้น ธาตุเหล่านี้จึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่น้อยกว่าธาตุอาหารหลักเพียงแต่ต้องการในปริมาณน้อยเท่านั้น นอกจากจะเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชแล้วปุ๋ยหมักยังมีคุณค่าในแง่การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินมีหลายประการ เช่น ช่วยทำให้แร่ธาตุอาหารพืชในดินแปรสภาพไปอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมได้ง่าย ช่วยดูดซับธาตุอาหารพืชเอาไว้ไม่ให้ถูกน้ำชะล้างสูญหายไปได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการช่วยถนอมแร่ธาตุอาหารหรือความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้อีกทางหนึ่ง โดนจะเห็นได้ว่าแม้ปุ๋ยหมักจะมีปริมาณแร่ธาตุอาหารในปุ๋ยไม่เข้มข้นเหมือนปุ๋ยเคมี แต่ก็มีลักษณะดีอื่นๆที่จะช่วยรักษาและปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้เป็นอย่างดี

การปรับปรุงสภาพแวดล้อม

1. เป็นการกำจัดขยะมูลฝอยทั่วไปทำให้บริเวณที่อยู่อาศัยถูกสุขลักษณะน่าอยู่สะอาดตา
2. ช่วยลดอุบัติเหตุซึ่งเกิดจากการทำลายเศษพืชโดยการเผา เช่น พวกตอซังข้าว เศษขยะข้างถนน เศษหญ้า ซึ่งเป็นวิธีการจัดการเศษพืชที่ไม่ถูกต้องทำให้เกิดอุบัติเหตุการจราจรติดขัดก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและยังทำให้อากาศเป็นพิษรวมทั้งทำลายสิ่งแวดล้อมของโลกด้วย การนำเศษพืชเหล่านั้นมาทำปุ๋ยหมักจะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้
3. ลดปัญหาทางด้านกลิ่นจากของเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร โดยของเหลือทิ้งต่างๆหากปล่อยทิ้งไว้นานเข้าจะเกิดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เมื่อได้นำมาทำเป็นปุ๋ยหมักแล้วจะเป็นการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกและยังเป็นการลดปัญหาด้านกลิ่นได้ด้วย
4. เป็นการกำจัดวัชพืชน้ำต่างๆ ทำให้สัตว์น้ำได้รับออกซิเจนและแสงแดดเต็มที่เกิดสภาพสมดุลในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ
5. ช่วยให้การสัญจรทางน้ำสะดวกขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการกำจัดผักตบชวาซึ่งมักมีมากเกินความต้องการตามแม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึงและแหล่งน้ำทั่วไป

วิธีการทำปุ๋ยหมัก

เมื่อรวบรวมเศษวัสดุต่างๆได้แล้ว ให้นำมากองบนพื้นดินหรือกองในคอกหรือกองในหลุมโดยกองเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นมีความหนาประมาณ 30 - 40 เซนติเมตร ขั้นตอนของการกองมีดังนี้

1. ชั้นล่างสุดหรือชั้นที่หนึ่งเมื่อนำเศษวัสดุมากองจนได้ความหนาขนาด 30 - 40 เซนติเมตร โดยมีขนาดความกว้างและความยาวตามความต้องการรดน้ำให้ชุ่มและเหยียบย่ำหรืออัดให้แน่น เพื่อทำให้น้ำแทรกซึมเข้าสู่เศษวัสดุ โรยทับด้วยปุ๋ยคอกให้ทั่ว หนาประมาณ 5 เซนติเมตร รดน้ำและรดสารเร่งที่เตรียมไว้เป็นสารละลายความเข้มข้นที่ระบุไว้ในฉลากและหว่านปุ๋ยเคมีทับลงเป็นชั้นบางๆ
2. ชั้นที่สองที่อยู่ถัดขึ้นมาก็ปฏิบัติเช่นเดียวกับชั้นที่หนึ่งคือนำเศษวัสดุมากองต่อขึ้นไปจากชั้นที่หนึ่งให้ได้ความหนาประมาณ 30 - 40 เซนติเมตร รดน้ำให้ชุ่มและเหยียบให้แน่นโรยสารเร่งต่างๆลงไปบนผิวหน้า
3. ชั้นต่อๆไปปฏิบัติเช่นเดียวกันโดยทำให้กองหนึ่งมี 4 - 5 ชั้น และในชั้นบนสุดนำดินมาโรยทับเอาไว้ให้มีความหนาประมาณ 20 - 30 นิ้ว เพราะจะช่วยป้องกันสัตว์มาคุ้ยเขี่ยกองปุ๋ยและช่วยป้องกันน้ำฝนชะล้างและความร้อนจากแสงแดดเพื่อช่วยรักษาระดับความชื้นภายในกองปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก

1. อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะเริ่มสูงขึ้น เนื่องจากกิจกรรมในการย่อยสลายเศษวัสดุต่างๆโดยจุลินทรีย์ ถ้ามีการกลับกองปุ๋ยอินทรีย์อุณหภูมิจะลดลง
2. จะพบเส้นใยสีขาวเป็นจำนวนมากที่บริเวณรอบผิวนอกของกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นเชื้อราที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆในเศษวัสดุ

การดูแลรักษากองปุ๋ยหมัก

1. ควรรดน้ำอย่างสม่ำเสมอ
2. ควรตรวจความชุ่มชื้นในกองปุ๋ย โดยใช้มือบีบเศษวัสดุจากกองปุ๋ย ถ้าเศษวัสดุจับเป็นก้อนมีน้ำไหลออกเล็กน้อยแสดงว่ามีความชื้นพอเหมาะแต่ถ้าเศษวัสดุแห้งแตกเป็นชิ้นส่วนควรรดน้ำให้ชุ่ม
3. ถ้ากองปุ๋ยแบบชนิดต้องกลับกองควรกลับกองทุก 15 วันเพื่อระบายอากาศในกองปุ๋ย

ลักษณะปุ๋ยหมักที่นำไปใช้ได้แล้วสังเกตได้จาก

1. อุณหภูมิในกองลดลงเท่ากับอุณหภูมิภายนอกรอบๆกองปุ๋ย
2. สีของเศษวัสดุเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำและมีลักษณะเปื่อยยุ่ย
3. ไม่มีกลิ่นเหม็นฉุนของก๊าซต่างๆ
4. อาจมีหญ้าหรือเห็ดขึ้นบนกองปุ๋ยหมักได้

การใช้ปุ๋ยหมัก

1. การใช้ปุ๋ยหมักในการเตรียมแปลงในการปลูกผัก พืชไร่และไม้ดอก มีดังนี้
    1.1 ในการเตรียมแปลงใช้ปุ๋ยหมักโรยให้กระจายทั่วหนาประมาณ 2 - 4 เซนติเมตร แล้วผสมคลุกเคล้าให้เข้ากับเนื้อดินโดยใช้อัตรา 3 ตันต่อไร่ ใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ในอัตรา 15 - 20 กิโลกรัมต่อไร่
    1.2 ใช้เป็นปุ๋ยแต่งหน้าเมื่อพืชเจริญเติบโตในระยะหนึ่ง โดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีโรยเป็นแถวในแปลงพืชผักและพืชไร่ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีให้เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชใช้ในอัตรา 3 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 หรือ 18-22-0 อัตรา 25 - 50 กิโลกรัมต่อไร่
2. การใช้ปุ๋ยหมักกับการปลูกพืชในภาชนะปลูกในการปลูกไม้ดอก ไม้ประดับหรือพืชผัก มีดังนี้
    2.1 ผสมปุ๋ยหมักกับดินร่วนในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 รดน้ำให้ชุ่มและคลุกเคล้าให้เข้ากันทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์
    2.2 นำวัสดุที่เตรียมไว้ในข้อ 2.1 บรรจุในกระถางหรือถุงพลาสติกหรือภาชนะอื่นๆแล้วปลูกไม้ดอก ไม้ประดับหรือพืชผักได้ตามความต้องการและควรมีการคลุมหน้าดินด้วยเศษพืช เช่น ฟางข้าว หญ้าแห้ง ใบไม้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การใช้ปุ๋ยหมักกับไม้ผลสามารถทำได้ 2 ระยะคือ

3.1 การใช้ปุ๋ยหมักกับการเตรียมหลุมปลูกไม้ผล สามารถทำได้โดยการผสมปุ๋ยหมักลงในหลุมปลูกโดยใช้อัตราส่วน ปุ๋ยหมัก:ดิน เท่ากับ 1:5 คลุกเคล้าให้เข้ากันดีแล้วจึงนำกิ่งพันธุ์ไม้ผลลงปลูกเมื่อปลูกแล้วควรคลุมดินบริเวณโคนต้นฟางหรือหญ้าแห้ง

3.2 การใช้ปุ๋ยหมักระหว่างการเจริญเติบโตของไม้ผล คือ หลังจากการปลูกไม้ผลแล้วควรใส่ปุ๋ยหมักให้ไม้ผลปีละ 1 ครั้ง วิธีการใส่ปุ๋ยทำได้โดยแบ่งปุ๋ยหมักออกเป็น 4 ส่วนส่วนที่ 1 ใช้หว่านบางๆในทรงพุ่มเพื่อเป็นอาหารของรากที่อยู่บริเวณในทรงพุ่มสำหรับอีก 3 ส่วนที่เหลือจะใส่ลงไปในร่องรอบๆทรงพุ่มที่ขุดลึกประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วกลบดินซึ่งจะเป็นคันดินกั้นรอบๆทรงพุ่มเพื่อป้องกันมิให้ไหลออกมานอกทรงพุ่มเมื่อมีการให้น้ำ

2.7.2 ปุ๋ยคอก (Manure)

ปุ๋ยคอก คือ ปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ต่างๆ ซึ่งสัตว์ได้ขับถ่ายออกมาในรูปของแข็งและของเหลว รวมไปถึงสิ่งที่ปูหรือรองไว้ให้สัตว์ เช่น ฟางหญ้า แกลบ โดยสิ่งต่างๆเหล่านี้ต้องผ่านการหมักสลายตัวก่อนนำไปใช้ประโยชน์อย่างไรก็ตามคุณภาพของมูลสัตว์เหล่านี้ ในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้มากขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์แต่ละชนิดกินเข้าไปขึ้นอยู่กับอุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ ซึ่งแสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 ที่จะเห็นได้ว่ามูลสัตว์แต่ละชนิดมีปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.1 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกชนิดต่างๆ

ประเภทของปุ๋ยคอก	N (%)	P (%)	K (%)
โค	1.91	0.56	1.40
กระบือ	1.23	0.69	1.66
ไก่	3.77	1.89	1.76
เป็ด	2.15	1.33	1.15
สุกร	3.11	12.20	1.84
ค้างคาว	5.28	8.42	0.58
นกนางแอ่น	2.04	1.66	1.83
แกะ	2.33	0.83	1.31
ม้า	2.80	1.36	1.18

ที่มา : ดัดแปลงจากปรัชญาและคณะ, 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอกมีความสำคัญในการช่วยปรับปรุงสภาพดิน ทั้งทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพ ของดินทางด้านกายภาพของดินปุ๋ยคอกส่งเสริมทำให้เกิดเม็ดดิน (soil aggregate formation) ตามเสถียรภาพของเม็ดดินถ้าใช้อย่างต่อเนื่องจะทำให้ความหนาแน่นรวม (bulk density) และความแข็ง (hardness) ลดลงแต่เพิ่มการเกิดเม็ดดิน (aggregation) ความพรุน (porosity) และการถ่ายเทอากาศ (aeration) ทางด้านเคมีของดินปุ๋ยคอกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพธาตุอาหารพืชในดินเนื่องจากปุ๋ยคอกเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนและกำมะถัน นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยคอกอย่างต่อเนื่อง จะทำให้ดินมีค่า CEC เพิ่มขึ้นและทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น และทางด้านชีวภาพของดินปุ๋ยคอกเป็นแหล่งพลังงานและสารอาหารของจุลินทรีย์ได้ การใส่ปุ๋ยคอกจึงเป็นการเพิ่มชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ดินรวมทั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ด้วย

ปัจจัยที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยคอก มีดังนี้คือ

1. ชนิดของอาหารที่สัตว์บริโภคเป็นอาหาร เช่น แมลง ปลาและหอยจะมีธาตุอาหารที่ขับถ่ายออกมามากกว่ามูลสัตว์ที่ได้จากสัตว์ที่บริโภคพืชเป็นอาหาร เช่น มูลนกและค้างคาว มูลสัตว์เลี้ยงที่เป็นสัตว์ปีกจะมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบมากกว่ามูลจากสุกร วัวและช้าง เป็นต้น
2. สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยคอกจะบ่งบอกถึง คุณสมบัติของปุ๋ยคอกที่ทำให้รู้องค์ประกอบทางเคมีปุ๋ยที่มาจากสัตว์ที่บริโภคพืชเป็นอาหารจะมีคาร์บอนต่อไนโตรเจนสัดส่วนที่กว้าง แสดงว่าปริมาณธาตุไนโตรเจนน้อย และเนื่องจากมีซากพืชในรูปของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในมูลสัตว์เหล่านั้น แต่ในมูลค้างคาวและมูลนกที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูง จึงพบว่ามีส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่แคบกว่า
3. อายุสัตว์ สัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีการย่อยสลายและดูดซึมธาตุอาหารดี จึงทำให้มูลสัตว์มีธาตุอาหารน้อยแต่ในสัตว์อายุมากการย่อยสลายและการดูดซึมธาตุอาหารจะมีน้อย จึงทำให้มูลสัตว์อายุมากมีธาตุอาหารมาก
4. วัสดุรองพื้นคอกควรเลือกใช้วัสดุที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบหรือต่ำ เช่น หญ้าขน ผักตบชวา เปลือกมันสำปะหลัง ต้นข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง ฟางข้าวตามลำดับโดยหญ้าขนจะมี C/N แคบที่สุดและฟางข้าวจะมี C/N กว้างมากถ้าใช้ข้าวโพดอาจใช้ของปริมาณมูลสัตว์ทั้งหมดที่ถ่ายออกมา วัสดุรองพื้นคอกต้องดูดซับธาตุอาหารที่อยู่ในของเหลวของสัตว์ได้ดีพวกธัญพืช ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ตอซังข้าวจะดูดซับน้ำได้ประมาณ 2 - 3 เท่าของน้ำหนักแห้ง
5. การเก็บรักษาปุ๋ยคอกการสลายตัวของปุ๋ยคอกจะเกิดขึ้นในเวลาสั้นกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารได้ง่าย เช่น ถ้าเก็บปุ๋ยคอกในที่ที่มีความชื้นสูงจะเกิดการย่อยสลายแบบไม่มีอากาศจะเกิดการสูญเสียธาตุอาหารในรูปคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยคอกลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บรักษาปุ๋ยคอกควรมีการปฏิบัติดังนี้

1. ควรเลือกใช้วัสดุรองพื้นคอกที่สามารถซับปัสสาวะของสัตว์ได้ เช่น ถ้าเราใช้วัสดุรองพื้นคอกที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบจะดีกว่าการใช้วัสดุที่มีคาร์บอนไนโตรเจนกว้าง
2. หมั่นเก็บมูลสัตว์มารวบรวมไว้บ่อยๆ
3. ควรเก็บข้อมูลสัตว์ไว้ในที่มีหลังคาปิดเพื่อป้องกันการชะล้างละลายของธาตุอาหารไปกับน้ำฝน
4. ไม่ควรเก็บปุ๋ยคอกไว้นานเกินไปเพราะจะทำให้ธาตุอาหารลดลง เช่น ถ้ามีการเก็บไว้นาน 3 เดือน จำนวนธาตุอาหารหายไป 1 ใน 3 ของปุ๋ยทั้งหมดและถ้านานเป็นเวลา 6 เดือนจำนวนธาตุอาหารหายไป 1 ใน 2 ของปุ๋ยทั้งหมดแต่ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บรักษาด้วย
5. สามารถเก็บมูลสัตว์ไว้ในหลุมที่ทำด้วยคอนกรีตได้จะช่วยป้องกันการสูญเสียได้
6. เพื่อป้องกันการสูญเสียธาตุไนโตรเจนไม่ให้ระเหยไปเป็นก๊าซ ควรใช้ยิปซัมหรือกรดบางชนิด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริกอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงเล็กน้อย

วิธีการใช้ปุ๋ยคอก

ในทางปฏิบัติควรใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีจะดีที่สุด เพราะปุ๋ยคอกใช้ธาตุอาหารปริมาณน้อย แต่มีความสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีปริมาณธาตุอาหารมากก็จะได้รับประโยชน์มาก คือ จะทำให้พืชได้รับธาตุอาหารและยังปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินด้วย ปุ๋ยคอกที่จะนำมาใช้ควรจะมีความชื้นน้อย การใช้ปุ๋ยคอกกับพืชชนิดต่างๆ มีดังนี้

