สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

นางสาว วรวดี ฐานะวิจิตร
นางสาว ศศิธันว์ เยี่ยมแสง
นางสาว สุกัญญา อรุณรุ่งรัตน์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่ 107783
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553

b 12212532
i

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stabilization of Cadmium in Contaminated Soils using Organic Fertilizer

Miss Worawadee Thanawijit

Miss Sasithun Yiamsang

Miss Sukanya Arunrungrat

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Major of Environmental Resource Chemistry

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
นักศึกษา	นางสาววรวดี ฐานะวิจิตร
	นางสาวศศิธันว์ เยี่ยมแสง
	นางสาวสุกัญญา อรุณรุ่งรัตน์
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	.....
กรรมการ	ดร. สุวรรณี จรรยาพูน	.....
กรรมการ	ผศ.ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

นางสาว วรวดี ฐานะวิจิตร
นางสาว ศศิธันว์ เยี่ยมแสง
นางสาว สุกัญญา อรุณรุ่งรัตน์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107783
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553

b 12212532
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stabilization of Cadmium in Contaminated Soils using Organic Fertilizer

Miss Worawadee Thanawijit

Miss Sasithun Yiamsang

Miss Sukanya Arunrungrat

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Major of Environmental Resource Chemistry

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
นักศึกษา	นางสาววรวดี ฐานะวิจิตร
	นางสาวศศิธันว์ เยี่ยมแสง
	นางสาวสุกัญญา อรุณรุ่งรัตน์
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	.....
กรรมการ	ดร. สุวรรณี จรรยาพูน	.....
กรรมการ	ผศ.ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

นักศึกษา นางสาววรวดี ฐานะวิจิตร
นางสาวศศิธันว์ เยี่ยมแสง
นางสาวสุกัญญา อรุณรุ่งรัตน์

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปแบบต่าง ๆ ของแคดเมียมที่พบในดินทั้งก่อนและหลังปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดลำดับขั้น ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินใกล้ที่ห้วยแม่ตาว อ.แม่สอด จ.ตาก โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิด เป็นตัวปรับเสถียร ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้าวคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างที่ใช้เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ค่าพีเอช 6.72±0.06 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 54.20±1.04 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำหนักดินแห้ง 100 กรัม ความชื้น 3.00±0.03% ปริมาณอินทรียวัตถุ 2.71±0.05% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 3.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง และความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 9.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง เนื่องจากดินที่เก็บรวบรวมมีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและแหล่งเกษตรกรรม ดังนั้นจึงทำการเติมแคดเมียมลงในดินให้มีระดับความเข้มข้นของแคดเมียมประมาณ 800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง

จากการเปรียบเทียบชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ใช้ในการปรับเสถียร พบว่าประสิทธิภาพในการปรับเสถียรของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีประสิทธิภาพดีกว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ในการศึกษาผลของปริมาณที่ใช้ในการปรับเสถียรพบว่า สัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียม คือ 1.5:1 และระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมคือ 1 สัปดาห์โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวเป็นตัวปรับเสถียร นอกจากนี้รูปแบบต่าง ๆ ของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรมีแนวโน้มที่อยู่ในรูปที่เสถียรมากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย

คำสำคัญ : การปรับเสถียร การสกัดลำดับขั้น แคดเมียม ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Stabilization of Cadmium Contaminated Soils using Organic Fertilizer

Name Worawadee Thanawijit

Sasithun Yiamsang

Sukanya Arunrungrat

Department Chemistry

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2006

Special Project Advisor Asst.Prof.Dr. Usarat Thawornchaiyasit

Abstract

This special project studied the efficiency of organic fertilizers to stabilize cadmium in contaminated soil and various forms of cadmium in soil before and after stabilization process using sequential extraction techniques. Soil using in this study was collected from contaminated area near Mae Tao creek, Maesod districted, and Tak province. Two organic fertilizers being tested were bat manure and chicken manure. From physical and chemical characterization of soil sample, it was found that soil using in this study was sandy clay loam texture with pH of 6.72±0.06, Cation Exchange Capacity of 54.20±1.04 meq/100 g dry soil, moisture content of 3.00±0.03 % Organic matter of 2.71±0.05%, available phosphorus of 3.88 mg/kg dry soil and total cadmium concentration of 9.57 mg/kg dry soil. Since total cadmium concentration was below standard for living and agricultural purpose, soil samples were then spiked cadmium so its total concentration in soil samples was about 800 mg/kg.

Comparison among two type of organic fertilizers, it was found that cadmium stabilization efficiency using bat manure as stabilizer was greater than stabilization efficiency using chicken manure. On the study on the effect of quantity of fertilization on cadmium stabilization efficiency, the result showed that an optimum ratio of organic fertilizer to cadmium was 1.5:1. The optimum contact time was 1 week using bat manure as stabilizer, respectively. In addition, cadmium forms found in contaminated soil was in stabilized froms after stabilization compared to a control sample without organic fertilizer.

Keywords : Stabilization, Sequential Extraction, Cadmium, Organic fertilizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดีด้วยคำแนะนำของอาจารย์ผู้ควบคุมโครงงานพิเศษ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ผู้จัดทำโครงงานพิเศษรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่าง ๆ ในโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ และนักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเคมีและภาคชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจในการทำโครงงานพิเศษจนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา บุคคลในครอบครัวและเพื่อน ๆ เป็นอย่างสูงที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจอย่างดีมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

วรวดี ฐานะวิจิตร
ศศิธันว์ เยี่ยมแสง
สุกัญญา อรุณรุ่งรัตน์
15 มีนาคม 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฌ
คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ชนิดและองค์ประกอบของดิน	5
2.2 สมบัติของดิน	6
2.3 มลพิษทางดิน	11
2.4 การปรับเสถียร	12
2.5 โลหะหนักแคดเมียม	14
2.6 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น	18
2.7 ปุ๋ยอินทรีย์	19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	27
3.2 การเก็บตัวอย่างดิน	29
3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4 การศึกษาสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	31
3.5 การศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	31
3.6 การศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	31
3.7 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	32
3.8 การศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินภายหลังการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential Extraction)	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง	34
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	34
4.2 ศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	36
4.3 ศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร	42
4.4 ผลของระยะเวลาในการสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการทดลอง	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	65
ภาคผนวก ค	68
ภาคผนวก ง	73
ภาคผนวก จ	79
ภาคผนวก ฉ	85
ภาคผนวก ช	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 อัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นปกติ	9
ตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ	24
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง	30
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยตัวอย่าง	31
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	34
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน (หลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน)	35
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	36
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ อัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:1	42
ตารางที่ 4.5 การศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินระยะเวลา 3 สัปดาห์	47
ตารางที่ 4.6 การศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่สัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:1	49
ตารางที่ ค-1 พีเอชของดินตัวอย่าง	68
ตารางที่ ค-2 การวิเคราะห์ความเป็นกรดของดินตัวอย่าง	68
ตารางที่ ค-3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินตัวอย่าง	68
ตารางที่ ค-4 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินตัวอย่าง	69
ตารางที่ ค-5 การกระจายตัวของอนุภาค	69
ตารางที่ ค-6 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินตัวอย่าง	70
ตารางที่ ค-7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินตัวอย่าง	70
ตารางที่ ค-8 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของดินตัวอย่างหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม	70
ตารางที่ ค-9 ปริมาณแคดเมียมชะละลายของดินตัวอย่างหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม	71
ตารางที่ ค-10 ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	71
ตารางที่ ค-11 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียม 73
ในดินโดยใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:1 ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์
ตารางที่ ง-2 ข้อมูลการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียม 74
ในดินโดยใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:1 ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์
ตารางที่ ง-3 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร 75
แคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์
ตารางที่ ง-4 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร 76
แคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์
ตารางที่ ง-5 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร 77
แคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์
ตารางที่ ง-6 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร 78
แคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์
ตารางที่ จ-1 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ 79
อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์
ตารางที่ จ-2 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ 80
อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์
ตารางที่ จ-3 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์ 81
อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา
3 สัปดาห์
ตารางที่ จ-4 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์ 83
อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา
3 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ฉ-1 การศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ 85

ตารางที่ ฉ-2 การศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ 85

ตารางที่ ฉ-3 การศึกษาค่าพีเอชในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ 86

ตารางที่ ฉ-4 การศึกษาค่าพีเอชในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์ 87

ตารางที่ ช-1 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในการหาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ 88

ตารางที่ ช-2 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในการหาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ 88

ตารางที่ ช-3 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ 89

ตารางที่ ช-4 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์ 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 พื้นที่การเก็บตัวอย่าง 29

รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธี Equal interval on diagonal lines 29

รูปที่ 3.3 แผนภาพวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น 33

รูปที่ 4.1 ปริมาณแคดเมียมชะละลายในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ โดย ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย 37

รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย 38

รูปที่ 4.3 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ 40

รูปที่ 4.4 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ 41

รูปที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมชะละลายในดินตัวอย่างที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเป็นตัวปรับเสถียร ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยมูลอัดเม็ดมูลไก่ 43

รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระยะเวลา สัมผัส 3 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอัดเม็ดมูลไก่ ในสัดส่วนโมล ฟอสเฟตต่อแคดเมียมที่แตกต่างกัน 44

รูปที่ 4.7 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่ ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ 45

รูปที่ 4.8 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่ระยะ เวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ 46

รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 2 และ 4 สัปดาห์ เมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์ อัดเม็ดมูลค้างคาวและมูลไก่ เป็นตัวปรับเสถียร ที่อัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโดย โมลแคดเมียม เท่ากับ 1:1 48

รูปที่ ข-1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสของดิน 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้

มล.	มิลลิลิตร
มก./กก	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
Abs	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
kg/cm^3	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
meq/g	มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
mg P/kg	มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม
mmol/kg	มิลลิโมลต่อกิโลกรัม
ND	ไม่สามารถอ่านค่าได้ (No detect)
ppm	หนึ่งส่วนในล้านส่วน (part per million)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

การขยายตัวของอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมต่อเรือ อุตสาหกรรมชุบโลหะและเหล็กกล้ากันสนิม อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ (ถ่านนิกเกิลแคดเมียม) อุตสาหกรรมพีวีซี เม็ดพลาสติก อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อาจทำให้เกิดปัญหามลพิษทางดินจากการปนเปื้อนของโลหะหนักตามมา หากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมไม่ได้มีการจัดการอย่างถูกวิธี ปัญหาหนึ่งในประเทศไทยคือปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในดินที่กำลังเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจคือ การปนเปื้อนของสารแคดเมียมในดินบริเวณห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งสันนิษฐานว่าแหล่งที่มาของแคดเมียมน่าจะเกิดจากการที่ฝนตกชะหน้าดินที่อุดมด้วยแร่สังกะสีและแคดเมียม ลงสู่ต้นน้ำของลำน้ำธรรมชาติ ซึ่งก็คือห้วยแม่ตาวในกรณีนี้ ทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในตะกอนท้องน้ำ เมื่อปล่อยน้ำเข้าสู่แปลงเกษตร ทำให้เกิดการแพร่กระจายของแคดเมียมในดินต่อ ๆ ไป กรมควบคุมมลพิษได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำที่ไม่ผ่านกิจกรรมการทำเหมืองแร่และท้ายน้ำเมื่อผ่านกิจกรรมเหมืองแร่ พบว่าจุดต้นน้ำมีการสะสมของสารแคดเมียมในตะกอนดินน้อยมาก แต่เมื่อลำน้ำไหลผ่านพื้นที่กิจกรรมการทำเหมืองแร่จะตรวจพบปริมาณสารแคดเมียมในดินตะกอนสูงขึ้นถึง 44-326 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงต่อเนื่องตลอดลำห้วยที่ทำการศึกษา เมื่อน้ำดังกล่าวได้ถูกผันมาใช้เพื่อการเกษตรในพื้นที่ลุ่มด้านล่าง จึงทำให้เกิดปัญหาการตกค้างของแคดเมียมในแปลงเกษตร ซึ่งสามารถถูกดูดซับในดินต่อไป สถาบันจัดการคุณภาพน้ำ-อิวมี่ ร่วมกับกรมวิชาการเกษตรได้ทำการตรวจวัดระดับสารแคดเมียมในดินและข้าวในแปลงนา บริเวณ อำเภอ แม่สอด จังหวัด ตาก พบว่า แปลงนาที่อยู่ใกล้บริเวณแหล่งแร่สังกะสีมีปริมาณสูงสุด และมีปริมาณแคดเมียมลดลงตามระยะทางที่ห่างออกไป โดยมีปริมาณสารแคดเมียมในดินสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย และแหล่งเกษตรกรรม ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าที่พบอยู่ในช่วง 70-150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัมมนา กลุ่มแคดเมียม แม่ตาว จ.ตาก, 2549) ด้วยเหตุนี้ภาครัฐจึงเร่งดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักอย่างเร่งด่วน เพื่อให้ดินมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก

เทคโนโลยีการบำบัดและฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ การขุดดิน 30 เซนติเมตร ที่มีปัญหาปนเปื้อนแคดเมียม และนำดินจากที่อื่นมากลบหน้าดินไปก่อน หรือ การใช้ไฟฟ้าเพื่อทำให้แคดเมียมในดินเกิดสภาวะเสถียรไม่แตกตัว จนทำให้เกิดการแพร่กระจายได้ แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดเป็นวิธีที่ใช้งบประมาณค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง การปรับเสถียรเป็นเทคโนโลยีการบำบัดและฟื้นฟูดินที่น่าสนใจเพื่อลดการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก โดยการเปลี่ยนรูปของโลหะที่ชะละลายได้ง่ายที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ให้อยู่ในรูปของแข็งที่มีความเสถียรมากขึ้น ทำให้ลดการปนเปื้อนของโลหะหนักไปสู่ตัวกลางอื่น ๆ วิธีการนี้จัดว่าเป็นวิธีที่สะดวก มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำและประหยัดพลังงาน จากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการนำปุ๋ยเคมีฟอสเฟตมาใช้ในการปรับเสถียรแคดเมียมที่มีปนเปื้อนในดินตัวอย่างจาก อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ผลการทดลองพบว่าปุ๋ยเคมี-ทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต ให้ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรดีที่สุดโดยใช้อัตราส่วนโมลของฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียม คือ 1:1 ที่เวลา 3 สัปดาห์ ประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 66.83±1.06 (พิชชาภา และคณะ 2548) ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการใช้ปุ๋ยเคมีคือ จะทำให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนไปเมื่อใช้ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ประกอบกับข้อมูลเกี่ยวกับการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบมีอยู่ค่อนข้างจำกัด นอกจากนี้ แนวโน้มในการบริโภคสินค้าที่เป็นสินค้าเกษตรอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น โครงงานพิเศษนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความสามารถของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด คือ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ รวมทั้งศึกษากลไก/รูปแบบของการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction)

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน ด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

3. ศึกษาสัดส่วนของแคดเมียมในรูปแบบต่าง ๆ ที่อยู่ในดินภายหลังการปรับเสถียร ด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างดิน โดยนำดินตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาจากอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มาทำการตากให้แห้ง จากนั้นนำดินไปบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร และทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตัวอย่าง ได้แก่ ค่าพีเอช ความเป็นกรดของดิน ความสามารถในการจุแลกเปลี่ยนประจุบวก ความชื้น ลักษณะเนื้อดิน องค์ประกอบของดิน ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทรียวัตถุในดิน ความหนาแน่นรวมของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ปริมาณของแคดเมียมทั้งหมดและปริมาณแคดเมียมชะละลาย

2. ศึกษาสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

3. ศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วย ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ซึ่งใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1.0 และใช้ระยะเวลาสัมผัสในการปรับเสถียรนาน 2 และ 4 สัปดาห์ จากนั้นทำการวิเคราะห์การชะละลายของแคดเมียมในดินภายหลังปรับเสถียรด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) รวมทั้งศึกษารูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction)

4. ศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร ทำได้โดยการเติมปุ๋ยแต่ละชนิดให้มีค่าอัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1:2, 1:1 และ 1.5:1 ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาในการสัมผัสนาน 3 สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์การชะละลายของแคดเมียมในดินหลังปรับเสถียรด้วยวิธี WET รวมทั้งศึกษารูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยการสกัดแบบลำดับขั้น

5. ศึกษาระยะเวลาในการสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1:2, 1:1 และ 1.5:1 ตามลำดับ โดยแปรค่าระยะเวลาสัมผัสเป็น 1, 2 และ 4 สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์การชะละลายของแคดเมียมในดินหลังปรับเสถียรด้วยวิธี WET และรูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยการสกัดแบบลำดับขั้น

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมาใช้ในการปรับเสถียรโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน และทราบถึงสัดส่วนของแคดเมียมรูปแบบต่าง ๆ ในดินภายหลังจากการปรับเสถียร

2. ทราบปัจจัยที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดและส่วนประกอบของดิน

ดิน หมายถึง วัตถุทางธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลก เกิดจากการแปลงสภาพหรือสลายตัวของหิน แร่ธาตุและอินทรียวัตถุผสมคลุกเคล้ากันตามธรรมชาติรวมตัวกันเป็นชั้นบาง ๆ เมื่อมีน้ำและอากาศที่เหมาะสมก็จะทำให้พืชเจริญเติบโตและยังชีพอยู่ได้ (สุธิลา และคณะ, 2544)

ชนิดของดินสามารถจำแนกตามลักษณะของเนื้อดินออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

1. ดินเหนียว คือ ดินที่มีเนื้อละเอียดที่สุด ยึดหยุ่นเมื่อเปียกน้ำ เหนียวติดมือ ปั้นเป็นก้อนหรือคลึงเป็นเส้นยาวได้ พังทลายได้ยาก อุ้มน้ำได้ดี จับยึดและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้ค่อนข้างสูงจึงมีธาตุอาหารอยู่มากเหมาะที่จะใช้ปลูกข้าวนาดำเพราะเก็บน้ำได้นาน

2. ดินทราย เป็นดินที่เกาะตัวกันไม่แน่น ระบายน้ำและอากาศได้ดีมาก อุ้มน้ำได้น้อย พังทลายง่าย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเพราะความสามารถในการจับยึดธาตุอาหารมีน้อย พืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณดินทรายจึงขาดน้ำและธาตุอาหารได้ง่าย

3. ดินร่วน คือ ดินที่มีเนื้อค่อนข้างละเอียด นุ่มมือ ยึดหยุ่นพอควร ระบายน้ำได้ดีปานกลาง มีแร่ธาตุอาหารพืชมากกว่าดินทรายเหมาะสำหรับใช้ในการเพาะปลูก ดินร่วนที่แท้จริงมักไม่ค่อยพบในธรรมชาติ แต่จะพบเนื้อดินที่มีลักษณะใกล้เคียงเสียเป็นส่วนมาก

ส่วนประกอบของดินสามารถจำแนกได้เป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. อนินทรียวัตถุหรือแร่ธาตุ เป็นส่วนที่สลายตัวมาจากวัตถุให้กำเนิดดิน เช่น หินหรือแร่ โดยทั่วไปจะพบในดินในสัดส่วนประมาณครึ่งหนึ่งของเนื้อดินทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2. อินทรียวัตถุ เป็นส่วนที่มีหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของธาตุอาหารของพืชที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของซากพืชและสัตว์ที่ทับถมกันอยู่บนดิน โดยจุลินทรีย์ อินทรียวัตถุที่ย่อยสลายแล้วและอยู่ในสภาพที่เหมาะสมเรียกว่า ฮิวมัส (humus) อินทรียวัตถุเป็นส่วนประกอบที่บอกตัวความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะนอกจากเป็นสารอาหารของพืชแล้ว ยังทำให้เกิดสภาพกรดอ่อนที่เหมาะสมต่อการละลายของแร่ธาตุในดินที่เป็นธาตุอาหารสำหรับพืชอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการรักษาความชื้นไว้ในดิน (สุธิลา และคณะ, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. น้ำ เป็นส่วนประกอบที่พบอยู่รอบ ๆ อนุภาคดินและในช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน (pore space) น้ำในดินมีความสำคัญคือ เป็นแหล่งน้ำสำหรับพืชและจุลินทรีย์ในดิน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินซึ่งช่วยให้พืชสามารถนำไปใช้ได้

4. อากาศ ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และออกซิเจน ซึ่งจะแทรกอยู่ตามที่ว่างในดินระหว่างอนุภาคดิน ก๊าซแต่ละชนิดมีความสำคัญต่างกันไป ดังนี้คือ ออกซิเจนเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในการหายใจของพืชและจุลินทรีย์ ก๊าซไนโตรเจนในอากาศจะถูกเปลี่ยนเป็นเกลือไนเตรทซึ่งเป็นธาตุอาหารพืชโดยแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixing bacteria) เช่น แบคทีเรียในสกุล Rhizobium ที่อาศัยอยู่ในปมรากพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น (สุธิลา และคณะ, 2544)

สัดส่วนดินที่ถือว่ามีส่วนประกอบที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกพืช โดยทั่วไปมักจะมีส่วนประกอบ ประกอบด้วยอนินทรีย์ร้อยละ 45 อินทรีย์สารร้อยละ 5 อากาศร้อยละ 25 และน้ำร้อยละ 25 (สุธิลา และคณะ, 2544, คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2.2 สมบัติของดิน (ศุภมาศ, 2538)

2.2.1 สมบัติทางกายภาพ

1.พื้นที่ผิวจำเพาะ

เนื้อดินสามารถบอกถึงปริมาณคอลลอยด์อนินทรีย์อย่างหยาบได้ ทั้งนี้เพราะอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากอีกทั้งอยู่ในสภาพคอลลอยด์จึงทำให้มีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักเป็นปริมาณมาก ดินที่มีลักษณะเป็นเนื้อละเอียดจะมีพื้นที่ผิวสูงขึ้น การเพิ่มพื้นที่ผิวให้สูงขึ้นในดินเนื้อหยาบก็สามารถทำได้ โดยการเติมคอลลอยด์อินทรีย์ลงไป ซึ่งได้แก่ ฮิวมัส การเพิ่มขึ้นอินทรียวัตถุให้แก่ดิน เมื่อสลายตัวก็จะให้ฮิวมัสแก่ดิน

2. ความพรุนของดิน (soil porosity)

เนื้อดินหยาบจะมีช่อง (pore) ขนาดใหญ่อยู่มาก แต่ละมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เมื่อดินแห้งลงจะอุ้มน้ำได้น้อยทำให้ก๊าซถ่ายเทได้ดี ส่วนในดินที่มีปริมาณซิลท์สูง เมื่อฝนตกหรือระหว่างรดน้ำจะสูญเสียโครงสร้างดินได้ง่ายซิลท์จะไหลลงอุดตันช่องทำให้ผิวหน้าดินปิด ดังนั้นแม้การรดน้ำเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้ช่องบนผิวหน้าผิวดินปิด ทำให้น้ำและก๊าซถ่ายเทได้น้อยลง โดยทั่วไปแล้วช่องขนาดเล็ก (micropore) ในดิน ก็ยังมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน คือ เนื้อดินละเอียดจะมีช่องขนาดเล็กมากกว่าดินเนื้อหยาบ ซึ่งช่องขนาดเล็กจะสามารถดูดซึมน้ำเอาไว้ได้ ทำให้ดินเนื้อละเอียดมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ (available water capacity-AWC) มากกว่าดินเนื้อหยาบ ส่วนของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีความสำคัญต่อพืช และจุลินทรีย์ในดินเช่นกัน โดยเฉพาะอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งเมื่อใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งวัสดุเหลือใช้ และต้องการให้ระบบดิน-พืช เป็นตัวการกำจัดสารมลพิษและวัสดุเหลือใช้ดังกล่าว

3. การดูดซับ (adsorption) และการดูดซึม (absorption)

การดูดซึมที่สำคัญในดินคือ การดูดซึมน้ำ น้ำจะถูกดินดูดไว้ในช่องระหว่างอนุภาคดินช่องในดินไม่อาจดูดซึมน้ำไว้ได้ทั้งหมด ทั้งนี้เพราะแรงดูดซึมต้องเอาชนะอิทธิพลแรงดึงดูดของโลกให้ได้ แรงดูดซึมนี้มีความสัมพันธ์โดยแปรผกผันกับขนาดของช่อง ยิ่งช่องมีขนาดเล็กแรงดูดซึมก็ยิ่งมาก ดังนั้นปริมาณน้ำที่ดูดซึมไว้จึงมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคของดิน ดินที่มีอนุภาคดินเหนียวในปริมาณมาก (เนื้อดินละเอียด) จะดูดซึมน้ำได้มาก ปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่สูงก็จะอุ้มน้ำไว้ได้มาก

4. อินทรียวัตถุในดิน (คมสรร, 2547)

เนื่องจากอินทรียวัตถุมีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อสมบัติต่างๆของดินได้กล่าวถึงความสำคัญของอินทรียวัตถุในดินที่มีอิทธิพลต่อสมบัติต่างๆ ของดินไว้ดังนี้

4.1 อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของดิน(Influence of Organic Matter on Physical Properties of Soils)

อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของดินที่เห็นได้ชัดคือสีของดิน ดินที่มีอินทรียวัตถุอยู่ในปริมาณสูงจะมีสีเข้ม อาจจะมีสีน้ำตาลไปจนถึงสีดำ ยกเว้นในกรณีที่ดินมีปริมาณแมงกานีสอยู่สูงมากก็อาจทำให้ดินมีสีดำได้เหมือนกัน โดยทั่วไปแล้ว ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำจะมีสีจาง

การจับตัวกันเป็นก้อนของอนุภาคดิน ต้องอาศัยอินทรียวัตถุเข้ามามีส่วนช่วยอย่างมาก โดยเฉพาะดินที่มีลักษณะเป็นทราย ทั้งนี้อินทรียวัตถุจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างอนุภาคของดินให้จับตัวกันเป็นเม็ดดิน ในทำนองเดียวกันดินเหนียวที่อนุภาคดินจับตัวกันแน่นทึบ อินทรียวัตถุก็จะช่วยให้ดินจับตัวกันเป็นก้อนแยกออกจากกันได้บ้าง ทำให้ดินร่วนขึ้น ดังนั้นอินทรียวัตถุจึงมีส่วนช่วยทำให้ดินมีสมบัติทางกายภาพเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าดินจะมีลักษณะเป็นทรายหรือมีสภาพเป็นดินเหนียวก็ตาม

นอกจากนี้อินทรียวัตถุช่วยให้ดินเหนียวมีการระบายน้ำดีขึ้น เนื่องจากอินทรียวัตถุช่วยทำให้ดินเหนียวจับตัวกันเป็นก้อนได้ดี จึงทำให้มีช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างก้อนดินเพิ่มขึ้น เมื่อมีน้ำอยู่ในดินปริมาณที่เกินกว่าความสามารถของดินจะดูดซับไว้ได้แล้ว มันจะไหลลงไปสู่ดินชั้นล่าง หรือระเหยไปจากดินโดยผ่านทางช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินได้ง่าย ในทางตรงข้ามอินทรียวัตถุก็ยังช่วยให้ดินทรายหรือดินที่มีเนื้อหยาบอุ้มน้ำได้ดีขึ้น เพราะสมบัติทางกายภาพของอินทรียวัตถุมีลักษณะมีช่องว่างมาก และมีความพรุนสูง จึงดูดซับน้ำไว้ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อสมบัติทางเคมีของดิน(Influence of Organic Matter on chemical Properties of Soils)

อินทรียวัตถุมีอิทธิพลต่อสมบัติทางเคมีของดินทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม สำหรับอิทธิพลโดยทางตรงก็คือ อินทรียวัตถุเป็นอินทรีย์สารชนิดหนึ่ง ขณะที่สลายตัวในดินได้ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาหลายชนิด ซึ่งก็เป็นจำพวกกรดอ่อนเสียส่วนมาก จนกระทั่งเหลือส่วนที่มีความเสถียรมากที่สุด ที่เรียกกันว่า ฮิวมัส (Humus) ด้วยเหตุนี้อินทรียวัตถุจึงช่วยให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ได้เป็นอย่างดี อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อสมบัติทางเคมีที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้สูงกว่าสารคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อนโดยเฉพาะสารฮิวมัสย่อมจะมีประจุลบและประจุบวกอยู่มากมายจึงสามารถแลกเปลี่ยนประจุตรงข้ามได้มาก

ส่วนอิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อดินโดยทางอ้อม เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน อันเป็นองค์ประกอบสำคัญของสารอินทรีย์ส่วนมาก นอกจากนี้ยังมีธาตุคาร์บอนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานอันสำคัญของ จุลินทรีย์ในดิน

4.3 อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อชีวภาพของดิน

จุลินทรีย์ในดินหลายชนิด โดยเฉพาะพวก Heterotrophic ซึ่งอาศัยพลังงานและธาตุคาร์บอนจากอินทรียวัตถุโดยตรง มีอยู่ส่วนน้อยที่อาศัยพลังงานจากกระบวนการ Oxidation ของส่วนที่เป็นแร่ธาตุต่างๆ ในดิน นอกจากนี้อินทรียวัตถุยังเป็นแหล่งให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์แก่จุลินทรีย์ในดินก็สูงตามไปด้วย เพราะมีแหล่งอาหารและพลังงานในปริมาณที่เพียงพอ

4.4 อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ความอุดมสมบูรณ์ของดินขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และธาตุอาหารพืชหลายชนิดที่ขึ้นอยู่กับปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจน เนื่องจากธาตุไนโตรเจนไม่พบว่าเป็นองค์ประกอบอยู่ในแร่ปฐมภูมิชนิดใดเลย แต่บางส่วนที่ถูกตรึงไว้กับแร่ดินเหนียวในรูป NH_4^+ อยู่บ้าง ซึ่งก็ถือว่าเป็นจำนวนน้อยไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในดินในรูปของสารอินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ปริมาณของอินทรียวัตถุอย่างเดียวจะมีมากกว่า ธาตุไนโตรเจน ประมาณ 20 เท่า หรือ อาจจะกล่าวได้ว่าอัตราส่วนของปริมาณอินทรียวัตถุต่อปริมาณไนโตรเจนในดินเท่ากับ 20:1

อินทรียวัตถุมีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินเกี่ยวกับธาตุอาหารพืชชนิดอื่นๆ ที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่สำคัญก็คือ ฟอสฟอรัสและกำมะถัน นอกจากนี้ยังมี K^+, Ca^{2+} และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mg^{2+} อีกด้วย นอกเหนือจากอิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารในดินโดยตรงแล้วยังมีอิทธิพลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดความเป็นด่าง และความเป็นเกลือในดินได้เช่นเดียวกัน

4.5 อิทธิพลของดินอินทรียวัตถุที่มีต่อกยัยการของดิน

อินทรียวัตถุในดินช่วยทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้นและทำให้โครงสร้างมีความคงทน ถ้าอยู่บริเวณหน้าดินจะป้องกันผิวหน้าของดินไม่ให้จับตัวกันเป็นแผ่น และป้องกันไม่ให้จับตัวกันแน่นทึบ ทำให้การซึมซาบของน้ำลงไปในดินเพิ่มมากขึ้น เป็นการลดการไหลบ่าของน้ำไปตามผิวดิน จึงลดกยัยการของดินได้ในที่สุด ด้วยเหตุนี้ดินที่มีอินทรียวัตถุในปริมาณสูง ย่อมเกิดกยัยการของดินได้น้อยลง

5. สภาพความชื้นดินและการเคลื่อนย้ายของน้ำ (ศุภมาศ, 2538)

ความแตกต่างในด้านความสามารถอุ้มน้ำของดินเป็นผลมาจากความแตกต่างของเนื้อดิน ดังนั้นเนื้อดินจึงเป็นปัจจัยควบคุมระดับการชะละลาย (Leaching) ของดินและการแทรกซึม (Infiltration) ลงของน้ำจากบนดินเข้าสู่ผิวดิน ในตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นอัตราการแทรกซึมลงของน้ำ และความสามารถอุ้มน้ำของดินที่สภาพความจุที่ความชื้นปกติ ในประเภทเนื้อดินต่าง ๆ ซึ่งทั้งอัตราการแทรกซึมลงของน้ำและความสามารถอุ้มน้ำของดินสามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และการปรับปรุงโครงสร้างดินจึงเป็นการลดอัตราการแทรกซึมลง และเป็นการลดความจุในการอุ้มน้ำของดิน

ตารางที่ 2.1 อัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นปกติ

เนื้อดิน	การแทรกซึมลง (นิ้ว/ซม.)		ปริมาณน้ำทั้งหมด (นิ้ว/ฟุตของความลึก)
	ดินพืชปกคลุม	ดินว่าง	
ร่วนเหนียว	0.2	0.1	4.8
ร่วนปนซิลท์	0.6	0.3	4.2
ร่วน	1.0	0.5	3.8
ร่วนปนทราย	2.0	1.0	1.2

ที่มา : ศุภมาศ (2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 สมบัติทางเคมี (ศุภมาศ, 2538)

1. ความเป็นกรด-ด่างของดิน

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของดินคล้ายคลึงกับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ คือ การวัดพีเอชของดิน แต่แตกต่างกันที่ดินนั้นมีความเป็นกรดอยู่ 2 ชนิดคือ กรดจริงและกรดแฝง

ดินมีทั้งประจุบวกและลบแต่มีค่าประจุลบมากกว่า ความที่มีประจุนี้นับว่าเป็นประโยชน์มาก เพราะธาตุต่าง ๆ ในสารละลายดินรวมทั้งธาตุอาหารของพืชในรูปที่พืชดูดกินได้จะต้องอยู่ในรูปประจุเช่นกัน ธาตุอาหารพืชโดยส่วนใหญ่มีประจุเป็นบวก ดังนั้นจึงถูกดินดูดซับไว้ไม่ไหลตามน้ำลงไปจนเลยระดับความลึกของราก ทำให้ธาตุอาหารที่ถูกดินดูดซับเอาไว้นี้ย่อมมีโอกาสให้พืชดึงดูดเอาไปใช้ได้

ไฮโดรเจนไอออนนั้นมีประจุบวก ดังนั้นส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดินดูดซับ จึงเรียกว่า สภาพกรดแฝง (potential acidity) ส่วนของกรดที่มีบทบาทต่อความสามารถในการละลายได้ของธาตุและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชนี้ คือ ส่วนสภาพกรดจริง ดังนั้นดินเหนียวและดินทรายที่มีค่าพีเอชเท่ากัน จะมีความต้องการปูนในการยกระดับพีเอชไม่เท่ากันได้ เพราะดินทั้งสองชนิดมีค่ากรดแฝงไม่เท่ากัน เนื่องจากดินเหนียวมีค่าประจุลบมากกว่าจึงมีสภาพกรดแฝงมากกว่า ส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดูดซับจะมีปริมาณมากกว่าส่วนที่ไม่ถูกดูดซับ และจะปลดปล่อยจากส่วนที่ถูกดูดซับออกมาเป็นบางส่วน ลักษณะคล้ายการแตกตัวของกรดอ่อน

2. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (Cation Exchange Capacity- CEC)

การที่ดินมีประจุไฟฟ้าเป็นผลเนื่องมาจากอนุภาคของดินเหนียวและอินทรียวัตถุในดิน โดยส่วนใหญ่อนุภาคของดินเหนียวมีรูปร่างแบนบางทำให้มีโอกาสที่อะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่รอบนอกจะหลุดออกไปได้มากขึ้น เมื่อสารประกอบใดเกิดมีการสูญหายของอะตอมก็จะมีประจุทันที ประจุที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นประจุลบ ดินมีความสามารถในการดึงดูดแคตไอออนไว้ไม่เท่ากัน แคตไอออนที่ถูกดูดซับ (adsorbed cation) กับคอลลอยด์ดินจะสามารถเปลี่ยนแปลงกันได้กับแคตไอออนในสารละลายดิน จึงมีชื่อเรียกว่า แคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มลพิษทางดิน (สุธิลา และคณะ, 2544)

มลพิษทางดิน หมายถึง มลสารใด ๆ ที่เกิดขึ้นตามกลไกธรรมชาติ หรือที่ถูกปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษสู่ดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนในดิน หรือการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินจนกระทั่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ การปนเปื้อนในดินเกิดขึ้นได้ด้วยกลไกทางธรรมชาติ และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งมีความต้องการความสะดวกสบายด้านวัตถุเป็นเกณฑ์ ทำให้เกิดการปนเปื้อนสารเคมีและสารอนินทรีย์บางส่วนลงสู่พื้นดิน ตัวอย่างมลพิษทางดินที่มีสาเหตุสำคัญจากกิจกรรมมนุษย์ได้แก่ โลหะหนัก ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และสารกัมมันตภาพรังสี เป็นต้น

2.3.1 โลหะหนัก

โลหะหนักเป็นมลพิษทางดินที่สำคัญ ได้แก่ ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี โครเมียม ฯลฯ การปนเปื้อนของโลหะหนักเหล่านี้มีแหล่งที่มาจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ ผลิตถ่านไฟฉาย เป็นต้น จากฉวันของยานพาหนะที่ออกมาจากไอเสียรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินพิเศษคือ ตะกั่ว หรือจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ซึ่งโลหะหนักเจือปนอยู่ในสินแร่เสมอ เช่น สินแร่ตีบุกมักมีตะกั่วเจือปน ในขณะที่เหมืองสังกะสีมักมีแคดเมียมเจือปนอยู่ การจัดการของเสียเหล่านี้อย่างไม่ถูกต้องเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โลหะหนักเหล่านี้ตกค้างในดิน