1. การใช้ปุ๋ยคอกในพืชสวน พืชผัก ไม้กระถาง โดยการใส่ก้นหลุมก่อนปลูกโดยขุดดินขึ้นมาตากแห้งแล้วทุบละเอียดผสมปุ๋ยคอกลงในอัตราส่วน ดิน:ปุ๋ยคอก 1:1 ถ้าเป็นดินร่วนก็ใช้อัตรา 1:2 ถ้าเป็นดินทรายต้องนำดินทรายไปผสมดินเหนียว 1:1 ก่อนแล้วจึงนำดินผสมกับปุ๋ยคอกในอัตรา 1:1 ใส่รองก้นหลุม
2. การใช้ปุ๋ยคอกในพืชไร่ควรใส่ก่อนปลูกตอนไถพรวนเตรียมดิน ถ้าปลูกพืชหลายครั้งควรใส่หลังการเก็บเกี่ยวพืชทุกครั้ง เมื่อใส่ปุ๋ยแล้วควรไถพรวนให้คลุกเคล้ากับดินแล้วจึงปลูกพืช โดยการใส่ปุ๋ยคอกหลังการปลูกด้วยวิธีหว่านจะได้ผลน้อยกว่าใส่ก่อนการปลูกหรือตอนไถพรวนดิน
3. การใส่ปุ๋ยในพืชผักหรือแปลงไม้ดอกหรือพืชที่หว่านด้วยเมล็ดถ้าใช้ปุ๋ยคอกที่เป็นก้อนโตหรือปุ๋ยคอกที่ยังไม่สลายตัวสมบูรณ์จะทำให้เมล็ดไม่งอก บางครั้งอาจเกิดโรคกับกล้าของต้นพืชได้ดังนั้นในกรณีนี้ควรใส่ปุ๋ยคอกที่ละเอียดและมีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว
4. การใส่ปุ๋ยคอกในไม้ผลใส่โดยการขุดหลุมลึก 5 - 6 นิ้ว รอบรัศมีต้นใส่ปุ๋ยแล้วพรวนดินให้เข้ากับปุ๋ยส่วนในแปลงผัก แปลงดอกไม้ ไม้กระถาง ใส่ปุ๋ยคอกโดยการหว่านบนผิวหน้าดินหรือผสมกับดินก่อนแล้วจึงนำดินผสมปุ๋ยคอกมาหว่านบางๆในแปลงก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A. Venegas และคณะ (2015) ศึกษาความสามารถในการสะเทินกรดและ Isotherm ของการดูดซับสารละลายแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี โดยใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกเป็นวัสดุดูดซับ เตรียมปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกที่ผ่านการตากแดดจนแห้งแล้วนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 50 เมช ชั่งตัวอย่างปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกที่แห้งและร่อนแล้วมาอย่างละ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรแล้วเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้อัตราส่วน ดิน : น้ำ เท่ากับ 1 : 100 นำไปเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที กรองผ่านเครื่องกรองสูญญากาศแล้วนำสารละลายปุ๋ยที่กรองได้มาวัดค่า pH ของสารละลายเริ่มต้นและจดค่าที่ได้แบ่งสารละลายเป็น 2 ส่วน อย่างละ 50 มิลลิลิตรส่วนแรกเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N ทีละ 0.02 มิลลิลิตร พร้อมคนสารละลายพร้อมกับวัดและจดค่า pH ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนได้ค่าของสารละลาย pH=12 ส่วนที่สองเติมกรดไนตริก 1 N ทีละ 0.02 มิลลิลิตร พร้อมคนสารละลายพร้อมกับนำมาวัดและจดค่า pH ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนได้ค่าของสารละลาย pH=2 นำค่า pH ที่ได้มาพล็อตกราฟกับ added acid (meq/g) พบว่าค่าความสามารถในการสะเทินกรดของปุ๋ยคอกเท่ากับ 1,440 meq/kg ซึ่งมีค่ามากกว่าปุ๋ยหมักที่มีค่าเท่ากับ 480 meq/kg บ่งบอกได้ว่าปุ๋ยคอกมีค่าความจุบัฟเฟอร์มากกว่าปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอกจึงสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ได้มากกว่าปุ๋ยหมัก ค่าความสามารถในการสะเทินกรดที่ได้มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ A. Venegas และคณะ แสดงว่าปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกของงานวิจัยนี้มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตน้อยกว่าปุ๋ยของงานวิจัย A. Venegas และคณะ ในการศึกษา Isotherm ของการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีจะนำปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกมาอย่างละ 1 กรัม ใส่ขวดพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตร เติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.01 M 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกมาเติมน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักโดยเลือกมา 10 ความเข้มข้นที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.1 – 4.0 meq/l ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายตัวอย่างมาหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที นำสารละลายมาผ่านกระดาษกรอง whatman no. 1 บันทึกปริมาตรสารละลาย วัดปริมาณโลหะหนัก ด้วยเทคนิค AAS นำไป plot graph ของ equilibrium adsorption isotherm พบว่า จากการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ว่า ในการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกอาจจะมีการดูดซับเป็นไปได้ 2 แบบ คือ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ส่วนการดูดซับตะกั่วและสังกะสีในปุ๋ยหมักจะมีการดูดซับเป็นไปตาม Langmuir Isotherm ส่วนปุ๋ยคอกมีการดูดซับเป็นไปตาม Freundlich Isotherm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ahmed และคณะ (2005) ศึกษากรดฮิวมิก โดยสกัดตัวอย่างปุ๋ย 1 กรัม โดยใช้ 0.1 M NaOH 50 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด polyethylene centrifuge แล้วทำการเขย่า 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที กรดฮิวมิคจะแยกออกจากฟุลวิคอย่างชัดเจน โดยที่ส่วนที่เป็นสารละลายใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยง (supernatant) เป็นกรดฟุลวิคและส่วนที่เป็นตะกอนเป็นกรดฮิวมิค นำตะกอนกรดฮิวมิคที่ได้มาอบที่ 55 - 60 องศาเซลเซียส จนกว่าจะแห้งสนิท จากการทดลองพบว่า ปุ๋ยหมักมีค่า 1.58 ± 0.33 % และปุ๋ยคอกมีค่า 15.13 ± 2.17 % โดยที่กรดฮิวมิค คือ สารประกอบหลักของสสารฮิวมิค ซึ่งสสารฮิวมิคเป็นสารประกอบหลักของฮิวมัสระหว่างที่มีการเกิดฮิวมัส โดยที่จุลินทรีย์นั้นจะหลั่งสารที่มีลักษณะเป็นยางเหนียว ซึ่งช่วยให้โครงสร้างของดินที่กระจายตัวยึดอนุภาคต่างๆเข้าด้วยกัน ทำให้ดินร่วนและโปร่งอากาศ สารพิษ เช่น ธาตุโลหะหนักต่างๆ และธาตุอาหารที่มากเกินใช้ของพืชจะถูกกันไม่ให้เกิดพิษร้ายหรือออกฤทธิ์ได้ โดยวิธีการผนวกเข้ากับโมเลกุลสารอินทรีย์เชิงซ้อนของฮิวมัสและขณะเดียวกันก็ ช่วยป้องกันไม่ให้สารดังกล่าวแพร่เข้าสู่ระบบนิเวศที่กว้างออกไปกว่าเดิม

Chaney (1982) ศึกษาคุณสมบัติของดินที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของพืช โดยที่จะไปควบคุมสภาพการละลายได้ของโลหะหนัก ได้แก่ สภาพกรด-ด่าง เนื้อดิน วัตถุต้นกำเนิดดิน ชนิดและปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในดิน ระดับความชื้นและอุณหภูมิของดิน โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่สูงขึ้นจะช่วยลดโลหะหนักในดินได้เนื่องจากอินทรียวัตถุสามารถยึดจับโลหะหนักได้ดีทำให้พืชดูดโลหะหนักได้น้อยลง

บัญชา (2552) ดินเป็นทรัพยากรที่มีค่าและมีความสำคัญต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก มนุษย์จึงใช้ดินให้เกิดประโยชน์มาช้านาน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆได้ โดยเฉพาะด้านการเกษตร แต่ในปัจจุบันพบว่าสภาพดินมีความเสื่อมโทรมลงเนื่องจากขาดการบำรุงรักษาดิน โดยเฉพาะการใช้สารเคมีโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบที่ตามมา ทำให้ดินเสื่อมสภาพลง ดังนั้น เราจึงต้องให้ความสำคัญในการจัดการสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น โดยใช้วัสดุอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน เพื่อให้ดินมีคุณภาพดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยดูดซับโลหะหนักซึ่งเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) รุ่น AAnalyst 200 ยี่ห้อ Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer) รุ่น GENESYS 10S UV-Vis ยี่ห้อ Thermo Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณธาตุคาร์บอน (Total Organic Carbon; TOC) รุ่น SOLID SAMPLE MODULE ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
4. ตู้อบ (Drying Ovens) รุ่น UM400 ยี่ห้อ Memmert ประเทศเยอรมัน
5. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Pump) รุ่น Aspirator A-3s ยี่ห้อ Eyela ประเทศญี่ปุ่น
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) รุ่น ED224S ยี่ห้อ Sartorius ประเทศเยอรมัน
7. ตะแกรงร่อนขนาด 0.2 - 0.5 มิลลิลิตร
8. กระดาษกรอง (Filter Papers) เบอร์ 1 (70 มิลลิเมตร) ยี่ห้อ Whatman
9. ไมโครปิเปต (Micropipette)
10. โถดูดความชื้น (Desiccator)
11. หลอดเซนติฟิวที่ทำจากโพลีโพรพิลีน (Centrifuge Tube)
12. ตะแกรงร่อน (Sieved) ขนาด 50เมช มาตรฐาน ASYM E11
13. ขวดพลาสติกที่ทำจากโพลีเอทิลีน (Bottle)
14. จุกยางแดง (Rubber Pipette Bulb)
15. เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (Glassware Chemical)
16. ครกและสาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

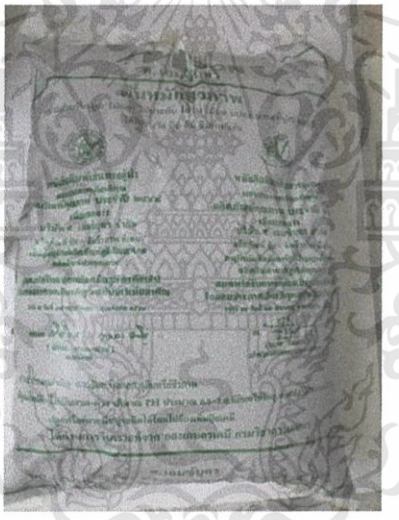
3.1.2 สารเคมี

1. ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4.7H_2O$) เกรดวิเคราะห์ RPE ยี่ห้อ Carlo Erba ประเทศอิตาลี
2. แคดเมียมซัลเฟต ($CdSO_4.8H_2O$) เกรดวิเคราะห์ RPE ยี่ห้อ Carlo Erba ประเทศอิตาลี
3. เลดไนเทรต ($Pb(NO_3)_2$) เกรดวิเคราะห์ AR ยี่ห้อ Ajax Chemicals ประเทศออสเตรเลีย
4. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์ RPE ยี่ห้อ Carlo Erba ประเทศอิตาลี
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ RPE ยี่ห้อ Carlo Erba ประเทศอิตาลี
6. แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เกรดวิเคราะห์ AR ยี่ห้อ Ajax Chemicals ประเทศออสเตรเลีย
7. กรดไนตริก (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ RPE ยี่ห้อ Carlo Erba ประเทศอิตาลี

3.2 การเตรียมตัวอย่างปุ๋ยสำหรับห้องปฏิบัติการ

3.2.1 ที่มาของวัสดุ

3.2.1.1 ปุ๋ยหมัก



รูปที่ 3.1 ปุ๋ยหมัก

ชื่อผลิตภัณฑ์	M son ดินหมักชีวภาพ
ส่วนประกอบสำคัญ	กากอ้อยและจุลินทรีย์ชีวภาพ
ผู้ผลิต	ศ.เอมซ์บุตร
ราคา	20 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 ปุ๋ยคอก

รูปที่ 3.2 ปุ๋ยคอก

ชื่อผลิตภัณฑ์	K.S.A. ปุ๋ยคอกโคนมแท้ 100%
ส่วนประกอบสำคัญ	มูลจากวัวนมที่เลี้ยงด้วยหัวอาหารและต้นข้าวโพด
ผู้ผลิต	ศ.เอมซ์บุตร
ราคา	20 บาท

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างปุ๋ย

1. นำปุ๋ยไปตากแห้งไว้ 1 คืน
2. ใช้ตะแกรงร่อนดินขนาด 50 เมช (ช่องตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร) แล้วเทปุ๋ยตัวอย่างลงในตะแกรง สวมใส่ถุงมือยางเพื่อกันไม่ให้กรดและเบสจากมือของผู้ปฏิบัติไปทำให้ค่าพีเอชของปุ๋ยคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง
3. ค่อยๆ เขี่ยเบาๆ ทำให้ปุ๋ยผ่านช่องตะแกรงลงไปบนถาด อย่าดันจนตะแกรงลวดโก่งด้วยการกดปุ๋ยแรงเกินไป หยิบเอาหินและสิ่งปะปนอื่นๆ ออกจากตะแกรงทิ้งไป เก็บรักษาตัวอย่างปุ๋ยที่ร่อนแล้ว แต่ละชนิดไว้สำหรับการวิเคราะห์อื่นๆ
4. เก็บตัวอย่างปุ๋ยนี้ไว้ในโถดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธี / เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์
pH	pH Meter
Moisture Content (%)	Dry method at 105 °C
CEC (cmol/kg)	Displacement after washing method
LOI (%)	Dry method at 550 °C
TOC (%)	Solid Sample Module (SSM-5000A)
C (%)	Solid Sample Module (SSM-5000A)
DOC (%)	Walkley and Black method
HA (%)	Sedimentation
EC (mS/cm)	Electrometric
N (%)	TKN (Kjeldahl method)
C/N ratio	Calculation method
NO_3^- (mg/l)	Brucine method
Cl^- (mg/l)	Argentometric method
P (mg/kg)	Vanado molybdophosphoric acid method
Al (mg/kg)	Visible spectrometer
Ca, Mg, K, Cd, Pb, Zn (mg/kg)	Atomic absorption spectrometry (AAS)

หมายเหตุ: ศึกษาวิธีการทดลองในภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ศึกษาความสามารถการสะเทินกรดของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก (Venegas, 2015)

1. ชั่งตัวอย่างปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกที่แห้งและร่อนแล้วมาอย่างละ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้อัตราส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:100
2. นำไปเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
3. นำไปกรองผ่านเครื่องกรองสุญญากาศ
4. นำสารละลายปุ๋ยที่กรองได้มาวัดค่า pH ของสารละลายเริ่มต้นและจดค่าที่ได้แบ่งสารละลายเป็น 2 ส่วน อย่างละ 50 มิลลิลิตร
5. ส่วนแรกเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N ทีละ 0.02 มิลลิลิตร พร้อมคนสารละลาย นำมาวัดและจดค่า pH ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนได้ค่าของสารละลาย pH=12
6. ส่วนที่สองเติมกรดไนตริก 1 N ทีละ 0.02 มิลลิลิตร พร้อมคนสารละลาย นำมาวัดและจดค่า pH ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนได้ค่าของสารละลาย pH=2
7. นำค่า pH ที่ได้มาพล๊อตกราฟกับ added acid (meq/g)

3.5 ศึกษา Isotherm ในการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก (Venegas, 2015)

1. นำปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกมาอย่างละ 1 กรัม ใส่ขวดพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตร เติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.01 M 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
2. นำปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกจากข้อ 1 มาเติมน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักโดยเลือกมา 10 ความเข้มข้นที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.1 – 4.0 meq/l ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. นำสารละลายตัวอย่างมาหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที
4. นำสารละลายมาผ่านกระดาษกรอง whatman no. 1 บันทึกปริมาตรสารละลาย วัดปริมาณโลหะหนัก ด้วยเทคนิค AAS นำไป plot graph ของ equilibrium adsorption isotherm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การนำเสนอโครงงานพิเศษ เรื่อง การศึกษาความสามารถในการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก เพื่อแก้ไขปัญหาดินปนเปื้อน แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี การสะเทินด้วยกรดและไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป

4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ปุ๋ยนอกจากจะใช้เป็นอาหารธาตุแก่พืชเพื่อการเจริญเติบโตแล้ว ยังมีอีกประโยชน์หนึ่งนั่นก็คือการนำปุ๋ยมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักเพื่อแก้ไขปัญหาดินปนเปื้อน โดยการจะทราบว่าสามารถนำมาดูดซับได้หรือไม่นั้นจำเป็นจะต้องทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีเสียก่อน

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ปุ๋ยหมัก	ปุ๋ยคอก
pH	7.28 ± 0.17	7.21 ± 0.09
Moisture Content (%)	2.02 ± 0.21	2.60 ± 0.81
CEC (cmol/kg)	12.57 ± 0.18	30.28 ± 0.09
LOI (%)	6.72 ± 0.75	6.61 ± 1.91
TOC (%)	5.92 ± 0.06	6.11 ± 0.11
C (%)	7.21 ± 0.12	7.37 ± 0.04
DOC (%)	0.11 ± 0.05	0.30 ± 0.05
HA (%)	1.58 ± 0.33	15.13 ± 2.17
EC (mS/cm)	1.39 ± 0.17	1.98 ± 0.02
N (%)	0.37 ± 0.02	0.19 ± 0.02
C/N ratio	19.66 ± 0.27	39.76 ± 4.03
NO_3^- (mg/l)	0.12 ± 0.01	0.95 ± 0.06
Cl^- (mg/l)	n.d.	n.d.
P (mg/kg)	13.26 ± 0.38	22.96 ± 0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ปุ๋ยหมัก	ปุ๋ยคอก
Al (mg/kg)	1.73 ± 0.13	1.59 ± 0.18
Ca (mg/kg)	18,030.00 ± 75.50	87,100.67 ± 547.50
Mg (mg/kg)	1,459.33 ± 9.02	7,433.23 ± 27.75
K (mg/kg)	87,077.33 ± 72.21	17,993.33 ± 42.77
Cd (mg/kg)	5.00 ± 0.40	26.45 ± 3.53
Pb (mg/kg)	10.83 ± 1.80	3.30 ± 0.60
Zn (mg/kg)	8.28 ± 1.18	12.50 ± 1.25