2.3.2 ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี หมายถึง ธาตุอาหารของพืชที่ใส่ลงดินเพื่อเพิ่มสารอาหารแก่พืชตามธาตุอาหารที่พืชต้องการ มีความจำเป็นก็ต่อเมื่อต้องการเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร แต่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ หากมีการใช้ปุ๋ยที่ไม่ถูกต้องอาจทำให้เกิดโทษตามมา เพราะปุ๋ยเคมีจะมีผลทำให้เกิดกระบวนการมากมายเช่น การแปรรูปของธาตุ (Transformation) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Precipitation) การตรึงธาตุอาหารโดยรากพืช (Fixations) การสูญเสียธาตุอาหารในสภาพก๊าซ (Gaseous losses) และกระบวนการอื่น ๆ

2.3.3 สารปราบศัตรูพืช

สารปราบศัตรูพืชมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สังเคราะห์ขึ้นมาโดยกระบวนการทางเคมี การแบ่งประเภทของสารกำจัดศัตรูพืช ส่วนใหญ่จะแบ่งตามกลุ่มของศัตรูพืช เป็น ยาฆ่าแมลง ยากำจัดเชื้อรา ยากำจัดวัชพืช เป็นต้น สารกำจัดศัตรูพืชจัดเป็นสารมลพิษที่สำคัญ เนื่องจากโดยส่วนใหญ่สามารถตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน เป็นพิษที่ทำลายสิ่งมีชีวิตในดินหรือจุลินทรีย์ในดินรวมทั้งส่งผลกระทบทางลบแก่พืชที่เจริญเติบโตในบริเวณนั้น

จากรายงานกรมวิชาการเกษตรพบว่า มีการนำเข้าวัตถุมีพิษทางการเกษตรสูงถึงปีละประมาณ 3 หมื่นตัน (สุธิลา และคณะ, 2544) สารพิษเหล่านี้จะตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งความเป็นพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสารปราบศัตรูพืชสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ ดังนั้นจึงต้องมีปัจจัยควบคุมในการใช้สารปราบศัตรูพืชโดยควบคุมชนิด ลักษณะความเป็นพิษ รวมทั้งอายุ ขนาดและความเข้มแข็งของคนที่จะนำไปใช้ประโยชน์

2.3.4 สารกัมมันตภาพรังสี

ปัจจุบันมีการใช้สารกัมมันตภาพรังสีกันอย่างแพร่หลายในสาขาต่าง ๆ เช่น ด้านการแพทย์ การเกษตร การอุตสาหกรรมบางชนิด ได้แก่ โรงถลุงแร่ยูเรเนียมและทอเรียม โรงไฟฟ้านิวเคลียร์และการทดลองนิวเคลียร์ ทำให้สารกัมมันตภาพรังสีที่ใช้ในกิจกรรมเหล่านี้มีโอกาสปนเปื้อนในดิน ทำให้สิ่งมีชีวิตมีโอกาสได้รับสารเหล่านี้ได้ง่ายและแสดงความเป็นพิษออกมา

2.4 การปรับเสถียร (กิตติวรรณ และคณะ, 2547)

การปรับเสถียรหรือที่เรียกว่าการทำให้เป็นของแข็ง (Solidification) เป็นการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะโดยใช้วิธีการทำให้โลหะที่ชะละลายอยู่ในรูปที่มีความเสถียร กล่าวคือมีความสามารถในการกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยลง หรือทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ยาก อาจทำได้โดยการทำให้โลหะหนักตกตะกอนเป็นของแข็ง ซึ่งจะช่วยลดความสามารถในการกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ หรือทำให้โลหะหนักนั้นมีค่าการละลายต่ำเพื่อลดการกระจายตัวของโลหะหนักเช่นเดียวกัน กระบวนการลดการเคลื่อนย้ายของมลพิษที่ปนเปื้อนในดิน ทำโดยการเติมสารที่สามารถจับยึดโลหะได้ลงในดินที่มีการปนเปื้อนเพื่อทำให้เกิดการแข็งตัวและจับยึดเอาโลหะไว้ สารที่เติมลงไปอาจทำหน้าที่ในการจับโลหะหนักโดยอาศัยหลักการใดหลักการหนึ่งต่อไปนี้คือ ทำให้โลหะหนักอยู่ในสถานะของแข็งและมีความแข็งแรงมากขึ้น ลดความสามารถในการหดตัวของแข็ง ซึ่งหดตัวได้น้อยกว่าของเหลวและลดความสามารถในการไหลผ่านของของเหลว

การปรับเสถียรหรือการตรึงโลหะในดิน ทำโดยการใส่สารลงไปจับโลหะหนักเพื่อยับยั้งการเคลื่อนที่จากดินสู่สิ่งแวดล้อม สารที่ทำหน้าที่จับโลหะหนักเรียกว่า สารปรับเสถียร (Stabilizer) สารปรับเสถียรมี 2 ประเภท ดังนี้คือ

1. สารที่ละลายน้ำได้ (Soluble Chemical) ได้แก่ สารเคมีและปุ๋ยบางชนิดเช่น ปุ๋ยฟอสเฟต วิธีการปรับเสถียรทำได้โดยใส่สารเคมีลงในดินจนอิ่มตัว สารจะผ่านเข้าไปในดินอย่างรวดเร็วทางผิวหน้าดิน หรือพ่นทีละน้อย ๆ ให้ไหลผ่านดินอย่างอิสระ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรของสารประเภทนี้ ได้แก่ อัตราการไหลของสารซึ่งส่งผลกับช่วงเวลาที่ดินจะสัมผัสกับสารปรับเสถียร และปริมาณอากาศภายในดินในช่วงเวลาในการบำบัด ข้อจำกัดที่สำคัญของสารปรับเสถียรในกลุ่มนี้คือ สารเคมีที่ใช้บางตัวอาจเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรืออาจมีราคาแพงเกินไปไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (Insoluble Chemical) เช่น แร่ดินเหนียว สารซีโอไลต์ โดยการประยุกต์ใช้มีหลายวิธี ดังนี้คือ

2.1 การเทปกคลุมพื้นที่ (Spreading) วิธีนี้เหมาะสมในการบำบัดในดินที่มีความชื้นสูง มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงและโลหะหนักปนเปื้อนในระดับชั้นผิวหน้าดิน

2.2 การไถพรวนดิน (Tilling) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับคือ วิธีการ Routing tilling จะใส่สารตัวตรึงในระดับความลึกจากผิวหน้าดิน 1 หรือ 2 ฟุตและวิธีการ Special deep tilling จะใส่สารปรับเสถียรในระดับความลึกจากผิวหน้าดิน 5 ฟุต

2.3 การทำให้สารปรับเสถียรเป็นสารแขวนลอยเมื่อเติมน้ำหรือสารละลายกรดอ่อน ๆ โดยสารปรับเสถียรจะต้องมีขนาดอนุภาคเล็กโดยจะใช้วิธีฉีดจากหัวฉีดแล้วให้เคลื่อนที่ผ่านไปในดิน

2.4 การเติมสารปรับเสถียรให้เป็นเสมือนเป็นตัวกั้นผ่าน จะใช้เมื่อดินมีความสามารถในการซึมผ่านสูง ค่าอินทรียวัตถุในดินต่ำ และโลหะหนักมีการปนเปื้อนจากผิวหน้าดินในความลึก 10 ฟุตหรือมากกว่า เช่น ดินเบนโทไนต์ เป็นต้น

ในทางปฏิบัติกระบวนการบำบัดประกอบด้วย

- การกำจัดน้ำออก เพื่อลดปริมาณของของแข็ง
- เติมสารเพื่อให้ของเสียจับตัวเป็นก้อนของแข็ง

กลไกของการบำบัดส่วนใหญ่เน้นที่กระบวนการทางกายภาพ เช่น การจับยึด การดูดซึมหรือดูดซับ การตกตะกอน แต่ก็จะมีกระบวนการทางเคมีด้วยกัน เช่น การทำให้เปลี่ยนสภาพเพื่อให้โลหะหนักเสื่อมสภาพไป การเลือกชนิดของสารเคมีที่จะใช้ผสมกับสารพิษจำเป็นที่จะต้องใช้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกลไกการบำบัด

กลไกของการบำบัดมีดังนี้ (พิชชาภา และคณะ, 2548)

1. การจับยึด (Macro encapsulation และ Micro encapsulation)

โดยการให้โลหะเข้าไปอยู่ในช่องว่างของตัวจับยึด ซึ่งตัวจับยึดแบ่งออกได้เป็นตัวจับยึดที่มีรูขนาดใหญ่ และตัวจับยึดที่มีรูขนาดเล็ก ตัวจับยึดอาจจะมีรูทั้งขนาดเล็กและใหญ่ก็ได้ การจับยึดนี้เป็นเพียงการกำจัดขอบเขตของโลหะหนักให้อยู่ในบริเวณที่กำหนดให้เท่านั้น หากตัวจับยึดเกิดการแตกร้าว สารพิษก็สามารถรั่วไหลออกสู่ภายนอกได้อีกครั้ง ดังนั้นถ้าตัวจับยึดที่มีรูขนาดเล็กจะมีความเสถียรภาพสูงกว่าตัวจับยึดที่มีรูขนาดใหญ่เนื่องจากการแตกออกของตัวจับยึดที่มีรูขนาดเล็กอาจจะไม่ทำให้จำนวนรูที่เกิดการแตกหักมีมากขึ้นหรือมีไม่มากเท่ากับจำนวนรูขนาดใหญ่ที่จะเกิดความเสียหายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การดูดซึม (Absorption)

เป็นกระบวนการที่เกิดจากการกระทำของโลหะหนักซึ่งถือเป็นตัวถูกดูดซับ (Absorbate) และการดูดซึม (Absorb) ซึ่งเป็นการต้องการให้โลหะหนักเข้าไปละลายเป็นเนื้อเดียวกับตัวดูดซึมนั่นเอง การดูดซึมนี้อาจจะมีการใช้งานสำหรับก๊าซพิษเท่านั้น เนื่องจากกลไกของการดูดซึมเกี่ยวข้องกับการละลายสารชนิดหนึ่งให้อยู่ในสารอีกชนิดหนึ่งและตัวดูดซึม (ตัวทำละลาย) มักอยู่ในรูปของของเหลว เช่น การนำของเหลวชนิดหนึ่งไปจับเอาของเสียออกจากของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้กับการดึงเอาสิ่งแปลกปลอมออกจากน้ำมันเพื่อให้น้ำมันมีความสะอาดขึ้นและสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

3. การดูดซับ (Adsorption)

หลักการของการดูดซับจะแตกต่างจากการดูดซึมเล็กน้อย เนื่องจากการดูดซับจะเป็นการทำให้เกิดพันธะระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ปัจจุบันมีการพัฒนาคุณสมบัติของดินให้สามารถดูดซับได้โดยจะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพ โดยการเปลี่ยนแปลง inorganic cation ที่อยู่ในดินและใส่สารอินทรีย์ที่มีโซ่พันธะยาว ๆ ลงไปแทนการใส่สารอินทรีย์ลงในดินทำให้มีองค์ประกอบที่ไม่มีขั้วและทำให้สามารถดูดซับสารที่ไม่มีขั้วเช่นสารอินทรีย์ด้วยกันเองได้มากขึ้น

4. การตกตะกอน (Precipitation)

เป็นวิธีการที่ทำให้โลหะหนักตกตะกอน และมีความสามารถในการละลายน้อยลงและส่งให้มีความสามารถในการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมน้อยลงด้วยวิธีการตกตะกอนไม่ได้ใช้สำหรับโลหะที่ละลายอยู่ในของเสียที่เป็นของเหลวเท่านั้น แต่ยังใช้กับโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในกากของแข็งด้วย เพราะโลหะหนักเหล่านี้เพียงรอเวลาที่จะให้เจอกับน้ำ เพื่อที่จะละลายและรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมเท่านั้น ดังนั้นเราสามารถใช้เทคนิคนี้กับกากของเสียเพื่อทำให้สารที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูงละลายได้น้อยลงและทำให้กากของเสียมีคุณภาพดีขึ้น ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมน้อยลง การตกตะกอนเป็นวิธีที่เหมาะสมกับของเสียที่มีปริมาณโลหะหนักเจือปนอยู่มาก

2.5 โลหะหนักแคดเมียม (เกศิณี, 2547)