จากผลการทดลองพบว่า pH ของสารละลายจะมีผลต่อความเป็นขั้วของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ โดยทำให้แรงที่กระทำต่อกันระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากสมบัติความเป็นขั้วที่เปลี่ยนแปลงส่งผลให้เกิดการดูดซับได้ดีขึ้นหรือแย่ลงซึ่งปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกของงานวิจัยนี้เป็นเบสอ่อนๆมีค่า pH อยู่ช่วง 7.0 - 8.0 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในดิน ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Moisture content) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการเผา (%LOI) จะบ่งบอกถึงความสามารถในการละลายน้ำของโลหะหนัก ซึ่งถ้าในปุ๋ยมีความชื้นมากก็จะทำให้โลหะหนักสามารถละลายได้มากเช่นกัน ดังนั้น ปุ๋ยในงานวิจัยนี้จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำในดินต่ำทำให้โลหะหนักละลายในปุ๋ยได้น้อยจึงทำให้ปุ๋ยดูดซับโลหะหนักได้ไม่ค่อยดี ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในสารอินทรีย์ (%TOC) ช่วยบ่งบอกว่าปุ๋ยของงานวิจัยนี้มีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่าไหร่ ซึ่งปริมาณอินทรีย์วัตถุถ้ามีมากจะทำให้สามารถดูดซับโลหะหนักได้มากยิ่งขึ้น เมื่ออินทรีย์วัตถุในปุ๋ยเกิดการแตกตัวจะทำให้มีประจุลบเกิดขึ้นมาก จึงมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้มากอีกทั้งยังสามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลง pH ได้อีกด้วย โดยร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในสารอินทรีย์ (%TOC) จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับร้อยละปริมาณคาร์บอน (%C) ในส่วนของร้อยละของค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (%DOC) ที่มีค่าต่ำและอัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่สูง จะทำให้ปุ๋ยของงานวิจัยนี้จัดอยู่ในวัสดุประเภทย่อยสลายได้ยาก คือ มีอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุน้อยทำให้มีประจุลบค่อนข้างคงที่ ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักจึงสามารถดูดซับโลหะหนักได้นานยิ่งขึ้น ซึ่งผลข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. Venegas และคณะ (2015) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) อยู่ในช่วงปานกลางถึงสูง แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดมีความสามารถในการดูดซับและแลกเปลี่ยนสารประจุบวกได้ดี ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) จะแสดงถึงค่าการนำไฟฟ้าของเกลือ โดยถ้าปุ๋ยมีค่าการนำไฟฟ้ามากความสามารถในการดูดซับโลหะหนักจะลดลงเพราะเกลือจะแตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบ จึงทำให้อินทรีย์วัตถุในดินอาจจะดูดซับเกลือแทนโลหะหนัก แต่ปุ๋ยใน

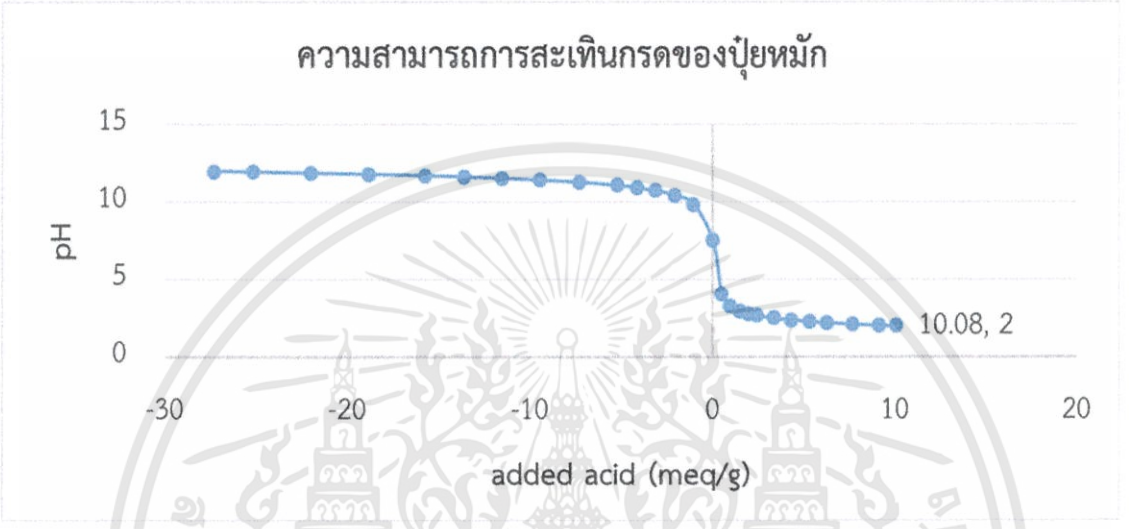
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับกรมพัฒนาที่ดินจึงทำให้ดูดซับโลหะหนักได้ดี กรดฮิวมิค (HA) คือส่วนประกอบหลักของสสารฮิวมิค ซึ่งสสารฮิวมิคเป็นสารประกอบหลักของฮิวมัส ระหว่างที่มีการเกิดฮิวมัสจุลินทรีย์จะหลั่งสารที่มีลักษณะเป็นยางเหนียว ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้างของดินที่กระจายตัวยึดอนุภาคต่างๆเข้าด้วยกัน ทำให้ดินร่วนและโปร่งอากาศธาตุโลหะหนักต่างๆและธาตุอาหารที่มากเกินใช้ของพืชจะถูกกันไม่ให้เกิดพิษร้ายหรือออกฤทธิ์ได้ โดยวิธีผนวกเข้ากับโมเลกุลสารอินทรีย์เชิงซ้อนของฮิวมัสและขณะเดียวกัน ก็จะช่วยป้องกันไม่ให้สารดังกล่าวแพร่เข้าสู่ระบบนิเวศที่กว้างออกไปกว่าเดิม โดยปุ๋ยคอกในงานวิจัยนี้จะสามารถดูดซับโลหะหนักได้มากกว่าปุ๋ยหมัก เนื่องจาก มีกรดฮิวมิคมากกว่า ส่วนธาตุอาหารหลักในปุ๋ยพวก ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) จะถูกจัดอยู่ในสารอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยยิ่งมีสารอินทรีย์สูงจะทำให้สามารถดูดซับโลหะหนักได้มากขึ้น

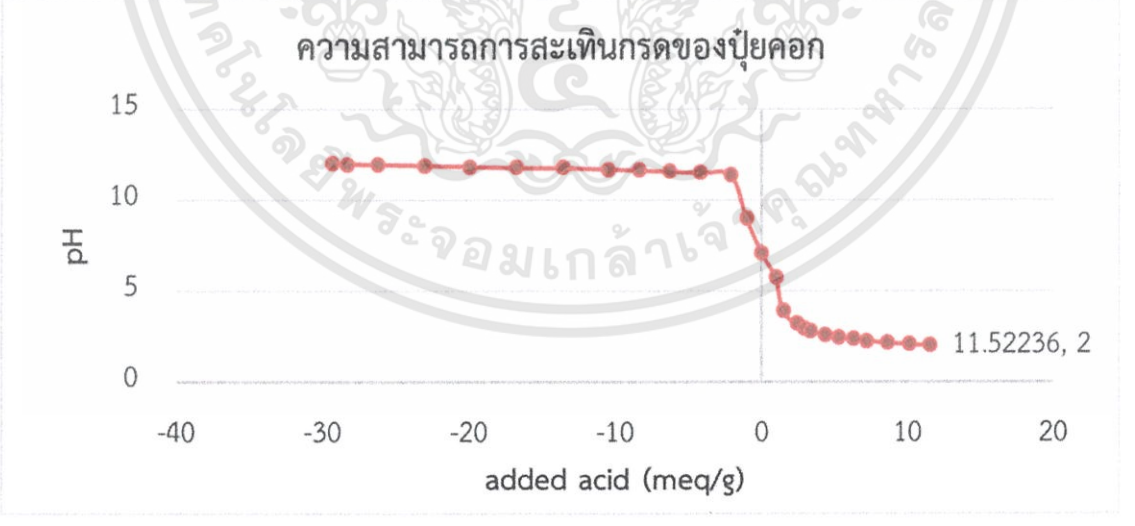
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาความสามารถการสะเทินกรดของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

จากการทดลองเพื่อหาค่าความสามารถในการสะเทินกรดของปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมัก ทำการทดลอง โดยใช้กรด HNO_3 ความเข้มข้น 1 N และ เบส NaOH ความเข้มข้น 1 N ในการสะเทินปุ๋ย พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การแสดงการสะเทินด้วยกรดของปุ๋ยหมัก



รูปที่ 4.2 การแสดงการสะเทินด้วยกรดของปุ๋ยคอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.1 พบว่า ปุ๋ยหมักมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.42 เมื่อเติมเบส NaOH ความเข้มข้น 1 N ลงไป 1.05 meq/g ครั้งแรกทำให้ pH เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 8.96 แล้วเมื่อเติมทีละ 1.05 meq/g ไปเรื่อยๆจน meq/g เท่ากับ 11.85 ซึ่งทำให้สารละลายมี pH เป็น 11.41 แนวโน้มของกราฟจึงเริ่มคงที่ จนกระทั่งเติม NaOH เป็น 28.35 meq/g จะทำให้สารละลายมี pH เท่ากับ 12 และเมื่อเติมกรด HNO_3 ความเข้มข้น 1 N ลงไปครั้งแรก 0.96 meq/g จะทำให้ค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็วเป็น 5.75 จากเดิมที่มี pH 7.42 และเมื่อเติมลงทีละ 0.96 meq/g ไปเรื่อยๆจน meq/g เท่ากับ 1.92 ซึ่งทำให้สารละลายมี pH เป็น 2.77 แนวโน้มของกราฟจึงเริ่มคงที่จนกระทั่งเติม HNO_3 เป็น 9.12 meq/g จะทำให้สารละลายมี pH เท่ากับ 2 จากรูปที่ 4.2 พบว่า ปุ๋ยคอกมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.32 เมื่อเติมเบส NaOH ความเข้มข้น 1 N ลงไป 1.05 meq/g ครั้งแรกทำให้ pH เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 8.93 แล้วเมื่อเติมทีละ 1.05meq/g ไปเรื่อยๆจน meq/g เท่ากับ 9.45 ซึ่งทำให้สารละลายมี pH เป็น 11.31 แนวโน้มของกราฟจึงเริ่มคงที่จนกระทั่งเติม NaOH เป็น 31.8 meq/g จะทำให้สารละลายมี pH เท่ากับ 12 และเมื่อเติมกรด HNO_3 ความเข้มข้น 1 N ลงไปครั้งแรก 0.96 meq/g จะทำให้ค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็วเป็น 5.55 จากเดิมที่มี pH 7.32 และเมื่อเติมลงทีละ 0.96 meq/g ไปเรื่อยๆจน meq/g เท่ากับ 2.88 ซึ่งทำให้สารละลายมี pH เป็น 2.77 แนวโน้มของกราฟจึงเริ่มคงที่จนกระทั่งเติม HNO_3 เป็น 11.02 meq/g จะทำให้สารละลายมี pH เท่ากับ 2

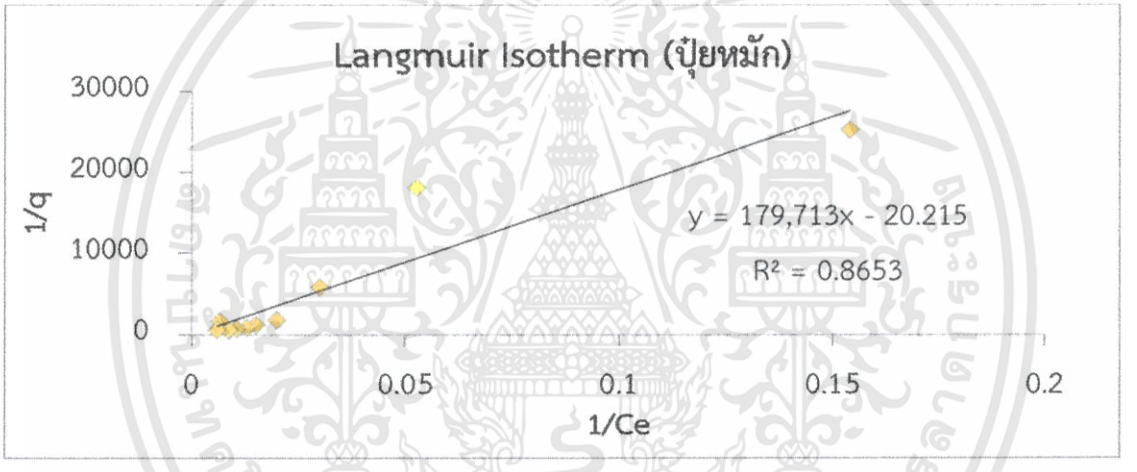
จากผลการทดลองค่าความสามารถในการสะเทินกรดของปุ๋ยคอกเท่ากับ 1,440 meq/kg มีค่ามากกว่าปุ๋ยหมักที่มีค่าเท่ากับ 480 meq/kg บ่งบอกได้ว่าปุ๋ยคอกมีค่าความจุบัฟเฟอร์มากกว่าปุ๋ยหมัก ที่ค่าความสามารถในการสะเทินกรดสูงเพราะค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Qui and Calcinai, 1978) เนื่องจากค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณประจุลบบนผิวของอินทรีย์วัตถุ ดังนั้น ปริมาณประจุลบที่มากจะสามารถดูดซับโปรตรอนของกรดได้จึงสามารถคงค่า pH ของดินได้แล้วยังสามารถดูจากปริมาณกรดฮิวมิค (HA), ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในสารอินทรีย์ (TOC), ปริมาณไนโตรเจน (N) และ ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ จึงกล่าวได้ว่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 ตัว เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสามารถในการสะเทินกรดของปุ๋ย ดังนั้น เมื่อมีค่าความสามารถในการสะเทินกรดมากก็สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และ สามารถดูดซับโลหะได้มากขึ้นเช่นกัน ค่าความสามารถในการสะเทินกรดที่ได้มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ A. Venegas และคณะ แสดงว่าปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกของงานวิจัยนี้มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต, ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) , ปริมาณไนโตรเจน (N) และปริมาณฟอสฟอรัส (P) น้อยกว่าปุ๋ยของงานวิจัย A. Venegas และคณะ (2015) รวมทั้งประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกก็มีค่าน้อยกว่าด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

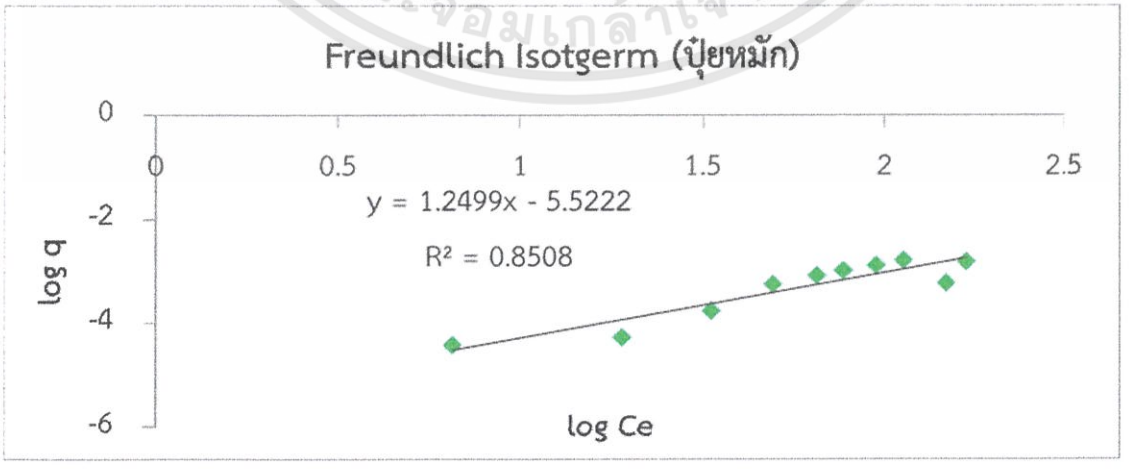
4.3 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป

4.3.1 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยหมักที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยหมักแล้ว จึงทำการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียมตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยหมักแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm โดยศึกษาจากน้ำหนักของตัวดูดซับ ที่มีน้ำหนักคงที่ คือ 1 กรัม ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 10 ความเข้มข้น ระยะเวลาการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี คือ 24 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.3 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมักโดยใช้ Langmuir Isotherm



รูปที่ 4.4 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมักโดยใช้ Freundlich Isotherm

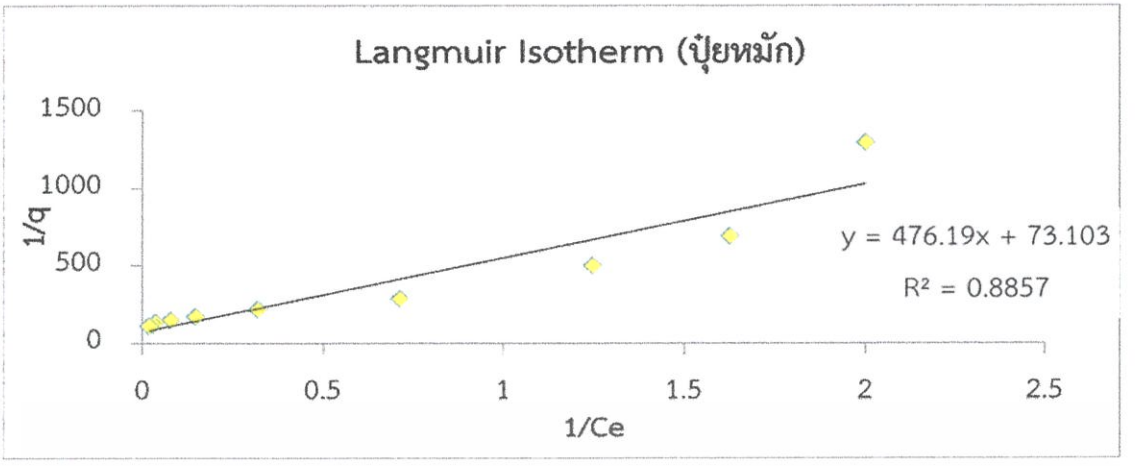
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.8653) มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการฟรุนดิช (R^2 = 0.8508) แสดงว่า ทั้งไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช มีความเหมาะสมในการอธิบายข้อมูลการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมัก จึงสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการไอโซเทอร์มทั้ง 2 แบบ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับชั้นเดียวของแลงเมียร์ และมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับหลายชั้นของฟรุนดิช (A. Alihosseini *et al.*, 2010)

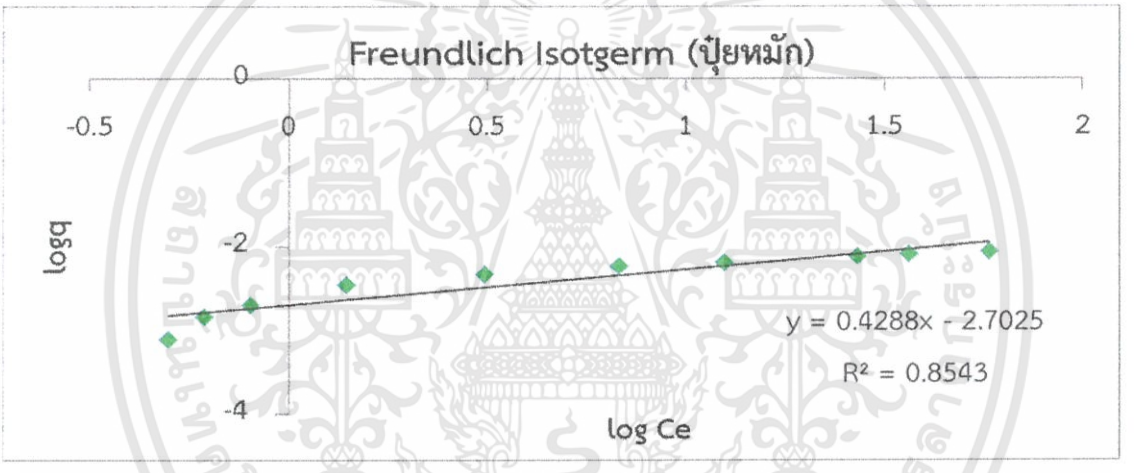
จากรูปที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมัก โดยใช้ Langmuir Isotherm ได้สมการเส้นตรง y = 17,971x - 20.21 ซึ่งมีค่าคงที่ $1/q_m$ เท่ากับ -20.21 mg/g และค่า $1/q_mb$ เท่ากับ 17,971 mg/g และสามารถคำนวณหา b ได้เท่ากับ $-1.12x10^{-3}$ mg/g

จากรูปที่ 4.4 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมัก โดยใช้ Freundlich Isotherm ได้สมการเส้นตรง y = 1.249x - 5.522 ซึ่งมีความชัน n เท่ากับ 1.249 mg/g ค่า 1/n เท่ากับ 0.80 mg/g และสามารถคำนวณหาค่า K_f ได้เท่ากับ $3x10^{-6}$ mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยหมักโดยใช้ Langmuir Isotherm

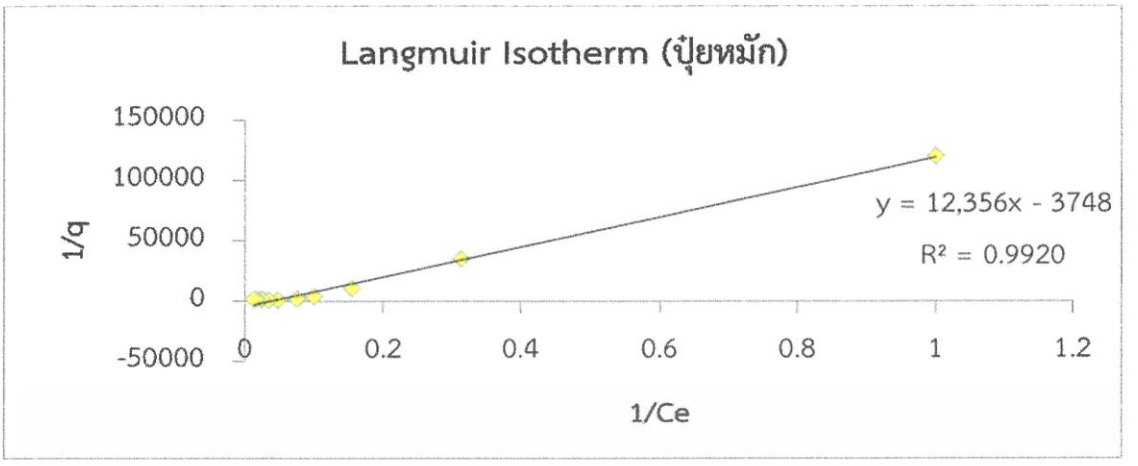


รูปที่ 4.6 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยหมักโดยใช้ Freundlich Isotherm

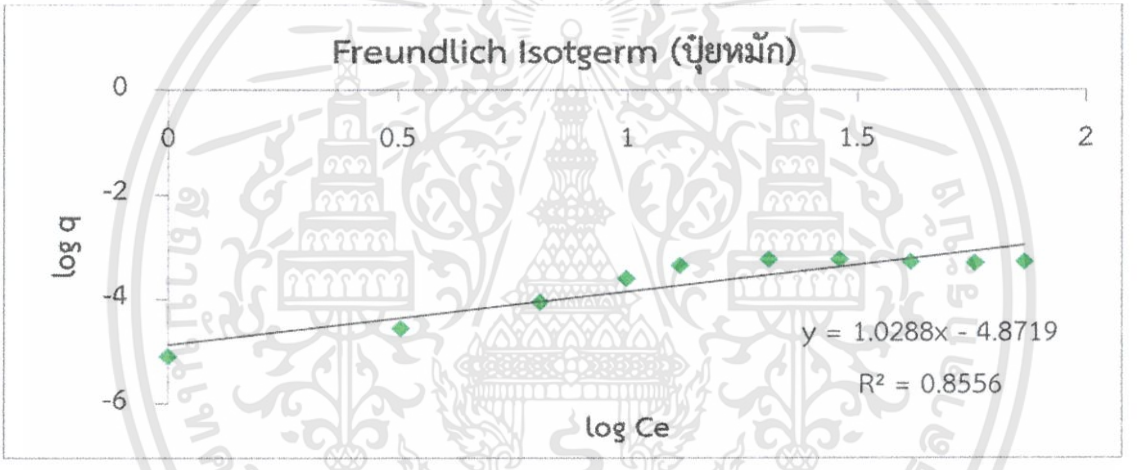
จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.8857) มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าสมการฟรุนดิช (R^2 = 0.8543) แสดงว่า ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิชไม่เหมาะสมในการอธิบายข้อมูลการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมัก แต่สามารถอธิบายได้ดีโดยใช้ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับชั้นเดียวของแลงเมียร์ ซึ่งทำให้เกิดพื้นที่ชั้นเดียว (A. Alihosseini *et al.*, 2010)

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยหมัก โดยใช้ Langmuir Isotherm ได้สมการเส้นตรง y = 476.19x + 73.103 ซึ่งมีค่าคงที่ $1/q_m$ เท่ากับ 73.103 mg/g และค่า $1/q_mb$ เท่ากับ 476.19 mg/g และสามารถคำนวณหา b ได้เท่ากับ 0.15 mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยหมักโดยใช้ Langmuir Isotherm



รูปที่ 4.8 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยหมักโดยใช้ Freundlich Isotherm

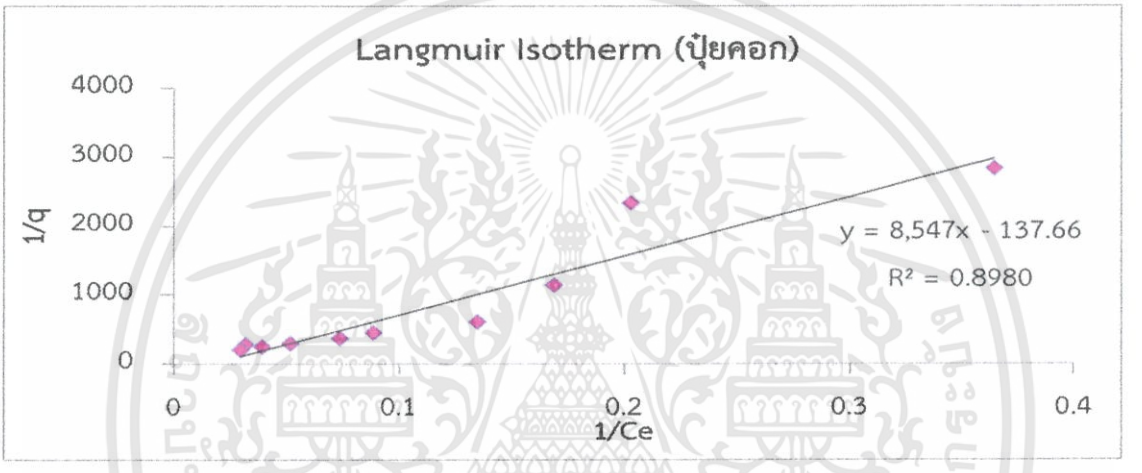
จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.9920) มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าสมการฟรุนดิช (R^2 = 0.8556) แสดงว่า ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิชไม่เหมาะสมในการอธิบายข้อมูลการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยหมัก แต่สามารถอธิบายได้ดีโดยใช้ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับชั้นเดียวของแลงเมียร์ ซึ่งทำให้เกิดพื้นที่ชั้นเดียว (A. Alihosseini *et al.*, 2010)

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยหมัก โดยใช้ Langmuir Isotherm ได้สมการเส้นตรง y = 12,356x – 3,748 ซึ่งมีค่าคงที่ $1/q_m$ เท่ากับ –3,748 mg/g และค่า $1/q_m b$ เท่ากับ 12,356 mg/g และสามารถคำนวณหา b ได้เท่ากับ -0.30 mg/g

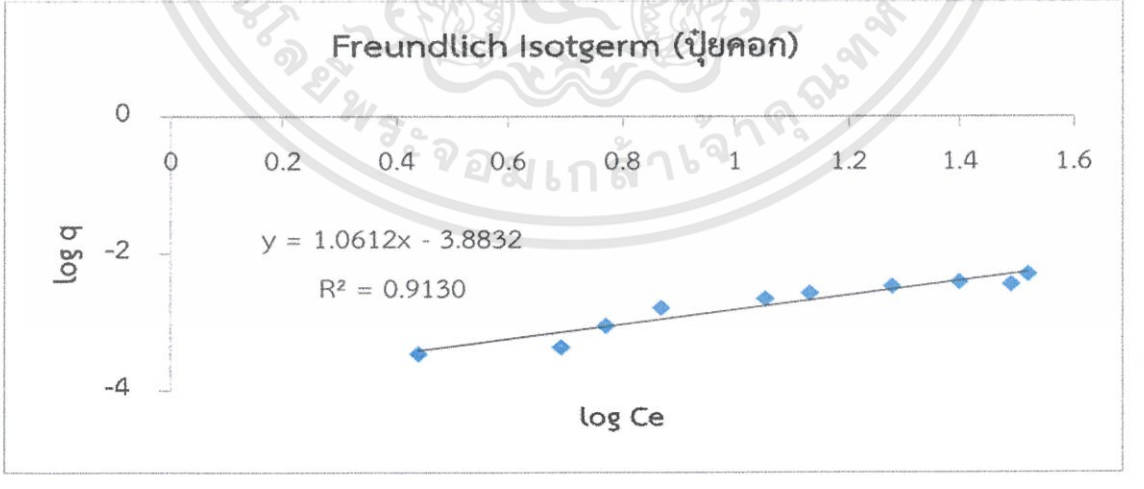
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยคอกที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยคอกแล้ว จึงทำการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียมตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยคอกแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm โดยศึกษาจากน้ำหนักของตัวดูดซับ ที่มีน้ำหนักคงที่ คือ 1 กรัม ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 10 ความเข้มข้น ระยะเวลาการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี คือ 24 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.9 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยคอกโดยใช้ Langmuir Isotherm



รูปที่ 4.10 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยคอกโดยใช้ Freundlich Isotherm

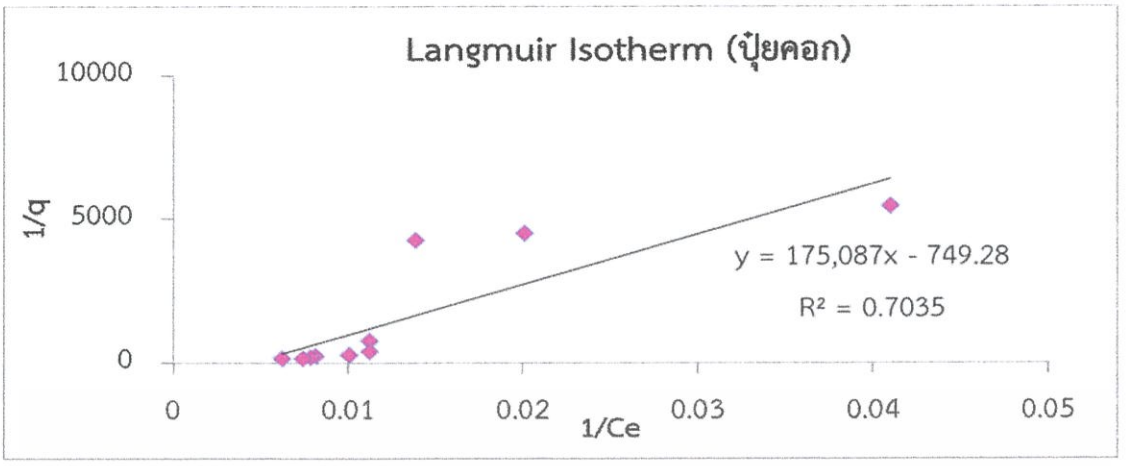
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.9130) มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการฟรุนดิช (R^2 = 0.8980) แสดงว่า ทั้งไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช มีความเหมาะสมในการอธิบายข้อมูลการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยคอก จึงสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการไอโซเทอร์มทั้ง 2 แบบ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับชั้นเดียวของแลงเมียร์ และมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับหลายชั้นของฟรุนดิช (A. Alihosseini *et al*., 2010)

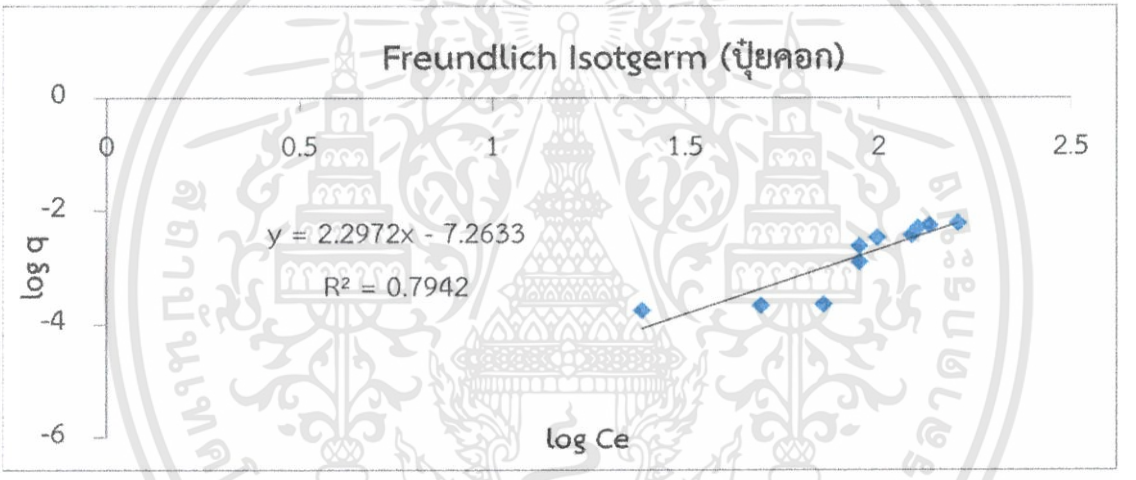
จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยคอก โดยใช้ Langmuir Isotherm ได้สมการเส้นตรง y = 8,547x - 137.66 ซึ่งมีค่าคงที่ $1/q_m$ เท่ากับ -137.66 mg/g และค่า $1/q_mb$ เท่ากับ 8,547 mg/g และสามารถคำนวณหา b ได้เท่ากับ -0.02 mg/g

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยคอก โดยใช้ Freundlich Isotherm ได้สมการเส้นตรง y = 1.0612x - 3.8832 ซึ่งมีความชัน n เท่ากับ 1.0612 mg/g ค่า 1/n เท่ากับ 0.94 mg/g และสามารถคำนวณหาค่า K_f ได้เท่ากับ $1.31x10^{-4}$ mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยคอกโดยใช้ Langmuir Isotherm

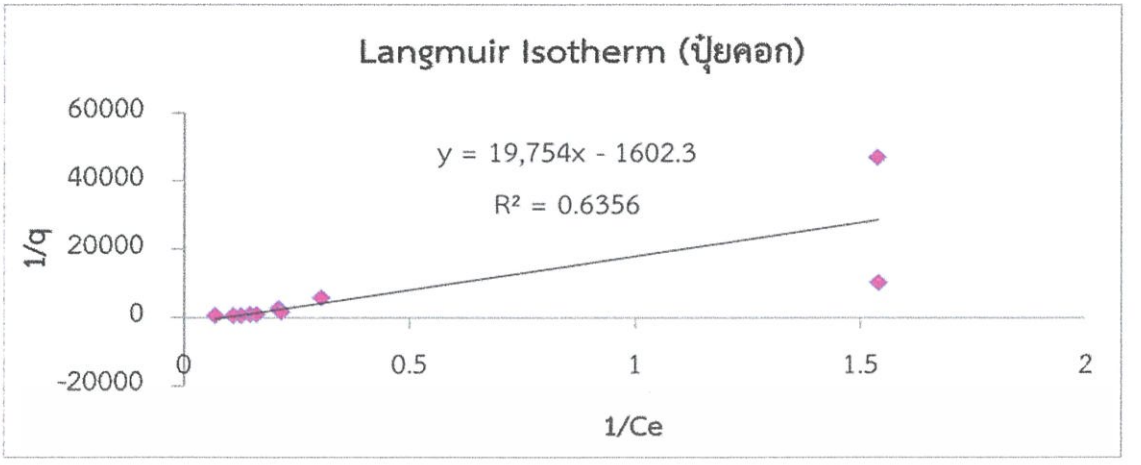


รูปที่ 4.12 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยคอกโดยใช้ Freundlich Isotherm