แคดเมียมเป็นโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน และในระหว่างการหลอมเหลวด้วยความร้อนที่มีความกดดันสูงทำให้กลายเป็นไอควันในรูปของแคดเมียมออกไซด์ แคดเมียมที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่มักพบปะปนอยู่กับแร่ธาตุสังกะสี ทองแดง และดีบุก ซึ่งแคดเมียมเป็นธาตุที่อยู่ติดกับสังกะสีในตารางธาตุจึงมีลักษณะทางเคมีและทางฟิสิกส์คล้ายคลึงกันแต่แคดเมียมจะมีความเป็นพิษสูงกว่า ในสภาพธรรมชาติแคดเมียมเป็นสารเจือปนในสินแร่สังกะสีอาจจะมากกว่า 3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปเมื่อแคดเมียมอยู่ในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพแลกเปลี่ยนและเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุด ในการควบคุมสภาพการเคลื่อนที่ได้ ของแคดเมียมในดิน คือ พีเอช และศักย์รีดอกซ์ โดยดินที่มีศักย์รีดอกซ์สูงแคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบเช่น CdO หรือ $CdCO_3$ หรืออาจอยู่ร่วมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน ซึ่งแคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าพีเอชระหว่าง 4.5-5.5 ขณะที่สภาพดินเป็นด่างแคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ส่วนสภาพดินที่เป็นกรดสภาพการละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็ก อะลูมินัมและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน แคดเมียมเมื่ออยู่ในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพที่แลกเปลี่ยนได้ทำให้ศักยภาพในการเคลื่อนที่และการแพร่กระจายของแคดเมียมสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหนักตัวอื่น ๆ พบว่าความสามารถในการเคลื่อนที่เรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ Cd > Zn > Cu, Ni แคดเมียมเมื่ออยู่ในรูปตะกอนที่เป็นด่าง เช่น Cd-sludge มีแนวโน้มที่จะอยู่ในลักษณะคีเลตหรือรวมกับอินทรีย์สารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble organic bound) เป็นส่วนใหญ่ และปริมาณในส่วนนี้จะไม่ถูกกระทบโดยการเปลี่ยนแปลงสภาพออกซิเดชัน-รีดักชันแต่อย่างไร เมื่อมีสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้นและอากาศถ่ายเทดี แคดเมียมในดินจะเปลี่ยนรูปจากสารประกอบอินทรีย์ไปอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงพีเอชและศักย์รีดอกซ์ในดินมีผลต่อการละลายได้ และการแพร่กระจายของแคดเมียมเป็นอย่างมาก

แคดเมียมสามารถละลายได้ดีในดิน ดังนั้นแม้แคดเมียมมีเพียงปริมาณเล็กน้อยปนเปื้อนในดินจะถูกดูดและสะสมในพืชซึ่งโดยสภาพความเข้มข้นปกติ พืชจะมีแคดเมียมในมวลแห้งน้อยกว่า 1 ppm. ถึงแม้จะมีแคดเมียมในพืชสูงมากพืชก็จะปราศจากอาการเป็นพิษจากแคดเมียม ซึ่งนับว่าเป็นอันตรายอย่างมากเนื่องจากพืชเป็นผู้ผลิตในห่วงโซ่อาหาร ในดินทั่วไปมีแคดเมียมอยู่ 0.5 ppm. องค์กรป้องกันสิ่งแวดล้อม EPA กำหนดปริมาณแคดเมียมที่สามารถบริโภคได้ 30 ไมโครกรัมต่อวัน

2.5.1 คุณสมบัติของแคดเมียม (วิลาวัลย์ และสุรจิต, 2542)

แคดเมียมได้รับการค้นพบเมื่อปี พ.ศ.2360 ซึ่งในธรรมชาติมักปะปนอยู่ในแร่สังกะสีซัลไฟด์ และเป็นผลพลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี แคดเมียมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติอ่อนงอได้ มีสีขาวปนน้ำเงิน มีจุดหลอมเหลวประมาณ 321 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน และระหว่างการหลอมเหลวด้วยความร้อน และความกดดันสูงทำให้กลายเป็นไอควันในรูปของแคดเมียมออกไซด์ นอกจากนี้แคดเมียมอาจอยู่ในรูปเกลือหรือสารประกอบต่าง ๆ เช่น แคดเมียมออกไซด์ มีสีแดง แคดเมียมซัลเฟต มีสีเหลือง ใช้ในการผลิตสี และแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม ซึ่งใช้กับ โทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น รัศมีไอออน (pm) ของแคดเมียม เป็น 65 มีประจุเป็น 2+ และความหนาแน่นประจุ 2.11×10^{10}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ประโยชน์ของแคดเมียม

การใช้ประโยชน์ของแคดเมียม ได้แก่ โรงงานถลุงแร่ และผลิตสังกะสี ผลิตแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม การผลิตสี การผลิตเซมิคอนดักเตอร์ การผลิตพลาสติก โรงงานโลหะผสม การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า และใช้เคลือบผิวโลหะ

2.5.3 ความเป็นพิษของแคดเมียม

ความเป็นพิษของแคดเมียม ถ้ามีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น ในอุตสาหกรรมชุบโลหะแบตเตอรี่ เป็นต้น และอาจก่อให้เกิดมลภาวะสิ่งแวดล้อม ซึ่งโรคพิษแคดเมียมมีการจดบันทึกและรายงานครั้งแรกเมื่อปี พ. ศ . 2401 มีอาการปวดศีรษะ มึนงง บ้านหมุน คอแห้ง ไอ แน่นหน้าอก ขาไม่มีแรง มีอาการหนาวสั่น คลื่นไส้ ปวดท้อง แน่นหน้าอก และหายใจไม่สะดวก และโรคอิไต-อิไต เกิดจากการได้รับพิษแคดเมียม ซึ่งปนมาในน้ำ ทำให้มีอาการปวดกระดูก กระดูกเปราะมาก ไตพิการ ความดันโลหิตสูง สาเหตุเกิดจากโรงงานถลุงแร่สังกะสีแห่งหนึ่งทิ้งกากโลหะซึ่งมีกากแคดเมียมผสมอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงาน

2.5.4 การเข้าสู่ร่างกายและกลไกการเกิดพิษ

การเข้าสู่ร่างกายและกลไกการเกิดพิษเนื่องจากแคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้สองทาง คือ ทางการกินและการหายใจ เมื่อคนกินเข้าไป แคดเมียมมักถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารประมาณร้อยละ 6 แต่ในภาวะที่ร่างกายขาดแร่ธาตุเหล็กทำให้เกิดการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้สูงขึ้นถึงร้อยละ 20 ของจำนวนแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกาย และส่วนทางการหายใจรับฝุ่นหรือไอควันแคดเมียมในบรรยากาศการทำงานได้ทางปอดประมาณร้อยละ 20-50 ภายหลังจากการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้ว แคดเมียมถูกลำเลียงต่อไปยังตับและจับตัวรวมกับโปรตีนประมาณร้อยละ 80-90 ของจำนวนแคดเมียมทั้งหมด และประมาณร้อยละ 50 ของแคดเมียมที่มีอยู่ทั้งหมดในร่างกาย สะสมอยู่ในตับและไต

แคดเมียมมีระยะครึ่งอายุยาวถึงประมาณ 7-30 ปี ตามปกติแคดเมียมถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ในรูปของสารเชิงซ้อนแคดเมียม-เมตัลโลธัยโอริง อัตราการขับออกทางปัสสาวะค่อนข้างต่ำ และจำนวนเล็กน้อยถูกขับออกมาทางถุงน้ำดี น้ำลาย ผม และเล็บ

พิษเรื้อรังจากแคดเมียมอาจเป็นพิษเฉพาะที่ ได้แก่ ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การทำลายไต การมีโปรตีนในปัสสาวะ และการเกิดโรคโลหิตจาง เป็นต้น

การได้รับแคดเมียมเป็นเวลานานมักพบลักษณะของกระดูกผิดปกติ ได้แก่ กระดูกโพรก กระดูกพรุน และกระดูกหักง่าย ทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวดกระดูกขาและเดินลำบาก ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นผลของแคดเมียมต่อเมทาบอลิซึมของกระดูกโดยตรง และแคดเมียมยังก่อให้เกิดการแตกทำลายของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดการขาดธาตุเหล็ก ทำให้เกิดอาการซีดชนิด hypochromic ซึ่งเป็นชนิดที่พบบ่อยในผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปในระดับสูง

แคดเมียมได้รับการจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง เมื่อได้รับแคดเมียมทำให้เกิดมะเร็งในต่อมลูกหมากเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาจากหลายฉบับที่แสดงถึงแนวโน้มว่าแคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็ง โดยมีการทดลองให้ CdS_2 และ $CdSO_4$ ใต้ผิวหนังและกล้ามเนื้อสัตว์ทดลองพบว่าก่อให้เกิดมะเร็งชนิด sarcoma ณ บริเวณนั้น และสามารถแพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองและปอดได้

2.5.5 ปฏิกิริยาในดิน (สุภมาศ 2538)

แคดเมียมในหินอัคนีและหินตะกอนจะมีปริมาณไม่เกิน 0.3 ppm และจะพบอยู่รวมกับสังกะสีเสมอแต่ในสภาพดินที่เป็นกรด แคดเมียมมีสภาพเคลื่อนที่ดีกว่าสังกะสี ในการสลายตัวของหินและแร่ แคดเมียมในดินอยู่ในสภาพละลายได้ง่ายโดยจะอยู่ในรูป Cd^{2+} เป็นส่วนใหญ่ โดยอาจจะอยู่ในรูปของไอออนเชิงซ้อน (Complex ion) และสารประกอบได้ดังนี้

แคตไอออน : $CdCl^+$, $CdOH^+$, $CdHCO_3^+$

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

สารประกอบ : CdO, $CdCO_3$

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมสภาพเคลื่อนที่ได้ของแคดเมียมในดิน คือ พีเอชและศักย์รีดอกซ์ ซึ่งดินที่มีศักย์รีดอกซ์สูง แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบเช่น CdO หรือ $CdCO_3$ หรืออาจอยู่รวมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน

แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ในดินที่มีค่าพีเอชระหว่าง 4.5 ถึง 5.5 ขณะที่ในดินที่เป็นด่างแคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ซึ่งในสภาพดินเป็นกรดสภาพละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

แคดเมียมในดินจะเปลี่ยนจากรูปสารประกอบอินทรีย์ไปอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงศักย์รีดอกซ์และพีเอชในดินมีผลต่อการละลายได้ และการแพร่กระจายของแคดเมียมเป็นอย่างมาก

ปริมาณแคดเมียมในดินทั่วไปมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.07 – 1.0 ppm โดยมีค่าเฉลี่ยสูงในดินฮิสโตซอลส์และค่าเฉลี่ยโดยรวมของดินทั่วไปมีค่า 0.53 ppm สำหรับดินที่มีการปนเปื้อน แหล่งปนเปื้อนที่สำคัญ คือ การถลุงแร่ กากตะกอนน้ำโสโครก ปริมาณแคดเมียมในพืชทั่วไปมีค่าต่ำ จะมีค่าสูงในพืชบางชนิด เช่น ผักกาดหอม 0.66 ppm หรือในใบผักโขม (spinach) ในปริมาณ 0.11 ppm (น้ำหนักสด) เพื่อกินใบ หรือพืชหัวบางชนิด จึงเป็นตัวนำแคดเมียมสู่มนุษย์ เมื่อมีการปนเปื้อนแคดเมียมจะสะสมในรากมากที่สุด โดยสะสมในใบรองลงมา และมีการเคลื่อนย้ายสู่เมล็ดได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107783

2.6 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential Extraction) (ปภานีย์, 2545)

เทคนิคการสกัดแบบลำดับขั้น สามารถหาปริมาณโลหะหนักได้ เนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้ โดยการศึกษาสมบัติทางเคมีของโลหะและแร่ธาตุในดิน ซึ่งการศึกษานี้จะทำให้เข้าใจเคมีของดินที่สัมพันธ์ระหว่างโลหะและชนิดของดิน การเลือกสารเคมีที่มีความเหมาะสมในการสกัด

การวิจัยนี้ได้นำวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น 6 ขั้น มาใช้แยกโลหะที่สนใจออกเป็นส่วนๆ ตามการใช้สารละลายสกัด ที่มีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ปริมาณของโลหะที่ออกมาในแต่ละส่วนสามารถทำนายพฤติกรรมที่เป็นพิษของโลหะในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ การเคลื่อนที่ของโลหะหนักขึ้นกับ pH และการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ ดังนั้นการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาทางสิ่งแวดล้อม การสกัดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณามาจากงานวิจัยหลายท่านซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 : ส่วนที่ละลายน้ำได้ (Deionized H_2O, pH 7)

ปกติน้ำบริสุทธ์จะไม่ใช่ตัวสกัดที่ใช้กัน แต่มักใช้เป็นสารสกัดในส่วนแรก เพื่อพิจารณาว่าโลหะหนักที่อยู่ในตัวอย่างนั้น สามารถละลายน้ำได้หรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ในการดูผลกระทบของสิ่งแวดล้อม เช่น ความเป็นพิษของไอออนโลหะหนักที่มีความสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้หลังจากเกิดน้ำท่วม