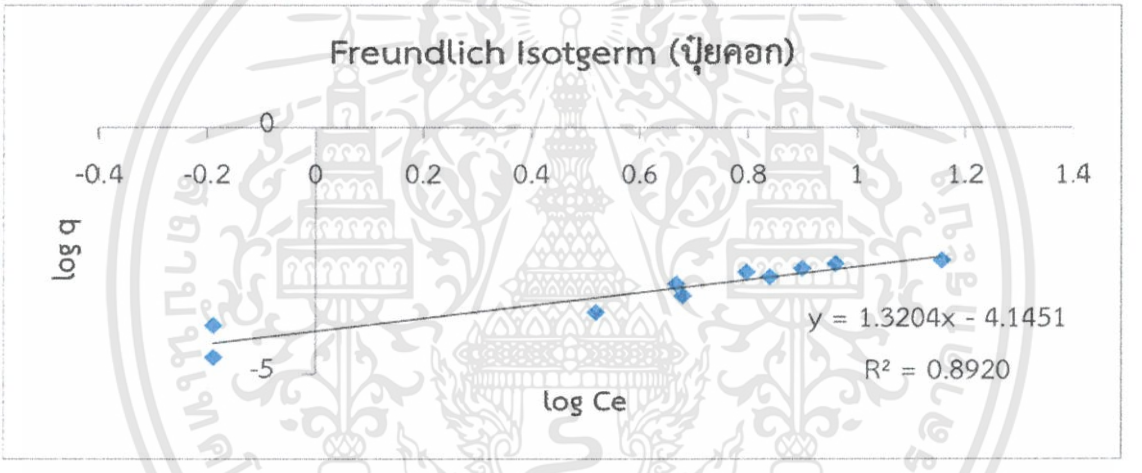
จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการฟรุนดิช (R^2 = 0.7942) มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.7035) แสดงว่า ไอโซเทอร์มแบบเลียงเมียร์ไม่เหมาะสมในการอธิบายข้อมูลการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยคอก แต่สามารถอธิบายได้ดีโดยใช้ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับหลายชั้นของฟรุนดิช ซึ่งทำให้เกิดพื้นที่ผิวหลายชั้น (A. Alihosseini *et al.*, 2010)

จากรูปที่ 4.12 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยคอก โดยใช้ Freundlich Isotherm ได้สมการเส้นตรง y = 2.2972x - 7.2633 ซึ่งมีความชัน n เท่ากับ 2.2972 mg/g ค่า 1/n เท่ากับ 0.44 mg/g และสามารถคำนวณหาค่า K_f ได้เท่ากับ 5.45×10^{-8} mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยคอกโดยใช้ Langmuir Isotherm



รูปที่ 4.14 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยคอกโดยใช้ Freundlich Isotherm

จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการฟรุนดิช (R^2 = 0.8920) มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.6356) แสดงว่า ไอโซเทอร์มแบบเลียงเมียร์ไม่เหมาะสมในการอธิบายข้อมูลการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยคอกแต่สามารถอธิบายได้ดีโดยใช้ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับหลายชั้นของ ฟรุนดิช ซึ่งทำให้เกิดพื้นที่ผิวหลายชั้น (A. Alihosseini *et al.*, 2010)

จากรูปที่ 4.14 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยคอก โดยใช้ Freundlich Isotherm ได้สมการเส้นตรง y = 1.320x - 4.145 ซึ่งมีความชัน n เท่ากับ 1.320 mg/g ค่า 1/n เท่ากับ 0.76 mg/g และสามารถคำนวณหาค่า K_f ได้เท่ากับ 7.16×10^{-5} mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงงานพิเศษ เรื่อง การศึกษาความสามารถในการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก เพื่อแก้ไขปัญหาดินปนเปื้อนแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี โดยทำการศึกษาคุณสมบัติการสะเทินด้วยกรดและไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียมตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก ที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งมีผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดด่าง (pH), ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Moisture content), ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในสารอินทรีย์ (%TOC), ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการเผา (%LOI), ร้อยละปริมาณคาร์บอน (%C), ร้อยละของค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำ (%DOC), อัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio), ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC), ค่าการนำไฟฟ้า (EC), กรดฮิวมิค (HA) และสารอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก พารามิเตอร์ต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นของงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่ามีส่วนช่วยในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน

5.1.2 จากผลการทดลองค่าความสามารถในการสะเทินกรดของปุ๋ยคอกจะมีค่าเท่ากับ 1,440 meq/kg มีค่ามากกว่าปุ๋ยหมักที่มีค่าเท่ากับ 480 meq/kg บ่งบอกได้ว่าปุ๋ยคอกมีค่าความจุบัฟเฟอร์มากกว่าปุ๋ยหมัก ดังนั้น เมื่อมีค่าความสามารถในการสะเทินกรดมากก็สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และสามารถดูดซับโลหะได้มากขึ้นเช่นกัน

5.1.3 จากการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ว่า ในการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกอาจจะมีการดูดซับเป็นไปได้ 2 แบบ ตามสมการแบบจำลองของ Langmuir และ Freundlich ส่วนการดูดซับตะกั่วและสังกะสีในปุ๋ยหมักจะมีการดูดซับเป็นไปตามสมการแบบจำลองของ Langmuir ส่วนปุ๋ยคอกมีการดูดซับเป็นไปตามสมการแบบจำลองของ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาการดูดซับโลหะหนัก โดยใช้วัสดุดูดซับชนิดอื่นหรือเปลี่ยนยี่ห้อปุ๋ย เพื่อเปรียบเทียบการดูดซับโลหะหนักที่เหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งานมากที่สุด

5.2.2 ควรมีการนำปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก นำไปทำการทดลองการดูดซับกับโลหะชนิดอื่นๆ

5.2.3 ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ว่าปุ๋ยสามารถดูดซับโลหะหนักไว้ในปุ๋ยได้หรือไม่เมื่อมีการนำไปปลูกกับต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. **"คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี"**. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.หน้า 1-42.

เขมชิต ธนากิจชาญเจริญ, นงนาถ เมฆรังสิมันต์ และสุรชัย ศิลามณีโชติ. 2551. **"ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียม"**. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. หน้า 1-5.

ธเรศ ศรีสถิตย์. 2557. **"เทคโนโลยีการฟื้นฟูพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและตะกอนลำน้ำ"**. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. หน้า 1-5.

นันทรัตน์ ศุภกำเนิด. 2558. **"การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์และการแปลผล"**. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 1-14.

บัญชา รัตนีทู. 2552. "ปุ๋ยอินทรีย์ฟื้นฟูสภาพดิน".**วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์**. 1(2) : 1-16.

ปวรีน สุวรรณอินทรีย์. 2550. **"การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของดินที่ต่างชนิดกันและการกำหนดค่า Correction factor ของวิธี Walkley-Black โดยใช้เทคนิคการเผาให้แห้ง"**. วิทยานิพันธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร. หน้า 1-97.

พวงทอง ไกรพิบูลย์. 2555. **โลหะหนัก**. [Online]. Available : http://haamor.com/th/81.html. สืบค้น วันที่ 7 ธันวาคม 2558.

ศรัณย์ จิตตวนิชประภา. 2554. **"การดูดซับยาปฏิชีวนะ Ciprofloxacin ด้วยถ่านที่เตรียมจากกากกาแฟ"**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร. หน้า 1-107.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์.หน้า 1-327.

ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่. 2555. **ตะกั่ว**. [Online]. Available : http://lc.dpim.go.th/kb/1075.html. สืบค้น วันที่ 7 ธันวาคม 2558.

สยามเคมี. 2557. **สังกะสี**. [Online]. Available : http://www.siamchemi.com/%B8%B5.html. สืบค้น วันที่ 7 ธันวาคม 2558.

Ahmed. 2014. "Feasibility of biochar manufactured from organic wastes on the stabilization of heavy metals in a metal smelter contaminated soil." *Chemosphere* 117: 66-71.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A.P. Puga, C.A. Abreu, L.C.A. Melo, et. al. 2015. "Biochar application to a contaminated soil reduces the availability andplant uptake of zinc, lead and cadmium." ***Environmental Management*** 159 : 86-93.

A. Venegas, A. Rigol, M. Vidal. 2015. "Viability of organic wastes and biochars as amendments for the remediation of heavy metal-contaminated soils". ***Chemosphere*** 119(2015) : 190-198.

Jingkuan Sun, FeiLian, ZhongqiLiuet. al. 2014. "Biochars derived from various crop straws Characterization and Cd(II) removal potential."***Ecotoxicology and Environmental Safety*** 106 : 226–231.

Lehman, J., de Silva Jr., Rondon, M., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B. 2002. Nutrient Availability and Leaching in an Archaeological Anthorosol and Ferralsol of Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure and Charcoal Amendments. ***Plant and Soil*** 249 : 343-357.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์ปุ๋ย

1. การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ย (pH)

1) ชั่งปุ๋ยจำนวน 2 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 20 นาที
3) นำไปวัดค่าพีเอชโดย pH meter

2. เปอร์เซ็นต์ความชื้น (% Moisture content)

1) ชั่งปุ๋ยจำนวน 2 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3) นำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้รอให้เย็น และชั่งน้ำหนักแห้งของปุ๋ย

การคำนวณ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักเปียก}}$$

3. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity; CEC)

1) ชั่งปุ๋ยจำนวน 2 กรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรและเติม 1 N NH_4OAc pH 7.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน
2) นำสารละลายมากรองแบบลดความดันโดยใช้กระดาษกรอง Whatman No. 5
3) ล้างตัวอย่างปุ๋ยด้วย 1 N NH_4OAc pH 7.0 ครั้งละ 30 มิลลิลิตรจนได้ปริมาตรใกล้ 100 มิลลิลิตร
4) นำสารละลายที่กรองได้จากข้อ 2) ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเพื่อเก็บไว้สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ คือ Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} และ K^{+}
5) ล้างตัวอย่างปุ๋ยในกรวยบุชเนอร์ต่อจากข้อ 3) ด้วย 1N NH_4Cl pH 7.0 อีก 5 ครั้ง ครั้งละ 20 มิลลิลิตร จนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบได้โดยการนำสารละลายที่ได้จากการล้างในแต่ละครั้ง 10 มิลลิลิตรมาใส่ในหลอดทดลองและหยด 1 N NH_4Cl และ 50% NH_4OH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างละ 2 - 3 หยด นำไปต้มให้เดือดถ้าเกิดตะกอนขาวหรือสารละลายมีความขุ่น จะต้องทำการล้างต่อไป)

6) ชะล้างตัวอย่างปุ๋ยต่อด้วย 1N NH_4Cl pH 7.0 อีก 5 ครั้ง ครั้งละ 20 มิลลิลิตร และล้างตัวอย่างปุ๋ยต่อด้วย 0.25 N NH_4Cl pH 7.0 อีก 1 ครั้ง 20 มิลลิลิตร

7) ล้างตัวอย่างต่อด้วย 95% ethyl alcohol อีก 5 - 6 ครั้งครั้งละ 20 มิลลิลิตร (เพื่อล้างแอมโมเนียส่วนเกินที่ดินไม่ได้แลกเปลี่ยน) โดยที่ทุกครั้งที่ล้าง ให้ใช้กระบอกฉีด ฉีดล้างตัวอย่างปุ๋ยที่อาจติดค้างอยู่ที่ปากกรวยบุชเนอร์ให้ลงไปรวมอยู่ในกรวยบุชเนอร์ให้หมดล้างจนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยใช้สารละลาย 0.1 N $AgNO_3$ 1-2 หยด ถ้าพบว่ามีตะกอนขาวของ AgCl แสดงว่ามีคลอไรด์เหลืออยู่ดังนั้นให้ทำการล้างต่อ

8) ทิ้งสารละลายที่ได้จากข้อ 7) เปลี่ยนขวดกรองใหม่สำหรับรองรับสารละลาย

9) ล้างตัวอย่างปุ๋ยต่อด้วย acidified NaCl 10 % ครั้งละ 20 มิลลิลิตร 5 ครั้ง (เพื่อให้ Na^+ เข้าไปแทนที่ NH_4^+ ปุ๋ย) และนำสารละลายที่กรองได้มาใส่หลอดกลั่นเจลห์ดาลเติมหินพูมิซ (Pumice stone) หรือลูกแก้ว (glass bead) ลงไปเล็กน้อยเพื่อป้องกันการไหลล้น

10) นำสารละลายในหลอดกลั่นเจลห์ดาลไปกลั่นเพื่อไล่ NH_4^+ ออกมาเติม 40 % NaOH ปริมาตร 30 มิลลิลิตร 1 ครั้งโดยมีสารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 3% จำนวน 50 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator) จำนวน 5 หยด ใส่ในขวดชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร คอยรองรับสารละลายที่กลั่นออกมาได้จนสารละลายในขวดรูปชมพู่เปลี่ยนเป็นสีเขียว

11) นำสารละลายที่กลั่นได้ในขวดชมพู่ที่รองรับไปไทเทรตกับ 0.1 N HCl ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดงม่วง บันทึกปริมาตรของ 0.1 N HCl ที่ใช้ไทเทรต

12) ทำแบลงค์ (Blank) โดยใช้ 10 % NaCl 100 มิลลิลิตรมาเติม 40% NaOH 30 มิลลิลิตร ทำการกลั่นและไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่าง

การคำนวณ

$$CEC\ (cmol\ kg^{-1}) = \frac{(A-B)N \times 100}{W}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างปุ๋ย (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)

W = น้ำหนักแห้ง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss of Ignition; LOI)

1) ชั่งน้ำหนักครูซิเบิล และจดบันทึกน้ำหนัก
2) ชั่งปุ๋ย 2 กรัม ที่ผ่านการอบแล้ว ใส่ลงครูซิเบิลและจดบันทึกน้ำหนัก
3) นำปุ๋ยที่ชั่งน้ำหนักไปทำการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง รอให้เย็นนำมาชั่งน้ำหนักที่เหลือ และจดบันทึกน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\%LOI = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบ-น้ำหนักหลังเผา}}{\text{น้ำหนักหลังอบ}} \times 100$$

5. การหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon; TOC)

5.1 วัดค่า TOC โดยใช้เครื่อง TOC ทำกราฟมาตรฐาน TC และ IC

1) การทำกราฟ TC โดยการชั่งกลูโคส 74.30, 50.16, 24.28 และ 10.43 มิลลิกรัม ตามลำดับ แล้วนำค่าที่วัดได้ไปพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่
2) การทำกราฟ IC โดยการชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 202.40, 102.00, 50.12 และ 25.30 มิลลิกรัม ตามลำดับ แล้วนำค่าที่วัดได้ไปพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่

5.2 ชั่งปุ๋ย 0.1 กรัม ใส่ boat โดยชั่งตัวอย่างละ 3 boat ทั้ง TC และ IC

การคำนวณ

$$TOC = TC - IC$$

6. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TOC จากข้อที่ 5 โดยทำการวิเคราะห์ TC

7. การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำ (Dissolved organic carbon)

7.1 การสกัดสารละลายจากปุ๋ย

1) ชั่งปุ๋ย 2 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2) เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางและนำไปเขย่าเป็นเวลา 30 นาที
3) กรองสารละลายตัวอย่างและเก็บส่วนใสไว้

7.2 การหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำ

1) ปิเปตสารละลายส่วนใส 5 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2) ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (1N $K_2Cr_2O_7$) จำนวน 10 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc.H_2SO_4) 15 มิลลิลิตร เขย่าขวดรูปชมพู่เบาๆเป็นเวลา 1 - 2 นาที และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที
3) เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น และหยด O-phenanthroline indicator 5 หยด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ไทเทรตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้กับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N $[Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O]$ ที่จุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง

5) ทำแบลงค์ (Blank) ด้วยวิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\% \text{ DOC} = \frac{(B-T)N}{B} \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{10^3} \times \frac{10}{W}$$

เมื่อ B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต (นอร์มอล)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

9. ค่าการนำไฟฟ้า (Electric conductivity)

1) ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 2 กรัม ใส่ลงในรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2) เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยจุกยาง

3) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30 นาที

4) นำสารละลายไปกรองแบบลดความดัน และเก็บสารละลายส่วนใสใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

5) นำสารละลายส่วนใสมาวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า

10. การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

10.1 การย่อยสลาย

1) ชั่งปุ๋ย 2 กรัม บนกระดาษกรองและเทใส่ลงในขวดเจลห์ดาลขนาด 800 มิลลิลิตร และเติมสารสำเร็จรูปอัดเม็ด (Kjeltabs) หรือ Mixed catalyst 2 กรัม

2) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) 20 มิลลิลิตร ลงในขวดเจลห์ดาล

3) ทำแบลงค์ (Blank) โดยวิธีเดียวกัน

4) นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปทำการย่อยที่อุณหภูมิ 250 - 400 องศาเซลเซียสจนได้สารละลายใสและทิ้งไว้ให้เย็นเติมน้ำกลั่นประมาณ 400 มิลลิลิตร ลงในขวดเจลห์ดาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2 การกลั่น

1) นำสารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และหยด Mixed indicator 5 หยด

2) นำขวดเจลห์ดาลจากข้อ 10.1 มาเติม 40% NaOH จำนวน 50 มิลลิลิตร และนำไปกลั่นด้วยเครื่อง Kjeldahl จนสารละลายบอริกมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร

10.3 การไทเทรต

นำสารละลายบอริกที่กลั่นได้จากข้อ 10.2 มาไทเทรตกับ 0.1 M HCl ที่จุดยุติ สารละลายจะมีสีม่วง - แดง

การคำนวณ

$$\%N = \frac{(A-B)N \times 1.401}{W}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดที่ไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (โมลาร์)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

11. การวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท (NO_3^-)

11.1 การสกัดธาตุจากตัวอย่าง

1) ชั่งปุ๋ย 2 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 3% NaCl จำนวน 100 มิลลิลิตร และเขย่าให้เข้ากัน

2) เติมสารละลาย 3% NaCl จำนวน 100 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยาง เขย่าให้เขย่ากันและทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน

3) นำสารละลายมากรองแบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No. 42

11.2 หาปริมาณไนเตรท

1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเทรตเข้มข้น 2 มิลลิกรัมลิตร จำนวน 1, 2, 3, 4, 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 10 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นที่ 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2) ทำแบลงค์ (Blank) โดยวิธีเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.3 การทำให้เกิดสี

1) ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 11.1 มา 10 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
2) นำสารละลายมาตรฐานแบลงค์ และสารละลายตัวอย่างมาเติม 3% NaCl 2 มิลลิลิตร และใช้แท่งแก้วคนเบาๆให้เข้ากัน
3) นำหลอดทดลองทุกหลอดมาแช่น้ำในอุณหภูมิต่ำ และเติม 4+1 H_2SO_4 จำนวน 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้รอให้เย็น (ถ้าเกิดความขุ่นหรือสีให้นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ค่าที่ได้ให้นำไปลบออกจากค่าที่ได้หลังจากการเติมสารละลายบลูซีน - ซัลฟานิก)
4) นำมาเติมสารละลายบลูซีน - ซัลฟานิก (Brucine - sulfanilc acid) 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเบาๆและนำไปใส่เครื่องอังน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซสเซียส เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่น้ำเย็นจนอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
5) นำสารละลายมาตรฐาน แบลงค์ และสารละลายตัวอย่าง ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Visible spectrometer