ขั้นที่ 2 : ส่วนที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ (1.0 M NH_4OAc, pH 7)

ส่วนนี้ง่ายต่อการแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อม ผลของการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโลหะที่จับตัวกันอย่างหลวม ๆ กับแร่ธาตุ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ของดินตะกอน คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้คือ สามารถละลายไอออนโลหะที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวอย่าง สารสกัดในส่วนนี้นิยมใช้สารที่เป็น Neutral salt, Neutral electrolytes และ Buffered neutral solutions ซึ่งนิยมใช้กันมากในส่วนนี้

ขั้นที่ 3 : ส่วนที่ละลายได้ในกรด (0.11 M CH_3COOH, pH 3)

คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้ ต้องสามารถละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับคาร์บอเนตได้ ซึ่งสารละลายอะซิเตตถูกนำมาใช้ โดยทำให้เป็นกรดที่ pH 3 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์โดยงานวิจัยนี้ได้นำกรดอะซิตริก 0.11 M pH 3 มาใช้ในการสกัด โดยใช้อัตราส่วน สารตัวอย่างต่อสารสกัด เท่ากับ 1:25

ขั้นที่ 4 : ส่วนที่ถูกรีดิวซ์ได้ (0.1 M $NH_2OH.HCl$ in CH_3COOH 25 % v/v pH 2)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การผสมของ Reducing agent และกรด ซึ่งปกติใช้สกัดโลหะในปริมาณน้อยที่ยึดเกาะอยู่กับ Fe_2O_3 หรือ Mn_2O_3 ในดินและตะกอน ซึ่งรูปของออกไซด์นี้เรียกว่า Reducing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

phase โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง Amorphous และ Crystalline โดยปกตินิยมใช้ $NH_2CH.HCl$ in CH_3COOH 25 % v/v กันมากในส่วนนี้ ค่า pH ที่ใช้จะต้องปรับให้มีค่าน้อยกว่า 3 เพื่อ จะเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ของ Reducing agent นอกจากนี้ Tessier และคณะ (ค.ศ. 1997) ยังได้รายงานอีกว่า HOAc-$NH_2OH.HCl$ ไม่สามารถรีดิวซ์สารอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างตะกอนได้ แต่มีความเฉพาะเจาะจงกับพวกโลหะออกไซด์ ดังนั้นชนิดของสารสกัดนี้ควรมีความเฉพาะเจาะจงกับโลหะออกไซด์และละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับโลหะด้วยพันธะที่แข็งแรง ซึ่งในส่วนนี้ปกตินิยมใช้ Hydroxylamine hydrochloride ใน Acitic acid เป็นสารสกัด

ขั้นที่ 5 : ส่วนที่ถูกออกซิไดซ์ได้ (30 % H_2O_2Acidified with HNO_3, pH 2 / 1.0 M NH_2OAc, pH 2)

การสกัดโลหะในดินและตะกอนที่เชื่อมอยู่กับสารอินทรีย์หลายแบบ เช่น การดูดซับ การเกิดสารเชิงซ้อน และการเกิดคีเลตภายใต้การสกัดเป็นลำดับจะมีสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ เพื่อใช้ละลายให้ได้โลหะที่ละลายออกมาจากการสกัด นิยมนำ H_2O_2 ที่ถูกทำให้มีสภาพเป็นกรด มาใช้เป็นสารสกัดมากในส่วนนี้

ขั้นที่ 6 : ส่วนที่เหลือ (HF/HNO_3, 2:3 v/v)

หลังจากที่สกัดเอาบางส่วนออกไปแล้ว ของแข็งที่เหลือ ส่วนใหญ่จะเป็นแร่ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ในส่วนนี้จึงใช้สารสกัดที่มีความเป็นกรดแรง เพื่อละลายซิลิเกต และส่วนที่เหลืออื่น ๆ ที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยสารสกัดที่มีความแรงอ่อน โดยปกติจะนำไปผสมกันของกรดที่ร้อนออกมาใช้เพื่อย่อยส่วนที่เหลือให้เป็นสารละลายใส

2.7 ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ คือปุ๋ยที่ได้จากสารประกอบ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยได้มาจากสิ่งมีชีวิต หรือผลิตภัณฑ์ของสิ่งมีชีวิต ในส่วนของพืชนำมาใช้ได้จะต้องปรับสภาพก่อน เช่น ปล่อยให้เน่าเปื่อยผุพังเสียก่อน ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะได้มาจากพืชหรือสัตว์ ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม ปุ๋ยอินทรีย์สามารถแบ่งออกได้หลายประเภทดังนี้คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากผลพลอยได้จากตัวสัตว์ ได้แก่พวก กระดูก พังผืด เลือดแห้ง ก้างปลา ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ ได้แก่ ปัสสาวะ และอุจาระของสัตว์ มูลสัตว์ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากพืช ได้แก่พวก กากเมล็ดฝ้าย กากละหุ่ง ปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเช่นกากเบียร์ กากเหล้า กากผงชูรส ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อดีคือช่วยปรับปรุงดินให้ดีขึ้น โดยเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพเช่น ความร่วนซุย ความโปร่งและการอุ้มน้ำ เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในดิน แล้วจะให้ฮิวมัสซึ่งมีประจุลบ เมื่อใส่ลงไปในดินทำให้ดินสามารถดูดซับไอออนบวก เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) โพแทสเซียมไอออน(K^+) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และ แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ได้มากขึ้น ช่วยเพิ่มความจุบัฟเฟอร์ในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยาบ ให้มากขึ้น เนื่องจากสภาพบัฟเฟอร์ จะช่วยต้านความเป็นกรดและความเป็นด่าง ความเค็ม ยากำจัดศัตรูพืช พิษของโลหะหนัก ที่ใส่ลงไปในดินให้มีการเปลี่ยนแปลงในดินอย่างค่อยเป็นค่อยไป เพื่อไม่ให้พืชเป็นอันตราย ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อเสียคือมีปริมาณธาตุอาหารพืชต่ำเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี หายาก ราคาแพงกว่าปุ๋ยเคมี เมื่อใส่มากเกินไป เมื่อเกิดการชะล้างจะทำให้เกิดการสะสมของไนเตรตในน้ำใต้ดินทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค มูลสัตว์ไม่มีการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจะก่อให้เกิดโรค แมลงศัตรูและวัชพืชทำให้เกิดการแพร่ระบาดได้

2.7.1 ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์คือปุ๋ยที่ได้มาจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ มูลสัตว์ต่างๆตลอดจนวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม ปุ๋ยอินทรีย์สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1. ปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอก เป็นปุ๋ยที่ได้จากสิ่งขับถ่ายของสัตว์รวมทั้งคนด้วย ปุ๋ยพวกนี้ โดยปกติต้องหมักทิ้งไว้ก่อนหรือตากแห้ง เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อใส่ให้กับพืช เช่น เกิดความร้อน และสารพิษ นอกจากนั้นการหมักทิ้งไว้หรือตากแห้งยังเป็นการกำจัด กลิ่น สี และลักษณะที่ไม่พึงประสงค์อื่น ๆ ก่อนที่จะนำไปใช้ ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกนั้น โดยทั่วไปจะแตกต่างกันบ้าง ดังเช่น มูลวัว ควาย ช้าง ม้า ซึ่งเป็นสัตว์กินหญ้าเป็นอาหารหลัก มูลของสัตว์เหล่านี้จะมีลักษณะและองค์ประกอบคล้ายๆ ปุ๋ยหมักซึ่งมาจากพืชเช่นกัน สำหรับส่วนของปัสสาวะจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ค่อนข้างมากกว่า ซึ่งเราสังเกตได้จากการที่มีกลิ่นฉุน ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปแอมโมเนียม สัตว์พวกเปิด ไก่ หรือค้างคาว ซึ่งกินแมลง เนื้อสัตว์ หรือเมล็ดพืช ทำให้มูลมีองค์ประกอบแตกต่างไปจากสัตว์กินหญ้าทั่ว ๆ ไป กล่าวคือมูลสัตว์พวกนี้มักจะมีปริมาณธาตุอาหารอยู่มากกว่า อย่างไรก็ตามมูลของสัตว์พวกนี้มีส่วนที่มาจากเยื่อใยของพืชน้อยกว่า ทำให้มีความสามารถในการปรับสภาพดินน้อยกว่า ปุ๋ยคอกยังทำให้ดินมีการระบายน้ำและอากาศได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มความคงทนและการชะล้างพังทลายของดิน อีกทั้งช่วยให้จุลินทรีย์ดำเนินกิจกรรมต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ ปุ๋ยคอก ส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมค่อนข้างต่ำยกเว้นมูลไก่และมูลค้างคาวในส่วนของธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมไม่ว่าจะเป็น แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอนโมลิบดินัม และคลอรีน จะพบอยู่ในปุ๋ยคอก นอกจากนี้ปุ๋ยคอกยังให้ฮอร์โมนและสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับพืช

2. ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำเอาเศษจากพืช เช่นฟางข้าว ต้นข้าวโพด ต้นถั่วต่างๆ หญ้าแห้ง หรือของเสียเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นำมาผสมกับมูลสัตว์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยเคมีแล้วหมัก จนกระทั่งเน่าเปื่อย ผุพัง มีสีดำคล้ำ ปุ๋ยหมักโดยทั่วไปมีธาตุอาหารในปริมาณน้อย แต่มีครบทุกธาตุ อย่างไรก็ตามวิธีการทำปุ๋ยหมัก และชนิดของเศษวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ก็ทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารมากน้อยต่างกันได้บ้าง ประโยชน์ของปุ๋ยหมักมีดังต่อไปนี้คือ ทำให้ดินเหนียวและดินทรายเป็นดินร่วนขึ้น ทำให้เหมาะในการเพาะปลูกเพิ่มอินทรียวัตถุในดินทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งช่วยให้ดินมีการถ่ายเทอากาศได้ดี มีความชุ่มชื้นและไม่เป็นอันตรายต่อดินแม้จะใช้ในปริมาณมาก ๆ ติดต่อกันนาน ๆ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับปุ๋ยเคมีและสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ ช่วยกระตุ้นให้ธาตุอาหารพืชบางอย่างในดินที่ละลายน้ำยากให้ละลายน้ำง่ายเป็นอาหารแก่พืชได้ดีขึ้น

ข้อดีของปุ๋ยอินทรีย์

1.ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น ทำให้ดินมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดี เช่น มีความโปร่งร่วนซุย มีความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหารได้ดี

2. สามารถอยู่ในดินได้นาน และค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ

3.ส่งเสริมให้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการบำรุงดิน สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4. เมื่อใช้ร่วมกับสารเคมีจะส่งเสริมให้ปุ๋ยเคมีเป็นประโยชน์แก่พืชมากขึ้น

ข้อด้อยของปุ๋ยอินทรีย์

1.มีปริมาณธาตุอาหารพืชต่อน้ำหนักปุ๋ยค่อนข้างต่ำ ต้องใช้ปริมาณมาก

2.ใช้เวลานานในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ให้แก่พืช

3. ราคาต่อน้ำหนักของธาตุอาหารพืชมีราคาสูง

4. มีจำนวนจำกัด ไม่สามารถหาซื้อได้ในปริมาณที่มาก ๆ ได้

2.7.2 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ได้จากวัสดุอินทรีย์ที่อยู่ในสภาพของเสียที่ผ่านการหมัก มักมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ และอาจเกิดสารพิษขึ้นจึงทำให้นำมาใช้น้อย ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีของปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่มีกรรมวิธีในการฆ่าเชื้อโดยวิธีอบไอน้ำ เพื่อลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นตัวก่อโรค จึงไม่มีกลิ่นและสารพิษ ฉะนั้นเมื่อผ่านขั้นตอนการอบไอน้ำแล้วหรือตากแห้งก็จะช่วยเก็บได้นาน มีรูปแบบที่น่าใช้ สะดวกในการขนย้ายถ่ายเทบรรจุถุงและการนำไปใช้ จากการทดลองของกลุ่มงานวิจัยปุ๋ยกองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร พบว่าวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานผงชูรส โรงงานน้ำตาล และโรงงานสุรา ซึ่งมีปริมาณธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูง สามารถนำมาอัดเป็นเม็ดร่วมกับปุ๋ยเคมีได้ ปัจจุบันปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทรีย์แนวโน้มเป็นที่นิยมของเกษตรกรทั่วไปอยู่ในขณะนี้ เนื่องจากกระแสความห่วงใยในสิ่งแวดล้อมโลกที่รณรงค์ให้ลดการใช้สารเคมีในระบบเกษตรธรรมชาติ เกษตรยั่งยืนซึ่งนับว่าประจวบเหมาะกับภาวะเศรษฐกิจตกต่ำที่ประเทศเรากำลังประสบอยู่ เนื่องจากดินของประเทศไทยส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์และปริมาณอินทรียวัตถุต่ำเพราะอยู่ในเขตร้อนชื้น ซึ่งมีการชะล้างพังทลายของหน้าดินสูง การปลูกพืชในระยะยาวต่อเนื่องขาดการบำรุงรักษาที่เหมาะสมทำให้ดินเสื่อมลงตามลำดับ สมบัติทางด้านเคมี กายภาพและชีวภาพของดินเสียไป ดังนั้นการพิจารณาในด้านการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ คือ การใช้ปุ๋ยแบบผสมผสาน หรือใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เพื่อให้เกิดความยั่งยืนในระบบการเกษตร ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดนับเป็นเทคโนโลยีที่ถูกต้องและเหมาะสมคือ มีการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยการสร้างคุณค่าการตลาดของปุ๋ยให้สูงขึ้น โดยวิธีผลิตปุ๋ยอัดเม็ด ซึ่งมีการผสมผสานระหว่างปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีทำให้การใช้ปุ๋ยกับพืชมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและมีขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากจนเกินไป โดยคุณลักษณะและคุณสมบัติของปุ๋ยนี้เป็นการเอื้อประโยชน์ให้มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ

คุณลักษณะเด่นของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

1. ปลอดภัยทั้งต่อตัวผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม
2. มีธาตุอาหารมากกว่ามูลสด 5 เท่าตัวและการอัดเม็ดสามารถลดปริมาณการใช้มูลไก่ลงได้ 5 เท่าตัว
3. การอัดเม็ดเมื่อผสมกับแกลบและขี้เลื่อยใน อัตรา 3 ต่อ 1-3 ต่อ 2 จะช่วยลดกลิ่นและการสูญเสียไนโตรเจนในปุ๋ย ช่วยรักษาคุณค่าปุ๋ยและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย
4. การอัดเม็ดมูลสัตว์สามารถผสมปุ๋ยเคมีจะช่วยลดภาระการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมากและชะลอการปลดปล่อยปุ๋ยเคมีมิให้เกิดการสูญเสียจึงช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ครึ่งหนึ่ง
5. สามารถเก็บปุ๋ยอินทรีย์ได้นานขึ้น เพราะเมื่อตากแห้งเหลือความชื้นประมาณ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ไม่มีเชื้อราเกิดขึ้นที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นเหม็น
6. เกษตรกรสามารถหาซื้อได้ง่าย เพราะมีจำหน่ายทั่วไป เป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น
7. การนำเอาวัสดุเหลือใช้มาอัดเม็ดแล้วนำมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยช่วยในการกำจัดปัญหามลภาวะและยังเป็นการใช้ทรัพยากรที่เหมาะสมและคุ้มค่า
8. ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตเป็นเม็ดทำให้คุณค่าการตลาดเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีด้วยกันอยู่หลายชนิด ในการทดลองนี้เลือกมาเพียง 2 ชนิดคือ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่

1. ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว

มูลค้างคาว ได้แก่ สิ่งขับถ่ายและซากแห้งของค้างคาวที่อาศัยอยู่ในถ้ำเขาหินปูน มีการสะสมทับถมกันเป็นชั้นหนากลบพื้นถ้ำ ถ้าปล่อยทิ้งไว้นานวันชั้นล่างจะถูกกดทับเป็นแผ่นหนา แล้วรวมตัวกับสารละลายหินปูนและแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น เหล็ก ฟลูออไรด์ หรืออะลูมิเนียม กลายเป็นหินฟอสเฟตอีกรูปหนึ่ง ซึ่งมูลค้างคาวเป็นมูลสัตว์ที่มีคุณค่าประโยชน์แก่พืช ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชสูงว่าปุ๋ยชนิดอื่น ในบรรดาปุ๋ยอินทรีย์โดยทั่วไปและสูงทัดเทียมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ คุณสมบัติช่วยปรับปรุงดินให้ดีขึ้นเมื่อใช้ติดต่อกัน เช่น ทำให้ดินร่วนไม่เกาะกันแน่นเมื่อแข็งตัวทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในระดับพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช มูลค้างคาวจะทำให้จุลินทรีย์ในดินทำงานได้ดีขึ้นและเกิดการสลายตัวของอินทรีย์สาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับพืชให้เป็นอาหารพืชได้ง่ายขึ้น การใช้ติดต่อกันนาน ๆ จะทำให้มีผลตกค้างของปุ๋ยซึ่งจะเหลือสะสมอยู่ในดินและค่อย ๆ สลายเป็นอาหารของพืชในภายหลัง มูลค้างคาวให้ธาตุอาหารฟอสฟอรัส เนื่องจากเป็นสัตว์กินแมลงเหมาะสำหรับใส่ไม้ผลที่ให้กลิ่นหอม เช่น ทุเรียน กล้วยหอม ลำไยและมะม่วง เป็นต้น อัตราการใช้ปุ๋ยมูลค้างคาวใช้ปริมาณที่น้อยกว่าปุ๋ยคอกหรือใช้ผสมเศษซากพืชที่ผุพังเน่าเปื่อยแล้ว เพื่อลดความเข้มข้นให้น้อยลงก่อนนำไปใช้

2. ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่

ในการผลิตปุ๋ยคอกอัดเม็ดจะใช้มูลไก่มาเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งมูลไก่ที่จะนำมาใช้วัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยขั้นตอนแรกจะต้องผ่านความร้อนเพื่ออบมูลไก่ให้แห้ง ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิระดับนี้สามารถทำลายเชื้อโรค สปอร์เมล็ดพืชในมูลไก่ได้จะไม่มีปัญหาต่อการนำไปใช้ในไร่นา

กระบวนการผลิตขั้นตอนแรกมูลไก่จะถูกนำเข้ากระบวนการอบแห้งโดยผ่านความร้อนอุณหภูมิสูง เมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วขั้นต่อไปจะถูกนำเข้ากระบวนการป่นละเอียดให้มูลไก่เป็นผงและจะนำเข้ากระบวนการปรุงแต่งสูตรปุ๋ยให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ จากนั้นนำเข้ากระบวนการอัดเม็ด เมื่อผ่านการอัดเม็ดแล้วปุ๋ยอัดเม็ดจะถูกนำเข้าผ่านความเย็นอีกขั้นตอนหนึ่ง สุดท้ายก็เข้าสู่ขั้นตอนการบรรจุถุงเพื่อเป็นปุ๋ยสูตรสำเร็จเตรียมนำไปจำหน่ายให้เกษตรกรต่อไป

ประโยชน์ของมูลไก่ซึ่งนับว่าเป็นมูลสัตว์ที่มีความเหมาะสมกับพืชหลาย ๆ ชนิด เพราะในมูลไก่ประกอบไปด้วยธาตุอาหารต่าง ๆ ที่สำคัญโดยเฉพาะธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซึ่งมีอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง หลังจากที่มีการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนมาปรับมาตรฐานในมูลไก่ เพื่อให้มีอัตราส่วนของ N:P:K เท่ากับ 40:2:2 ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารเพียงพอที่สามารถใช้กับการเพาะปลูกพืชได้เป็นอย่างดีและทดแทนปุ๋ยวิทยาศาสตร์ได้

สำหรับคุณค่าทางอาหารของปุ๋ยคอกมูลสัตว์นั้นจะแตกต่างกันไปตามแหล่งวิธีการเลี้ยงและเก็บรักษา ถ้ามองในแล่ของธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมแล้วจะมีค่อนข้างน้อย ยกเว้น มูลค้างคาว มูลไก่ ซึ่งค่อนข้างจะมีธาตุอาหารค่อนข้างสูง แต่ข้อดีของมูลสัตว์คือจะให้ธาตุอาหารรองคือ แคลเซียม แมกนีเซียมและกำมะถัน แสดงดังตาราง

ตาราง 2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ

ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ								
ที่	ชนิดมูลสัตว์	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ธาตุอาหารหลัก (เปอร์เซ็นต์)			ธาตุอาหารรอง (เปอร์เซ็นต์)		
			ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	แคลเซียม	แมกนีเซียม	กำมะถัน
1	มูลค้างคาว	7.5	3.32	13.95	0.29	18.01	0.48	0.28
2	มูลไก่	8	2.84	7.63	0.78	2.6	0.34	-

ที่มา :

1. ลำดับที่ 1 วิเคราะห์โดยกองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร มีนาคม 2542
2. ลำดับที่ 2 วิเคราะห์โดย ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กันยายน 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bradley S. Crannell และคณะ (2002) ศึกษาการปรับเสถียรโลหะหนักด้วย PO^{3-}_4 ที่ละลายได้กับขี้เถ้า(bottom ash) จากเตาเผาขยะของเสียที่เป็นของแข็ง ในขี้เถ้าจะมีพวกโลหะหนักที่สามารถชะได้ เช่น ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม โดยการเติม 0.38 โมลของฟอสเฟตที่ละลายได้ต่อกิโลกรัมของส่วนที่เหลือ ซึ่งเป็นปริมาณที่มีประสิทธิภาพอย่างมาก จากการทดลองสัดส่วนของโลหะหนักต่าง ๆ ในการชะที่หาได้ได้ผลดังนี้ แคลเซียม 52 %, แคดเมียม 14 %, ทองแดง 98 %, ตะกั่ว 99 % และสังกะสี 36 % พีเอชที่เหมาะคือ 4, 6 และ 8 ปริมาณและพื้นที่ที่ได้จาก spectroscopies แสดงการตกตะกอนในรูป Crystalline และ Amorphous นั่นก็แสดงว่า ปฏิกิริยาของโลหะฟอสเฟตในส่วนนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและเห็นได้ชัดเจนคือ แคลเซียมฟอสเฟต, tertiary metal phosphate และในรูปของแร่อะพาไทต์ tertiary calcium phosphate, calcium hydroxyapatite, lead chloropyromophite และ lead hydroxyapatite

Jimmy และคณะ (1977) ศึกษาถึงเรื่องความสามารถในการดูดซับและการตกตะกอนแคดเมียมในดิน โดยพบว่าเมื่อสารละลายแคดเมียมลงในดิน แคดเมียมไอออนจะเคลื่อนที่ออกจากสารละลายและจะถูกดูดซับบนผิวดิน เกิดเป็นสารประกอบแคดเมียม และพบว่าที่ระดับปริมาณแคดเมียมไอออนสูงจะตกตะกอนอย่างรวดเร็วในรูปผลึก $Cd_3(PO_4)_2$ ได้ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าคงที่ G_f = - 587.1 ซึ่งเป็นค่าที่เกิดเป็นสารประกอบได้ดีมาก

Ricardo และคณะ (2003) ได้ทำการทดสอบในภาคสนามถึงประสิทธิภาพของฟอสเฟตในการยับยั้งการเคลื่อนที่โลหะตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน มีชุดการทดลองทั้งหมด 3 ชุดการทดลองดังนี้คือ 1) เติม H_3PO_4 100 % 2) เติม 50 % H_3PO_4 + 50 % $Ca(H_2PO_4)_2$ 3) เติม 50 % H_3PO_4 + Phosphate rock 5 % และกำหนดให้ชุดควบคุมไม่มีการเติมฟอสเฟต การทดสอบการชะของโลหะโดยกระบวนการกลั่นแบบลำดับส่วน (Sequential Extraction) ชี้ให้เห็นว่าฟอสเฟตทุกชนิดมีประสิทธิภาพดีในการเปลี่ยนรูปองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ของ Pb ทั้งหมดในดินไปเป็นแร่คลอโรไพโรมอร์ไฟต์ที่มีความเสถียรในดิน และเมื่อการทดสอบการชะของโลหะโดยเทคนิค Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) เพื่อทดสอบหาปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ภายหลังการเติมฟอสเฟต พบว่าปริมาณตะกั่วในสารละลายที่สกัดได้มีปริมาณลดลง โดยมีปริมาณต่ำกว่าระดับ 5 mg/l ที่ทาง EPA กำหนดไว้ จากผลการทดลองพบว่า การประยุกต์ใช้ของ H_3PO_4 และ $Ca(H_2PO_4)_2$ หรือ Phosphate rock จะให้ประสิทธิภาพดีในการยับยั้งการเคลื่อนที่ของ Pb โดยจะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง pH ในดินน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิชชาภา และคณะ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินในห้วยแม่ตาว โดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) และปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) พบว่าปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรมากที่สุด 66.83 ± 1.06 % ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรโลหะแคดเมียมเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟตที่เติมในดิน โดยอัตราส่วนโดยโมลของฟอสฟอรัสต่อโมลแคดเมียมให้ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรดีที่สุดคือ 1.0 เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการปรับเสถียรทำให้ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมด้วยปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟตมีมากขึ้น โดยประสิทธิภาพในการปรับเสถียรสูงสุด เมื่อใช้ระยะเวลาในการปรับเสถียร 3 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง รุ่น MSBO20 CX1.5 บริษัท SUNYO
2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น GBC Avanta 1.33
3. เครื่องพีเอชมิเตอร์ รุ่น 251 บริษัท Denver Instrument
4. เครื่องอ่างน้ำปรับอุณหภูมิ รุ่น Model WB 7/14/22/29/45
5. เครื่องเขย่า รุ่น Hetofrig CB60 VS บริษัท Heto
6. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument
7. เครื่องกรองแบบลดความดัน รุ่น B-169 บริษัท B'U'CHI
8. ตู้อบอุปกรณ์และสารเคมี รุ่น ISOTEMP บริษัท Fisher Scientific
9. ชุดย่อยสลาย รุ่น 1200 Mega บริษัท Milestone microwave Laboratory Systems
10. กระดาษกรอง Whatman GF/C เบอร์ 1
11. กระดาษกรอง Whatman ขนาด 0.45 ไมครอน
12. ไฮโดรมิเตอร์มาตรฐาน ASTM NO. 1.152H
13. แท่งแก้วคนแบบ plunger
14. ตะแกรงร่อนขนาด 0.2 มิลลิเมตร
15. เดซิเคเตอร์
16. เทอร์โมมิเตอร์
17. กระบอกน้ำกลั่น
18. พลั่ว/เสียม
19. จุกยาง
20. เครื่องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