การคำนวณ

$$NO_3^-\text{- N (mg L}^{-1}) = \frac{P}{X}$$

เมื่อ P = ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (ไมโครกรัม)

X = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)

12. การวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนในรูปของคลอไรด์ (Cl^-)

1) ชั่งปุ๋ย 2 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรและเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
2) ปิดด้วยจุกยางและนำไปเขย่าเป็นระยะเวลา 30 นาที
3) นำตัวอย่างมากรองแบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No. 5 (หรือใช้ No. 42) เก็บสารละลายตัวอย่างไว้ในขวดพลาสติก
4) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรและเติม 5% K_2CrO_4 indicator 3 - 4 หยด นำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน $AgNO_3$ ที่จุดยุติจะได้ตะกอนสีแดงของ Ag_2CrO_4
5) ทำแบลงค์ (Blank) เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน $AgNO_3$ โดยปิเปต 0.05 N NaCl 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม 5% K_2CrO_4 indicator 3 - 4 หยด แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน $AgNO_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{Water soluble Cl (ppm)} = \frac{A \times B \times C \times 35.5 \times 10^6}{1000 \times D \times W}$$

เมื่อ A = ปริมาตร $AgNO_3$ ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

B = ความเข้มข้นที่แน่นอนของ $AgNO_3$ (นอร์มอล)

C = ปริมาตรสารละลายที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

D = ปริมาตรสารละลายที่ใช้ (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

13. การวิเคราะห์ปริมาณ Ca^{2+} Na^{+}และ K^{+}ในปุ๋ย

13.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานดังนี้

Ca ความเข้มข้น 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

Mg ความเข้มข้น 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.20, 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร

K ความเข้มข้น 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 มิลลิกรัมต่อลิตร

13.2 หาปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม

1) ชั่งปุ๋ยจำนวน 2 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และเติม 1 N NH_4OAc pH 7.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน

2) นำสารละลายมากรองแบบลดความดันโดยใช้กระดาษกรอง Whatman No. 5 หรือใช้ No. 42 และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

การคำนวณ

$$(\text{mg kg}^{-1}) = \frac{A \times B \times \text{d.f.}}{W}$$

เมื่อ A = ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

d.f. = ค่าการเจือจางสารละลาย

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. การวิเคราะห์ปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Al^{3+})

14.1 การสกัดสารละลายจากตัวอย่าง

1) ชั่งปุ๋ย 2 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และเติม 1 N KCl 50 มิลลิลิตรนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 10 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
3) นำสารละลายไปกรองแบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.42 และใช้สารละลาย 1 N KCl ในการชะล้างและปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

14.2 การเตรียมสารมาตรฐานและกราฟมาตรฐานอลูมิเนียม

1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานสต็อกอลูมิเนียม (stock Al^{3+}) เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบจะได้สารละลายอลูมิเนียมที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
2) ปิเปตสารละลายอลูมิเนียมที่ความเข้มข้น 5 mg L^{-1} จำนวน 0, 1, 2, 3, 4, 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ในแต่ละขวด ซึ่งจะได้กราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นของอลูมิเนียม (Al^{3+}) 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
3) เติม 1% Thioglycolic acid จำนวน 2 มิลลิลิตร และสารละลายบัฟเฟอร์อลูมินอน จำนวน 10 มิลลิลิตร
4) นำไปอังไอน้ำเพื่อให้ความร้อนประมาณ 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและทำการเขย่าให้เข้ากัน
5) นำสารละลายมาตรฐานไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

14.3 การทำให้เกิดสีเพื่อหาอลูมิเนียม

1) แบ่งสารละลายจากข้อ 14.1 จำนวน 5 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด กรณีที่ไม่เกิดสีชมพู (สภาวะเป็นกรด) ให้ค่อยๆเติม 1 N KF จำนวน 10 มิลลิลิตร ทีละหยด และสังเกตการเกิดสีชมพู
2) กรณีที่เกิดสีชมพู (สภาวะเป็นเบส) ตั้งแต่แรกให้เติม 0.1 N HCl 1 - 2 หยดจนสีชมพูจางหายไปก่อนแล้วจึงเติม 1 N KF จำนวน 10 มิลลิลิตร ทีละหยด และสังเกตการเกิดสีชมพู แต่ถ้าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่จำเป็นต้องหาปริมาณอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ถ้าเกิดสีชมพูให้หาปริมาณของอลูมิเนียม (Al^{3+}) โดยการปิเปตสารละลายที่สกัดได้ 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

4) เติม 1 N HCl เพื่อปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงระหว่าง 2.0 - 3.0

5) เติม 1% Thioglycolic acid จำนวน 2 มิลลิลิตร และสารละลายบัฟเฟอร์อลูมินอน จำนวน 10 มิลลิลิตร

6) นำไปอังไอน้ำเพื่อให้ความร้อนประมาณ 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและทำการเขย่าให้เข้ากัน

7) นำสารละลายมาตรฐานไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตรด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

การคำนวณ

$$\text{Exchangeable Aluminum (mg kg}^{-1}) = \frac{1000 \times X}{A \times W}$$

เมื่อ X = ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

A = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

15. การวิเคราะห์กรดฮิวมิค

1) ชั่งปุ๋ย 1 กรัม ใส่บีเกอร์ 100 มิลลิลิตร และเติมสาร NaOH ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

2) นำบีกเกอร์ไปเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

4) นำสารจากที่ปั่นเหวี่ยงมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศเก็บส่วนใสเพื่อมาวิเคราะห์ต่อ

5) นำสารละลายส่วนใสมาปรับค่า pH ให้เป็น 1 ด้วย 6 M HCl และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้กรดฮิวมิคตกตะกอน

6) นำมาแยกตะกอนโดยการ ปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

7) นำสารละลายที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศเก็บตะกอนที่ได้มาอบที่ 55 - 60 องศาเซลเซียส แล้วนำชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักกรดฮิวมิคที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพีเอชเริ่มต้นของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	pH						ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6		
ปุ๋ยหมัก	7.10	7.42	7.51	7.35	7.15	7.12	7.28	0.17
ปุ๋ยคอก	7.26	7.32	7.27	7.07	7.20	7.16	7.21	0.09

ตารางที่ ข.2 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	Moisture content (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	1.85	1.95	2.26	2.02	0.21
ปุ๋ยคอก	2.95	1.67	3.17	2.59	0.81

ตารางที่ ข.3 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	CEC (cmol kg^{-1})			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	12.74	12.37	12.60	12.57	0.18
ปุ๋ยคอก	30.21	30.38	30.26	30.28	0.09

ตารางที่ ข.4 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากการเผา (Loss of ignition) ของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	LOI (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	5.87	7.06	7.24	6.72	0.75
ปุ๋ยคอก	8.79	5.81	5.22	6.61	1.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon) ของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	TOC (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	6.17	5.98	6.18	6.11	0.11
ปุ๋ยคอก	5.92	5.86	5.97	5.92	0.06

ตารางที่ ข.6 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปอร์เซ็นต์คาร์บอนของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	C (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	7.12	7.15	7.36	7.21	0.13
ปุ๋ยคอก	7.4	7.37	7.32	7.37	0.04

ตารางที่ ข.7 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Dissolved organic carbon) ของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	DOC (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	0.16	0.08	0.08	0.11	0.05
ปุ๋ยคอก	0.24	0.32	0.32	0.30	0.05

ตารางที่ ข.8 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าการนำไฟฟ้า (Electric conductivity) ของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	EC ($mS\ cm^{-1}$)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	1.58	1.25	1.34	1.39	0.17
ปุ๋ยคอก	1.95	1.99	1.99	1.98	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	N (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	0.36	0.36	0.38	0.37	0.01
ปุ๋ยคอก	0.21	0.18	0.17	0.19	0.02

ตารางที่ ข.10 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณไนเตรตของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	NO_3^- (mg L^{-1})			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	0.13	0.12	0.12	0.12	0.01
ปุ๋ยคอก	0.96	0.96	0.86	0.92	0.06

ตารางที่ ข.11 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	P (mg L^{-1})			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	13.52	12.99	13.37	13.29	0.27
ปุ๋ยคอก	22.93	22.98	22.97	22.96	0.03

ตารางที่ ข.12 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณแคลเซียมของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	Ca (mg kg^{-1})			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	18,040.00	18,100.00	17,950.00	17,993.33	75.50
ปุ๋ยคอก	87,000.00	87,550.00	86,455.00	87,001.67	547.50

ตารางที่ ข.13 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณแมกนีเซียมของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	Mg (mg kg^{-1})			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	1,018.62	1,038.86	1,038.49	1,031.99	11.58
ปุ๋ยคอก	86.71	87.91	89.13	87.92	1.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	K (mg kg^{-1})			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	87,000.00	87,143.00	87,089.00	87,077.33	72,21
ปุ๋ยคอก	7,413.70	7,421.00	7,465.00	17,993.33	42.77

ตารางที่ ข.15 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณอะลูมิเนียมของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	Al (mg kg^{-1})			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	1.69	1.63	1.88	1.73	0.13
ปุ๋ยคอก	1.55	1.43	1.78	1.59	0.18

ตารางที่ ข.16 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณกรดฮิวมิคของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

ชนิดของปุ๋ย	HA (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปุ๋ยหมัก	1.54	1.27	1.93	1.58	0.33
ปุ๋ยคอก	16.94	12.73	15.73	15.13	2.17

ตารางที่ ข.17 การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสีของปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก

	ชนิดของโลหะหนัก		
	Cd (mg kg^{-1})	Pb (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})
ปุ๋ยหมัก	5.00	10.83	8.28
SD	0.40	1.80	1.18
ปุ๋ยคอก	26.45	3.30	12.50
SD	3.53	0.6	1.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การคำนวณไอโซเทอร์มการดูดซับ

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับโดยใช้สมการ

$$C_s = (C_i - C_{eq})\, V / m$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นของสารเคมีบนพื้นผิวของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (mg/g)

C_i = ความเข้มข้นโลหะหนักก่อนการดูดซับ (mg/L)

C_{eq} = ความเข้มข้นโลหะหนักหลังการดูดซับ (mg/L)

V = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง (L)

m = น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง (g)

จากผลการทดลองการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมัก

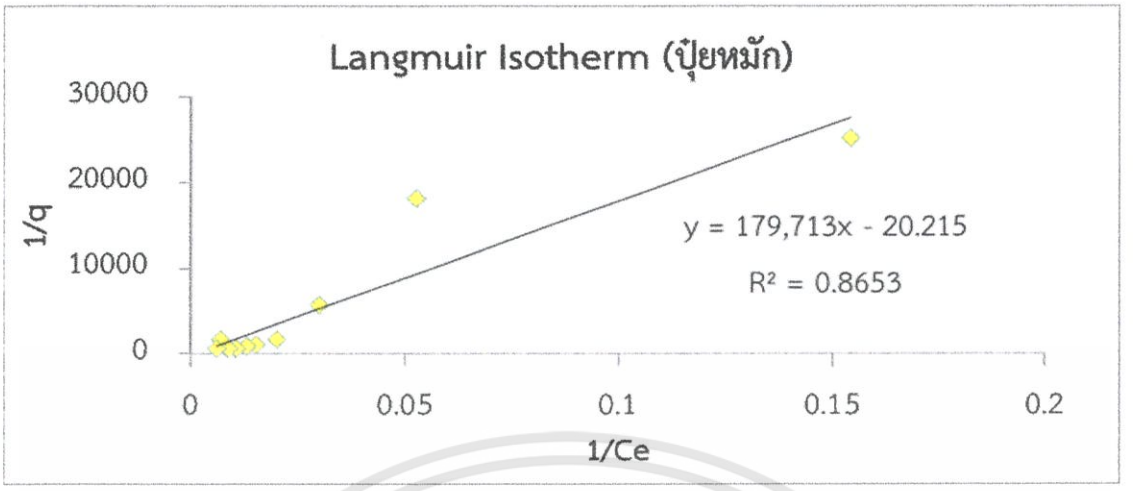
ปุ๋ยหมัก	ความเข้มข้นโลหะหนักก่อนการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นโลหะหนักหลังการดูดซับ (mg/L)
0	0.2	0.2
1	8.075	6.49
2	21.2	19
3	40.1	33.2
4	71.95	49.5
5	99.25	65.5
6	119.9	77.4
7	149.3	95.2
8	178.7	113.2
9	172.75	148.8
10	231.9	170.4

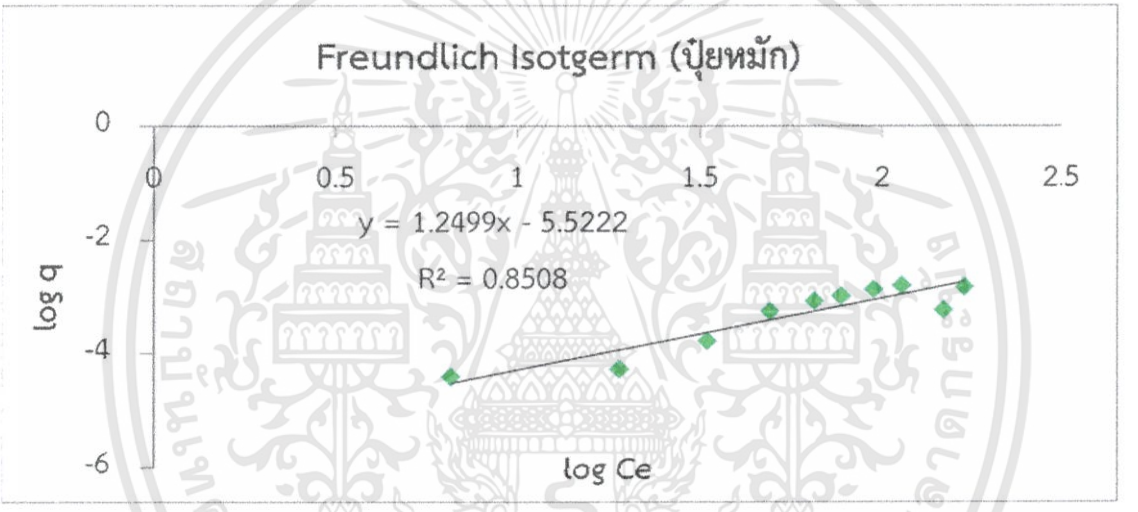
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_i (mg/L)	C_{eq} (mg/L)	v (L)	m (g)	q (mg/mg)
0.2	0.2	0.0250	1.0002	0.0000000
8.075	6.49	0.0250	1.0003	0.0000396
21.2	19	0.0250	1.0000	0.0000550
40.1	33.2	0.0250	1.0005	0.0001725
71.95	49.5	0.0250	1.0010	0.0005613
99.25	65.5	0.0250	1.0009	0.0008438
119.9	77.4	0.0250	1.0005	0.0010625
149.3	95.2	0.0250	1.0000	0.0013525
178.7	113.2	0.0250	1.0006	0.0016375
172.75	148.8	0.0250	1.0003	0.0005988
231.9	170.4	0.0250	1.0001	0.0015375

ปุ๋ยหมัก	Langmuir Isotherm		Freundlich Isotherm	
	$1/C_{eq}$	1/q	Log C_{eq}	Log q
0				
1	0.154083205	25236.59306	0.812244697	-4.402030725
2	0.052631579	18181.81818	1.278753601	-4.259637311
3	0.030120482	5797.101449	1.521138084	-3.763210901
4	0.02020202	1781.737194	1.694605199	-3.250843646
5	0.015267176	1185.185185	1.8162413	-3.073786214
6	0.012919897	941.1764706	1.888740961	-2.973671061
7	0.010504202	739.3715342	1.978636948	-2.868862726
8	0.008833922	610.6870229	2.053846427	-2.785818691
9	0.00672043	1670.146138	2.172602931	-3.222754474
10	0.005868545	650.4065041	2.23146959	-2.813184876

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.8653) มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการฟรุนดิช (R^2 = 0.8508) แสดงว่า ทั้งไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช มีความเหมาะสมในการอธิบายข้อมูลการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมัก จึงสามารถอธิบายได้ โดยใช้สมการไอโซเทอร์มทั้ง 2 แบบ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับชั้นเดียวของแลงเมียร์ และมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับหลายชั้นของฟรุนดิช (A. Alihosseini *et al.*, 2010)

จากสมการแลงเมียร์ $C_s = K_f C_a^{1/n}$

นำสมการมาจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงจะได้ดังสมการดังนี้

$$C_e / q_e = (1 / q_m b) + (1C_e / b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรงที่สามารถหาค่า 1/b และ $1/q_mb$ ได้จากความชันของกราฟ และจุดตันแกนในแนวตั้ง โดยค่า b ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่หาได้จากการทดลอง จะเป็นตัวบอกปริมาณสูงสุดของตัวดูดซับที่สามารถดูดซับได้ในตัวดูดซับ 1 กรัม

จากกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมักแบบ Langmuir Isotgerm ได้สมการเส้นตรง y = 17,971x - 20.21 เนื่องจากค่าความชัน $1/q_mb$ เท่ากับ = 17,971 จุดตัดแกน y เท่ากับ $1/q_m$ = -20.21 ดังนั้น b = $-1.12x10^{-3}$ mg/g

จากสมการฟรุนดิช $C_s = K_f C_a^{1/n}$

นำสมการมาจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงจะได้ดังสมการดังนี้

$$\text{Log } C_s = (1/n) \log C_a + \log K_f$$

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log C_s กับ log K_f จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า 1/n และค่า K_f ได้จากความชันของกราฟ และจุดตัดแกนในแนวตั้ง โดยค่า K_f คือค่าคงที่ของการดูดซับของ Freundlich เป็นค่าที่แสดงความแข็งแรงของการดูดซับ

จากกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยคอกแบบ Freundlich Isotgerm ได้สมการเส้นตรง y = 1.249x - 5.522 ซึ่งมีความชัน n เท่ากับ 1.249 mg/g ค่า 1/n เท่ากับ 0.80 mg/g และสามารถคำนวณหาค่า K_f ได้เท่ากับ $3x10^{-6}$ mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

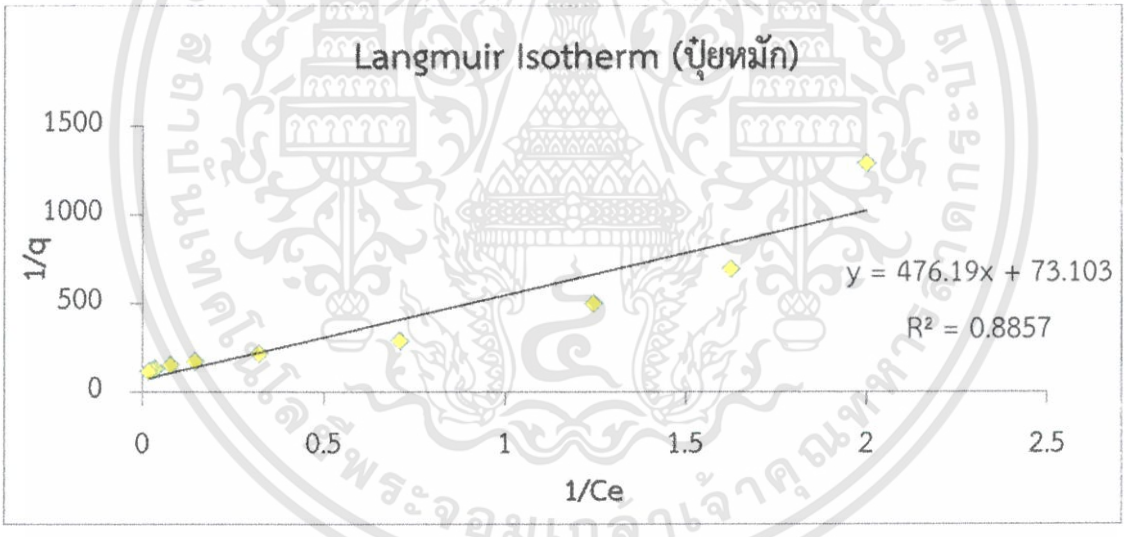
จากผลการทดลองการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยหมัก

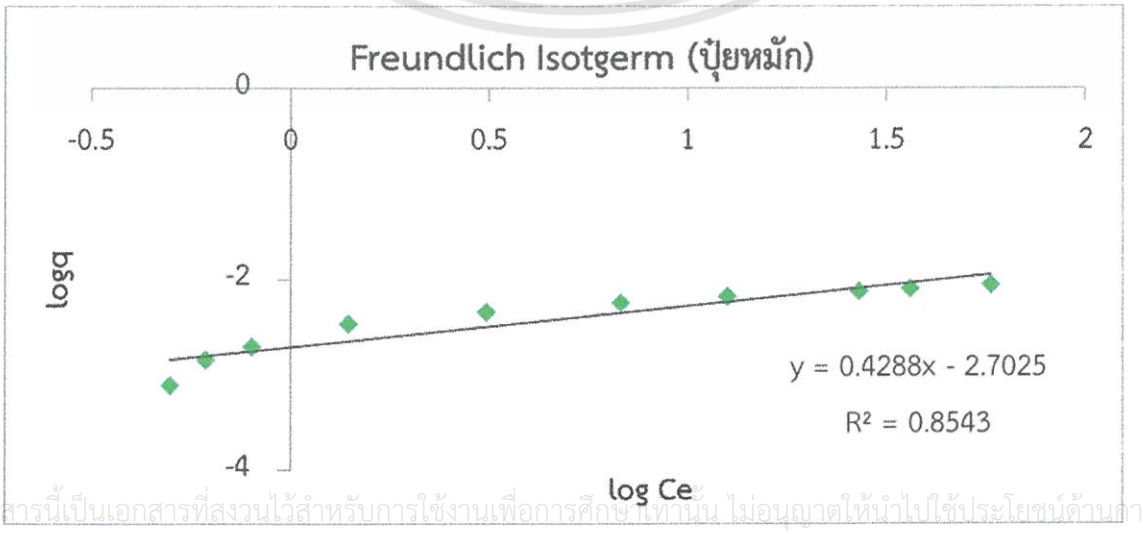
ปุ๋ยหมัก	ความเข้มข้นโลหะหนักก่อนการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นโลหะหนักหลังการดูดซับ (mg/L)
0	0	0.132
1	31.275	0.5
2	58.125	0.615
3	80.775	0.802
4	139.35	1.405
5	187.575	3.123
6	237.3	6.829
7	274.725	12.55
8	331.275	27.06
9	360.675	36.27
10	405.6	57.88

C_i (mg/L)	C_{eq} (mg/L)	v (L)	m (g)	q (mg/mg)
0	0.132	0.0250	1.0002	0
31.275	0.5	0.0250	1.0003	0.000772675
58.125	0.615	0.0250	1.0000	0.00144105
80.775	0.802	0.0250	1.0005	0.002002625
139.35	1.405	0.0250	1.0010	0.003451925
187.575	3.123	0.0250	1.0009	0.0046146
237.3	6.829	0.0250	1.0005	0.005765075
274.725	12.55	0.0250	1.0000	0.006557675
331.275	27.06	0.0250	1.0006	0.007608675
360.675	36.27	0.0250	1.0003	0.008113425
405.6	57.88	0.0250	1.0001	0.0086963

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยหมัก	Langmuir Isotherm		Freundlich Isotherm	
	1/ C_{eq}	1/q	Log C_{eq}	Log q
0				
1	2	1294.205196	-0.30103	-3.112
2	1.62601626	693.9384477	-0.21112	-2.84132
3	1.246882793	499.3446102	-0.09583	-2.6984
4	0.711743772	289.6934319	0.147676	-2.46194
5	0.320204931	216.7035063	0.494572	-2.33587
6	0.146434324	173.4582811	0.834357	-2.2392
7	0.079681275	152.4930711	1.098644	-2.18325
8	0.036954915	131.4289282	1.432328	-2.11869
9	0.027570995	123.2525105	1.559548	-2.0908
10	0.017277125	114.9914331	1.762529	-2.06067





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการฟรุนดิช (R^2 = 0.8857) มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.8543) แสดงว่า ไอโซเทอร์มแบบเลียงเมียร์ไม่เหมาะสมในการอธิบายข้อมูลการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยหมัก แต่สามารถอธิบายได้ดี โดยใช้ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช

จากสมการ $C_s = K_f C_a^{1/n}$

นำสมการมาจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงจะได้ดังสมการดังนี้

$$C_e / q_e = (1 / q_m b) + (1C_e / b)$$

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรงที่สามารถหาค่า 1/b และ $1/q_m b$ ได้จากความชันของกราฟ และจุดตันแกนในแนวตั้ง โดยค่า b ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่หาได้จากการทดลอง จะเป็นตัวบอกปริมาณสูงสุดของตัวดูดซับที่สามารถดูดซับได้ในตัวดูดซับ 1 กรัม

จากกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมักแบบ Langmuir Isotgerm ได้สมการ y = 476.19x + 73.103 เนื่องจากค่าความชัน $1/q_m b$ เท่ากับ = 476.19 จุดตัดแกน y เท่ากับ $1/q_m$ = 73.103 ดังนั้น b = 0.15 mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

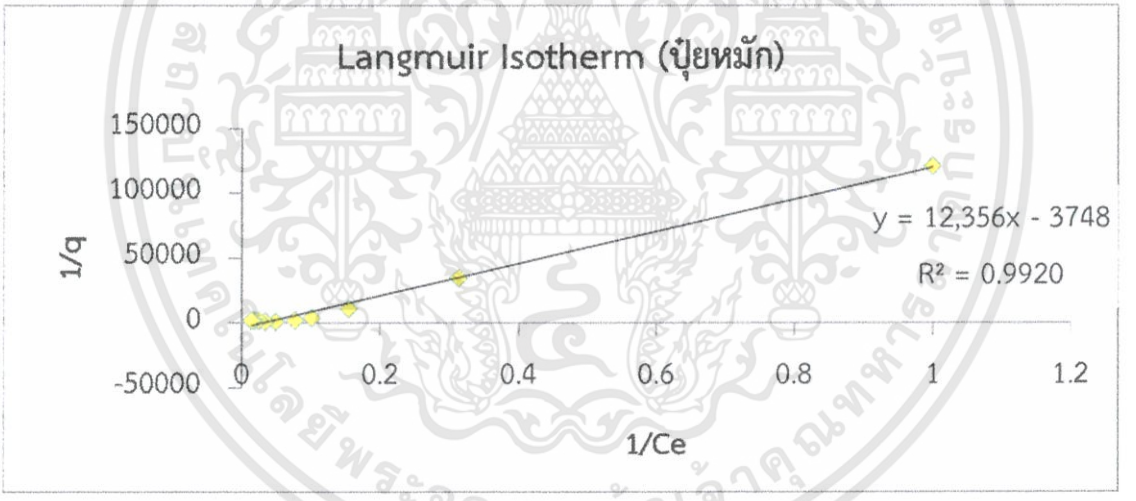
จากผลการทดลองการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยหมัก

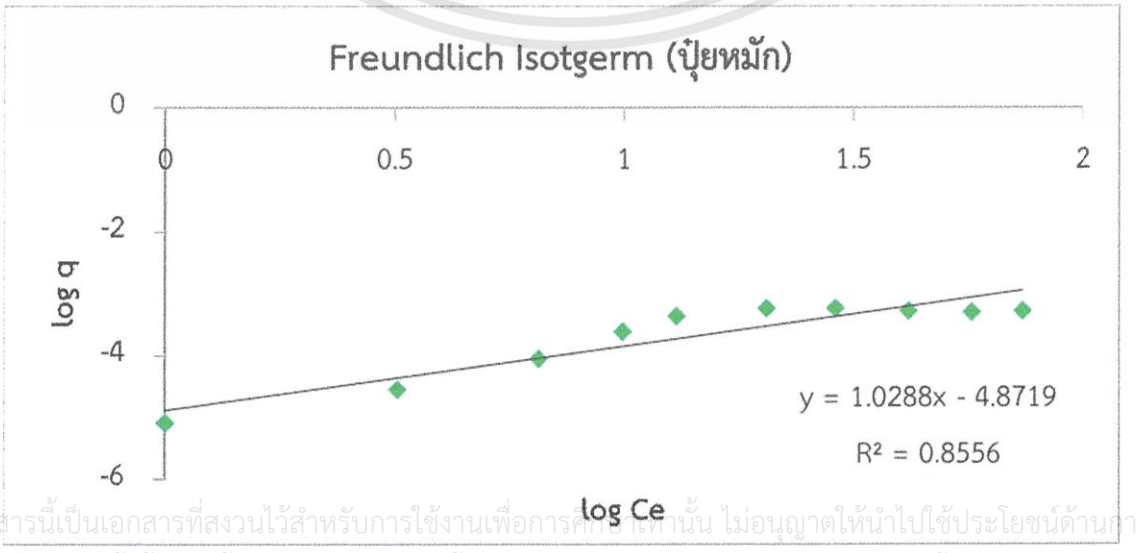
ปุ๋ยหมัก(meq)	ความเข้มข้นโลหะหนักก่อนการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นโลหะหนักหลังการดูดซับ (mg/L)
0	0.33100	0.331
1	1.33100	1.000
2	4.33100	3.200
3	10.0810	6.500
4	20.0810	9.950
5	30.8310	13.000
6	43.8310	20.400
7	52.3310	28.900
8	62.5810	41.600
9	77.3310	57.400
10	95.5810	74.000

C_i (mg/L)	C_{eq} (mg/L)	v (L)	m (g)	q (mg/mg)
0.33100	0.331	0.02500	1.0002	0.0000000
1.33100	1.000	0.02500	1.0004	0.0000083
4.33100	3.200	0.02500	1.0001	0.0000283
10.0810	6.500	0.02500	1.0009	0.0000895
20.0810	9.950	0.0250	1.0004	0.0002533
30.8310	13.000	0.0250	1.0001	0.0004458
43.8310	20.400	0.0250	1.0004	0.0005858
52.3310	28.900	0.0250	1.0005	0.0005858
62.5810	41.600	0.0250	1.0006	0.0005245
77.3310	57.400	0.0250	1.0000	0.0004983
95.5810	74.000	0.0250	1.0001	0.0005395

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยหมัก	Langmuir Isotherm		Freundlich Isotherm	
	$1/C_{eq}$	1/q	Log C_{eq}	Log q
0				
1	1.000000	120845.9	0.000000	-5.08223
2	0.312500	35366.93	0.505150	-4.54860
3	0.153846	11170.06	0.812913	-4.04806
4	0.100503	3948.278	0.997823	-3.59641
5	0.076923	2243.284	1.113943	-3.35088
6	0.049020	1707.140	1.309630	-3.23227
7	0.034602	1707.140	1.460898	-3.23227
8	0.024038	1906.487	1.619093	-3.28023
9	0.017422	2006.924	1.758912	-3.30253
10	0.013514	1853.482	1.869232	-3.26799





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้น (R^2 = 0.9920) ของสมการแลงเมียร์ มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าสมการฟรุนดิช (R^2 = 0.8556) แสดงให้เห็นว่า การดูดซับโลหะด้วยปุ๋ยหมักอธิบายได้โดยใช้สมการแลงเมียร์

จากสมการ $q_e = q_m C_e b / (1+q_m C_e)$

นำสมการมาจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงจะได้ดังสมการดังนี้

$$C_e / q_e = (1 / q_m b) + (1 C_e / b)$$

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรงที่สามารถหาค่า 1/b และ$1/q_m b$ ได้จากความชันของกราฟ และจุดตันแกนในแนวตั้ง โดยค่า b ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่หาได้จากการทดลอง จะเป็นตัวบอกปริมาณสูงสุดของตัวดูดซับที่สามารถดูดซับได้ในตัวดูดซับ 1 กรัม

จากกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยหมักแบบ Langmuir Isotgerm ได้สมการเส้นตรง y = 12,356x – 3,748 เนื่องจากค่าความชัน $1/q_m b$ เท่ากับ = 12,356 จุดตัดแกน y เท่ากับ $1/q_m$ = -3,748 ดังนั้น b = -0.3 mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

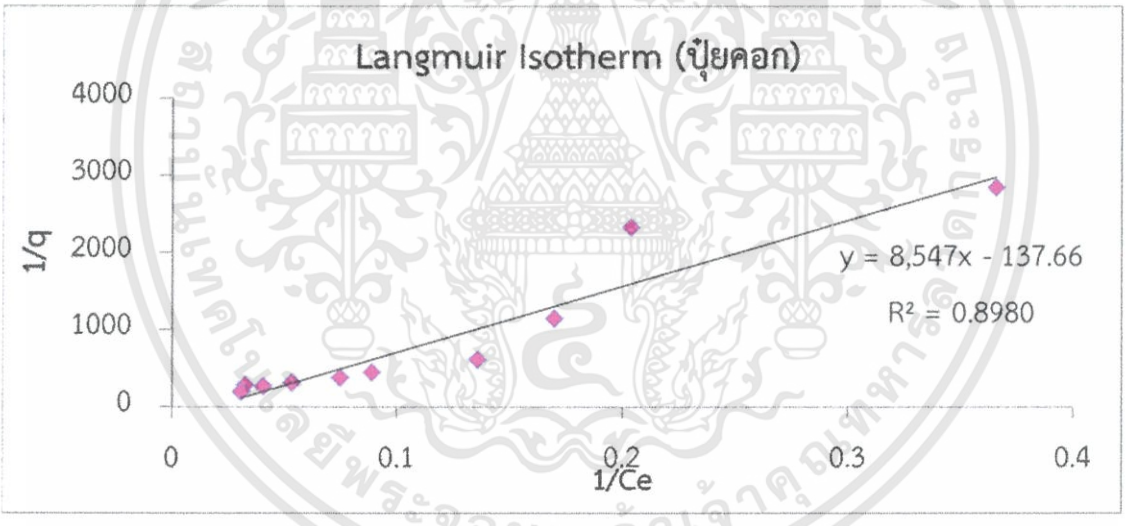
จากผลการทดลองการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยคอก

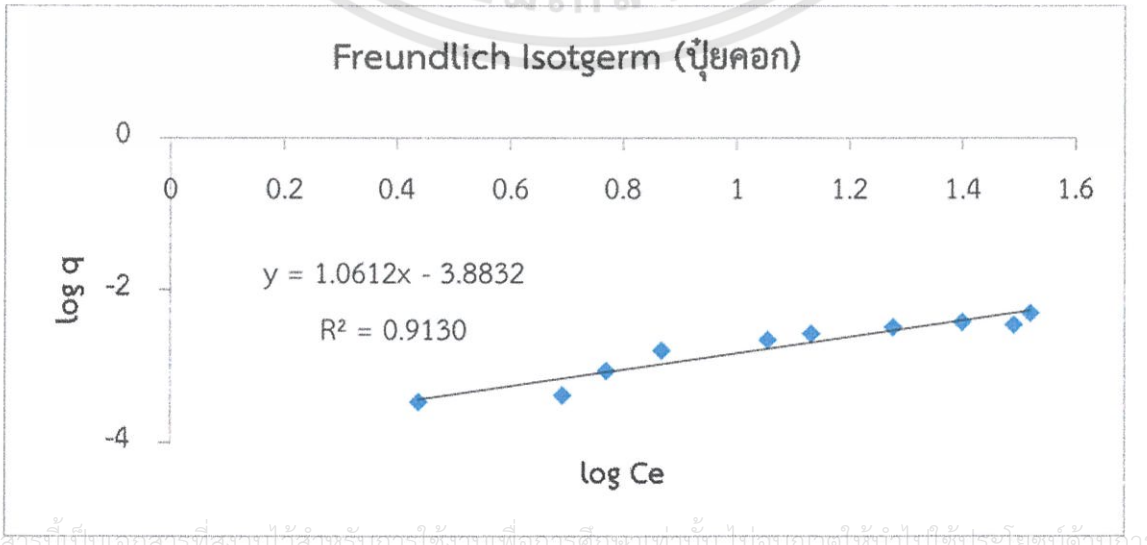
ปุ๋ยคอก	ความเข้มข้นโลหะหนักก่อนการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นโลหะหนักหลังการดูดซับ (mg/L)
0	0	1.058
1	15.75	2.740
2	21	4.920
3	39.9	5.900
4	71.75	7.400
5	99.05	11.300
6	119.7	13.500
7	149.1	19.000
8	178.5	25.000
9	172.55	31.000
10	231.7	33.200

C_i (mg/L)	C_{eq} (mg/L)	v (L)	m (g)	q (mg/mg)
0	1.058	0.0250	1.0000	0.0000000
15.75	2.740	0.0250	1.0002	0.0003517
21	4.920	0.0250	1.0003	0.0004285
39.9	5.900	0.0250	1.0004	0.0008765
71.75	7.400	0.0250	1.0001	0.0016352
99.05	11.300	0.0250	1.0005	0.0022202
119.7	13.500	0.0250	1.0006	0.0026815
149.1	19.000	0.0250	1.0001	0.0032790
178.5	25.000	0.0250	1.0000	0.0038640
172.55	31.000	0.0250	1.0003	0.0035652
231.7	33.200	0.0250	1.0001	0.0049890

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยคอก	Langmuir Isotherm		Freundlich Isotherm	
	1/ C_{eq}	1/q	Log C_{eq}	Log q
0				
1	0.364963504	2843.332386	0.437750563	-3.453827632
2	0.203252033	2333.994632	0.691965103	-3.368099853
3	0.169491525	1140.966399	0.770852012	-3.057272855
4	0.135135135	611.5459883	0.86923172	-2.786429122
5	0.088495575	450.409873	1.053078443	-2.653607902
6	0.074074074	372.9325551	1.130333768	-2.571630297
7	0.052631579	304.9756782	1.278753601	-2.484265206
8	0.04	258.8025207	1.397940009	-2.412968502
9	0.032258065	280.4891731	1.491361694	-2.447916102
10	0.030120482	200.442979	1.521138084	-2.301990849





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.9130) มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้นของสมการฟรุนดิช (R^2 = 0.8980) แสดงว่าทั้งไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดิช มีความเหมาะสมในการอธิบายข้อมูลการดูดซับแคดเมียมของปุ๋ยหมัก จึงสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการไอโซเทอร์มทั้ง 2 แบบ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับชั้นเดียวของแลงเมียร์ และมีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับหลายชั้นของฟรุนดิช (A. Alihosseini *et al.*, 2010)

จากสมการแลงเมียร์ $q_e = q_m C_e b / (1+q_m C_e)$

นำสมการมาจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงจะได้ดังสมการดังนี้

$$C_e / q_e = (1 / q_m b) + (1C_e / b)$$

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรงที่สามารถหาค่า 1/b และ $1/q_m b$ ได้จากความชันของกราฟ และจุดตันแกนในแนวตั้ง โดยค่า b ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่หาได้จากการทดลอง จะเป็นตัวบอกปริมาณสูงสุดของตัวดูดซับที่สามารถดูดซับได้ในตัวดูดซับ 1 กรัม

จากกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยคอกแบบ Langmuir Isotgerm ได้สมการเส้นตรง y = 8,547x - 137.66 ซึ่งมีค่าคงที่ $1/q_m$ เท่ากับ -137.66 mg/g และค่า $1/q_m b$ เท่ากับ 8,547 mg/g และสามารถคำนวณหา b ได้เท่ากับ -0.02 mg/g

จากสมการฟรุนดิช $C_s = K_f C_a^{1/n}$

นำสมการมาจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงจะได้ดังสมการดังนี้

$$\text{Log } C_s = (1/n) \log C_a + \log K_f$$

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log C_s กับ log K_f จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า 1/n และค่า K_f ได้จากความชันของกราฟ และจุดตัดแกนในแนวตั้ง โดยค่า K_f คือค่าคงที่ของการดูดซับของ Freundlich เป็นค่าที่แสดงความแข็งแรงของการดูดซับ

จากกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยคอกแบบ Freundlich Isotgerm ได้สมการเส้นตรง y = 1.0612x - 3.8832 ซึ่งมีความชัน n เท่ากับ 1.0612 mg/g ค่า 1/n เท่ากับ 0.94 mg/g จุดตัดแกน y เท่ากับ log K_f ดังนั้น $K_f = 10^{-3.8832} = 1.31 \times 10^{-4}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

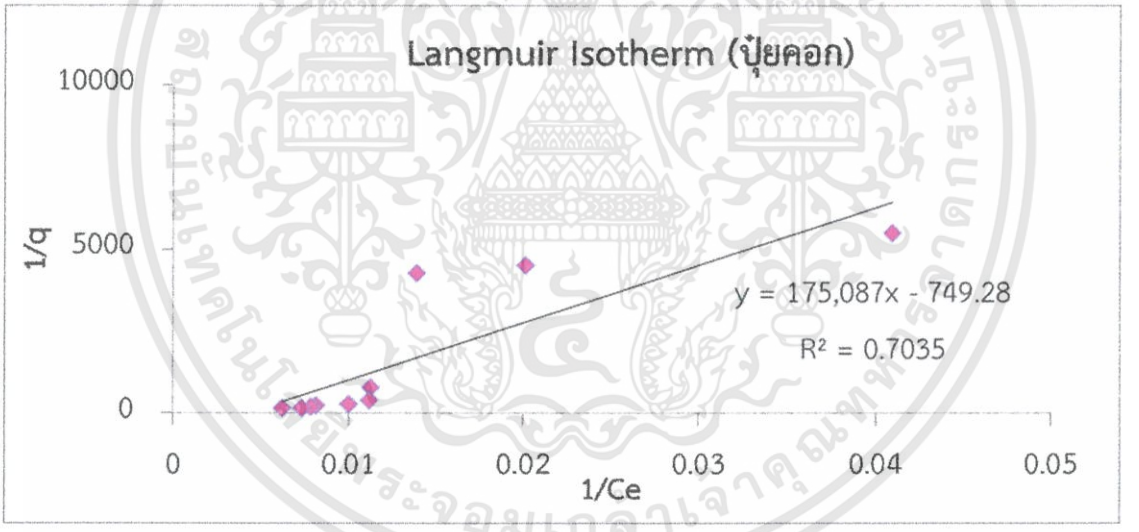
จากผลการทดลองการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยคอก

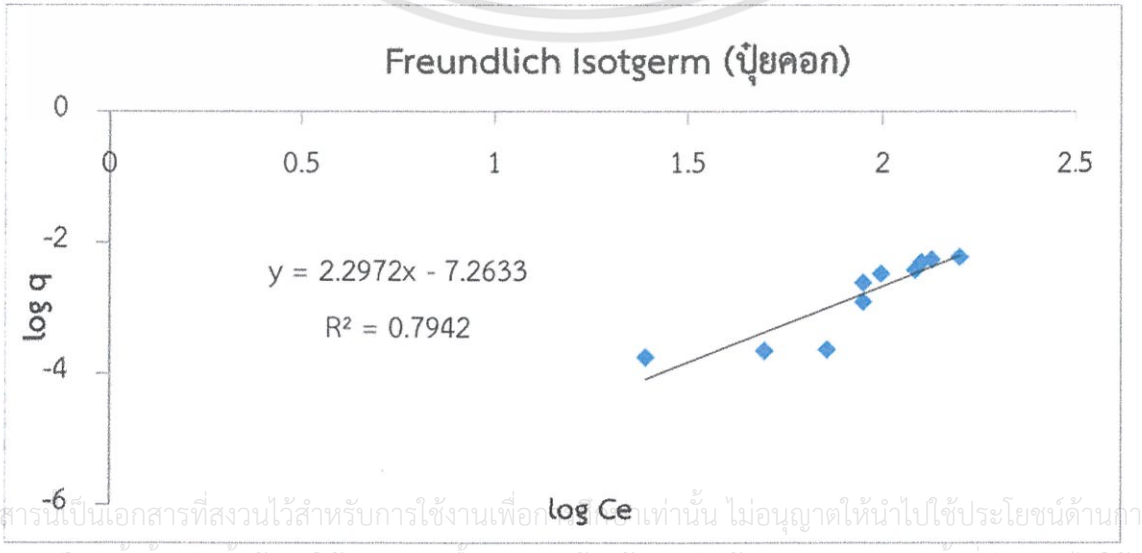
ปุ๋ยคอก	ความเข้มข้นโลหะหนักก่อนการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นโลหะหนักหลังการดูดซับ (mg/L)
0	0.433	0.433
1	31.708	24.4
2	58.558	49.7
3	81.208	71.85
4	139.783	89
5	188.008	89.05
6	237.733	99.45
7	275.158	122.1
8	331.708	126.8
9	361.108	135.15
10	406.033	160.05

C_i (mg/L)	C_{eq} (mg/L)	v (L)	m (g)	q (mg/mg)
0.433	0.433	0.0250	1.0003	0.0000000
31.708	24.4	0.0250	1.0002	0.0001827
58.558	49.7	0.0250	1.0006	0.0002215
81.208	71.85	0.0250	1.0008	0.0002340
139.783	89	0.0250	1.0000	0.0012696
188.008	89.05	0.0250	1.0002	0.0024740
237.733	99.45	0.0250	1.0003	0.0034571
275.158	122.1	0.0250	1.0007	0.0038265
331.708	126.8	0.0250	1.0002	0.0051227
361.108	135.15	0.0250	1.0003	0.0056490
406.033	160.05	0.0250	1.0001	0.0061496

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยคอก	Langmuir Isotherm		Freundlich Isotherm	
	1/ C_{eq}	1/q	Log C_{eq}	Log q
0				
1	0.040983607	5473.453749	1.38739	-3.7383
2	0.020120724	4515.69203	1.69636	-3.6547
3	0.013917884	4274.417611	1.85643	-3.6309
4	0.011235955	787.6651635	1.94939	-2.8963
5	0.011229646	404.2118879	1.94963	-2.6066
6	0.010055304	289.261876	1.9976	-2.4613
7	0.008190008	261.3388389	2.08672	-2.4172
8	0.007886435	195.2095575	2.10312	-2.2905
9	0.007399186	177.0240487	2.13082	-2.248
10	0.006248047	162.6128635	2.20426	-2.2112





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้น (R^2 = 0.7942) ของสมการฟรุนดิช มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.7035) แสดงให้เห็นว่าการดูดซับโลหะด้วยปุ๋ยคอกอธิบายได้โดยใช้สมการฟรุนดิช

จากสมการ $C_s = K_f C_a^{1/n}$

นำสมการมาจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงจะได้ดังสมการดังนี้

$$\text{Log } C_s = (1/n) \log C_a + \log K_f$$

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log C_s กับ log K_f จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า 1/n และค่า K_f ได้จากความชันของกราฟ และจุดตัดแกนในแนวตั้ง โดยค่า K_f คือค่าคงที่ของการดูดซับของ Freundlich เป็นค่าที่แสดงความแข็งแรงของการดูดซับ

จากกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของปุ๋ยคอกแบบ Freundlich Isotgerm ได้สมการเส้นตรง y = 2.297x - 7.263 ซึ่งมีความชัน n เท่ากับ 2.297 mg/g ค่า 1/n เท่ากับ 0.44 mg/g จุดตัดแกน y เท่ากับ log K_f ดังนั้น $K_f = 10^{-7.263} = 5.46 \times 10^{-8}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

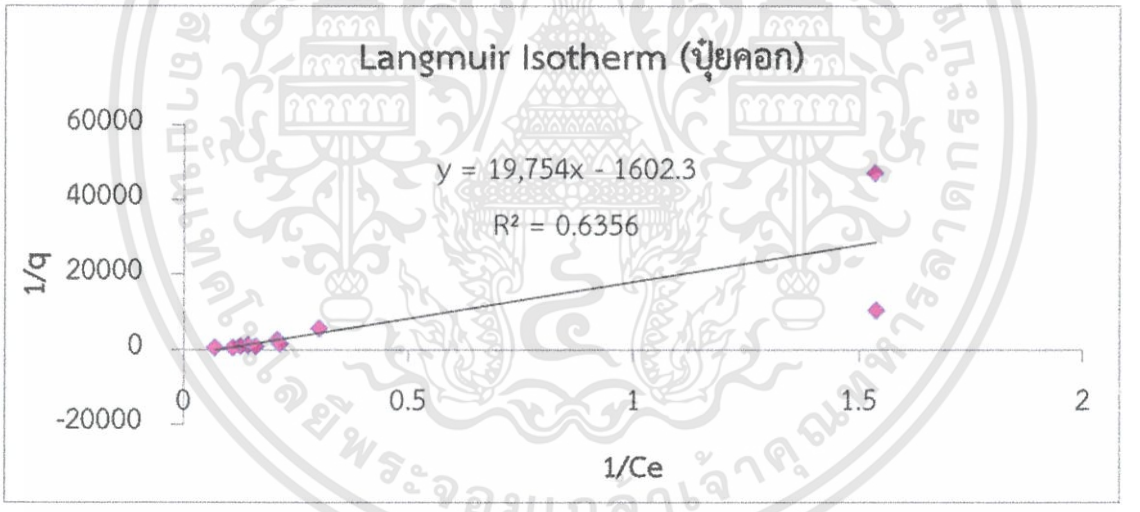
จากผลการทดลองการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยคอก

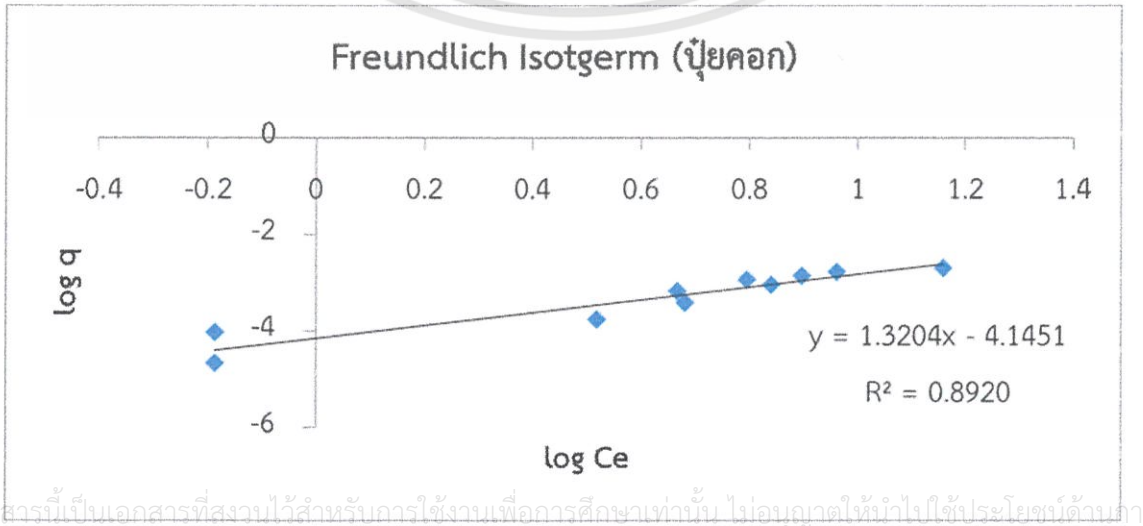
ปุ๋ยคอก	ความเข้มข้นโลหะหนักก่อนการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นโลหะหนักหลังการดูดซับ (mg/L)
0	0.5	0.5
1	2.5	0.651
2	8.5	0.65
3	20	3.3
4	40	4.8
5	61.5	4.65
6	87.5	6.9
7	104.5	6.25
8	125	7.9
9	154.5	9.15
10	191	14.4

C_i (mg/L)	C_{eq} (mg/L)	v (L)	m (g)	q (mg/mg)
0.5	0.5	0.0250	1.0006	0.0000
2.5	0.651	0.0250	1.0001	0.0000
8.5	0.65	0.0250	1.0000	0.0002
20	3.3	0.0250	1.0003	0.0004
40	4.8	0.0250	1.0001	0.0009
61.5	4.65	0.0250	1.0005	0.0014
87.5	6.9	0.0250	1.0004	0.0020
104.5	6.25	0.0250	1.0004	0.0025
125	7.9	0.0250	1.0000	0.0029
154.5	9.15	0.0250	1.0002	0.0036
191	14.4	0.0250	1.0002	0.0044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยคอก	Langmuir Isotherm		Freundlich Isotherm	
	1/ C_{eq}	1/q	Log C_{eq}	Log q
0				
1	1.5361	21633.3153	-0.1864	-4.3351
2	1.5385	5095.5414	-0.1871	-3.7072
3	0.3030	2395.2096	0.5185	-3.3793
4	0.2083	1136.3636	0.6812	-3.0555
5	0.2151	703.6060	0.6675	-2.8473
6	0.1449	496.2779	0.8388	-2.6957
7	0.1600	407.1247	0.7959	-2.6097
8	0.1266	341.5884	0.8976	-2.5335
9	0.1093	275.1978	0.9614	-2.4396
10	0.0694	226.5006	1.1584	-2.3551





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้น (R^2 = 0.8920) ของสมการฟรุนดิช มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าสมการแลงเมียร์ (R^2 = 0.6356) แสดงให้เห็นว่าการดูดซับโลหะด้วยปุ๋ยหมักอธิบายได้โดยใช้สมการฟรุนดิช

จากสมการ $C_s = K_f C_a^{1/n}$

นำสมการมาจัดใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงจะได้ดังสมการดังนี้

$$\text{Log } C_s = (1/n) \log C_a + \log K_f$$

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log C_s กับ log K_f จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า 1/n และค่า K_f ได้จากความชันของกราฟ และจุดตัดแกนในแนวตั้ง โดยค่า K_f คือค่าคงที่ของการดูดซับของ Freundlich เป็นค่าที่แสดงความแข็งแรงของการดูดซับ

จากกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับสังกะสีของปุ๋ยหมักแบบ Freundlich Isotgerm ได้สมการเส้นตรง y = 1.320x - 4.145 ซึ่งมีความชัน n เท่ากับ 1.320 mg/g ค่า 1/n เท่ากับ 0.76 mg/g จุดตัดแกน y เท่ากับ log K_f ดังนั้น $K_f = 10^{-4.145} = 7.16 \times 10^{-5}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้