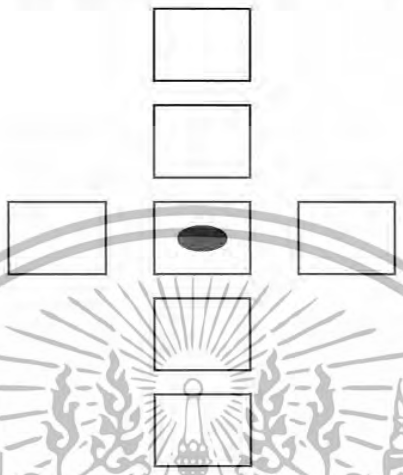
3.1.2 สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. น้ำปราศจากไอออน
3. สารละลายไตรเอทานอลามีน triethanolamine 2 N (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
4. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น HCl (AR grade บริษัท Fisher Scientific)
5. กรดไนตริกเข้มข้น HNO_3 (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
6. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น H_2SO_4 (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
7. กรดฟอสฟอริกเข้มข้น H_3PO_4 (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
8. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ H_2O_2 (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
9. เอมิสแอลกอฮอล์ (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
10. โพแทสเซียมไดโครเมต $K_2Cr_2O_7$ (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
11. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต FAS (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
12. ไอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ Iso proply Alcohol (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
13. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ 0.5 N $BaCl_2$ (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
14. สารละลายโบรโมครีซอลกรีนกับเมธิลเรด (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
15. สารละลาย ออร์โทฟีแนนโทรลีน (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
16. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท NH_4OAc (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
17. สารละลายแอมโมเนียมออกซาเลท $(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$ (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
18. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ NH_4Cl (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
19. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ NH_4OH (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
20. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท $AgNO_3$ (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
21. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ NaCl (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
22. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
23. ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวแท้ 100 %
24. ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ตรา เค.ยู. การ์เด้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเก็บตัวอย่างดิน

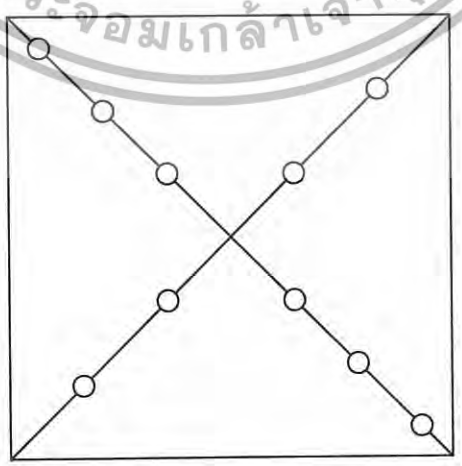
ดินตัวอย่างที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้ ทำการเก็บรวบรวมจากแปลงนาแห่งหนึ่งในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยมีพื้นที่การเก็บตัวอย่างด้วยแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 พื้นที่การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างดินจากแต่ละจุด โดยวิธี Equal interval on diagonal lines ซึ่งมีวิธีเก็บตัวอย่าง ดังนี้

1. แบ่งพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.5 x 1.5 เมตร ทั้งหมด 7 แปลง
2. ทำการลากเส้นทแยงมุมทั้ง 2 เส้น แบ่งกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง โดยแบ่งระยะห่างระหว่างจุด เท่ากับ 10 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แล้วขุดเก็บตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธี Equal interval on diagonal lines

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการเก็บตัวอย่างดินแต่ละจุดโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างดิน (Auger) ทั่วทั้งพื้นที่ตามที่กำหนด และทำการเก็บดินด้วย Core เพื่อหาความหนาแน่นรวมของดิน

4. แบ่งดินเป็น 4 ส่วน และนำมาหนึ่งส่วนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ส่วนที่เหลือเก็บไว้

5. นำดินหนึ่งส่วนนั้น มาตาก และทำการบดดิน คัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก

6. นำดินที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร ทำการคลุกเคล้าตัวอย่างดินให้เข้ากันในแต่ละแปลง

7. นำดินในทั้ง 7 แปลง จำนวนเท่าๆกัน มาคลุกเคล้าตัวอย่างดินเข้าด้วยกันเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

นำดินตัวอย่างที่เก็บรวบรวมจากข้อ 3.2 มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 รายละเอียดของวิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
1. ค่าพีเอช	pH meter 1:1 (soil : water)
2. ความเป็นกรดของดิน	วิธีแบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน / ไทเทรตด้วย ไฮโดรคลอริก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)
3. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	ทำให้อิ่มตัวด้วยประจุบวก / แอมโมเนียมอะซิเตต (คู่มือปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2, 2547)
4. ความชื้น (%)	อบแห้งที่ อุณหภูมิ 105 ^{0}C
5. ลักษณะเนื้อดิน	ไฮโดรมิเตอร์
6. ปริมาณสารอินทรีย์ (%)	Wet oxidation (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)
7. ความหนาแน่นรวมของดิน	Core method / อบแห้งที่ อุณหภูมิ 105 ^{0}C
8. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	การสกัดด้วย Bray II (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)
9. ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด	Microwave digestion / AAS
10. ปริมาณแคดเมียมชะละลาย	Waste extraction test / AAS (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การศึกษาสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

นำปุ๋ยตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ ตามมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์ / เครื่องมือ
1. ปริมาณสารอินทรีย์ในปุ๋ย	Wet oxidation
2. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	การสกัดด้วย Bray II

3.5 การศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

1. นำตัวอย่างดินใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว โดยให้มีอัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1:1
2. ตั้งทิ้งไว้นาน 2 และ 4 สัปดาห์ นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ปริมาณแคดเมียมชะละลาย และรูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินด้วยวิธีการสกัดลำดับขั้น (Sequential Extraction) ทำ 3 ซ้ำ
3. ทำการทดลองซ้ำตามวิธีข้างต้นแต่เปลี่ยนชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่
4. ทำชุดควบคุมโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ไม่เติมปุ๋ย

3.6 การศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

1. นำดินตัวอย่างใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และมูลไก่ โดยกำหนดให้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1:2
2. ตั้งทิ้งไว้นาน 3 สัปดาห์ นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด ปริมาณแคดเมียมชะละลาย และรูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินด้วยวิธีการสกัดลำดับขั้น (Sequential Extraction) ทำ 3 ซ้ำ
3. ทำการทดลองซ้ำตามวิธีข้างต้นแต่เปลี่ยนสัดส่วนของโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเป็น 1:1 และ 1.5:1 ตามลำดับ
4. ทำชุดควบคุมโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ไม่เติมปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

1. นำดินตัวอย่างใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และมูลไก่ โดยมีอัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1:1 และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

2. นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด ปริมาณแคดเมียมชะละลาย และรูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินด้วยวิธีการสกัดลำดับขั้น (Sequential Extraction) ทำ 3 ซ้ำ

3. ทำการทดลองซ้ำตามวิธีข้างต้น แต่เปลี่ยนเปลี่ยนระยะเวลาสัมผัสเป็น 2 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ

4. ทำชุดควบคุม โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ไม่เติมปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินภายหลังการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential Extraction)

นำดินอย่างภายหลังการปรับเสถียรมาทำการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นเพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะรูปแบบต่างๆ ในดิน รูปแบบของแคดเมียมในดินภายหลังการปรับเสถียรทำการศึกษาด้วยวิธี Sequential Extraction อ้างอิงตามวิธีการของ (ปภานีย์, 2545) ซึ่งวิธีการทดลองสามารถสรุปได้ดังแผนภาพที่ 3.3

รูปที่ 3.3 แผนภาพวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิด คือ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ผลของชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร นอกจากนี้ยังทำการศึกษารูปต่าง ๆ ของแคดเมียมที่พบในดินทั้งก่อนและหลังปรับเสถียร โดยใช้วิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction) ผลการทดลองที่ได้เป็นดังนี้ คือ

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ในการศึกษาการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ทำการศึกษาโดยใช้ดินตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินในบริเวณห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

คุณสมบัติของดิน		ค่าที่วัดได้
ค่าพีเอช (อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1)		6.72±0.06
ค่าความเป็นกรดของดิน (meq/g ดินแห้ง)		0.06±0.03
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (meq/100 g)		54.20±1.04
ความชื้น (%)		3.00±0.03
การกระจายตัวของอนุภาค	% sand	48.01
	% silt	21.82
	% clay	30.17
ลักษณะเนื้อดิน		ดินร่วนเหนียวปนทราย
ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (%)		2.7±0.05
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg ดินแห้ง)		3.88
ความหนาแน่นรวม (kg/cm^3)		1.85±0.17
ความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมด (mg/ kg ดินแห้ง)		9.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน พบว่าดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีค่าพีเอช 6.72±0.06 แสดงว่าดินเป็นกลาง โดยมีค่าความเป็นกรดของดินเท่ากับ 0.06±0.03 meq/g.ดินแห้ง ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 54.20 ±1.04 meq/100 g ค่าความชื้น 3.00±0.03 % ลักษณะดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเท่ากับ 2.71±0.05 % ซึ่งจากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 2.5-3.5 % ถือว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ค่อนข้างสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2535) ทำให้มีปริมาณการดูดซับสารอินทรีย์ได้ดี จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินพบว่ามีค่าเท่ากับ 3.88 mg/kg และมีความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 9.57 mg/ kg ดินแห้ง ซึ่งเป็นปริมาณที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมซึ่งกำหนดให้ ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินต้องมีค่าไม่เกิน 37 mg/kg (กรมควบคุมมลพิษ, 2535)

จากความเข้มข้นแคดเมียมในดินตัวอย่างที่เก็บจากห้วยแม่ตาว มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คณะผู้จัดทำจึงได้จำลองสมบัติของดิน โดยการเพิ่มปริมาณให้ดินมีความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 800 mg/kg ซึ่งสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ผ่านการเติมแคดเมียมมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน (หลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน)

ครั้งที่	คุณสมบัติของดิน	ค่าที่วัดได้
1	ความชื้น (%)	1.73±0.11
	ความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมด (mg/kg ดินแห้ง)	791.22±53.14
	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (mg / kg ดินแห้ง)	694.59±11.88
2	ความชื้น (%)	1.09±0.02
	ความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมด (mg / kg ดินแห้ง)	705.00±47.86
	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (mg / kg ดินแห้ง)	674.08±24.63

หมายเหตุ

<u>การเพิ่มปริมาณแคดเมียม ครั้งที่ 1</u> ใช้สำหรับศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วย ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

<u>การเพิ่มปริมาณแคดเมียม ครั้งที่ 2</u> ใช้สำหรับหาปริมาณและระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร

การเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมครั้งที่ 1 มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเป็น791.22 ±53.14 mg/kg ดินแห้ง ปริมาณแคดเมียมชะละลายเป็น 694.59±11.88 mg/kg ดินแห้ง ค่าความชื้นอยู่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.73±0.11 % ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมในครั้งที่ 2 มีความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมดเป็น 705.00 ±47.86 mg/kg ดินแห้ง ปริมาณแคดเมียมชะละลายเป็น 674.08±24.63 mg/kg ดินแห้ง ค่าความชื้นอยู่ที่ 1.09±0.02 %

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

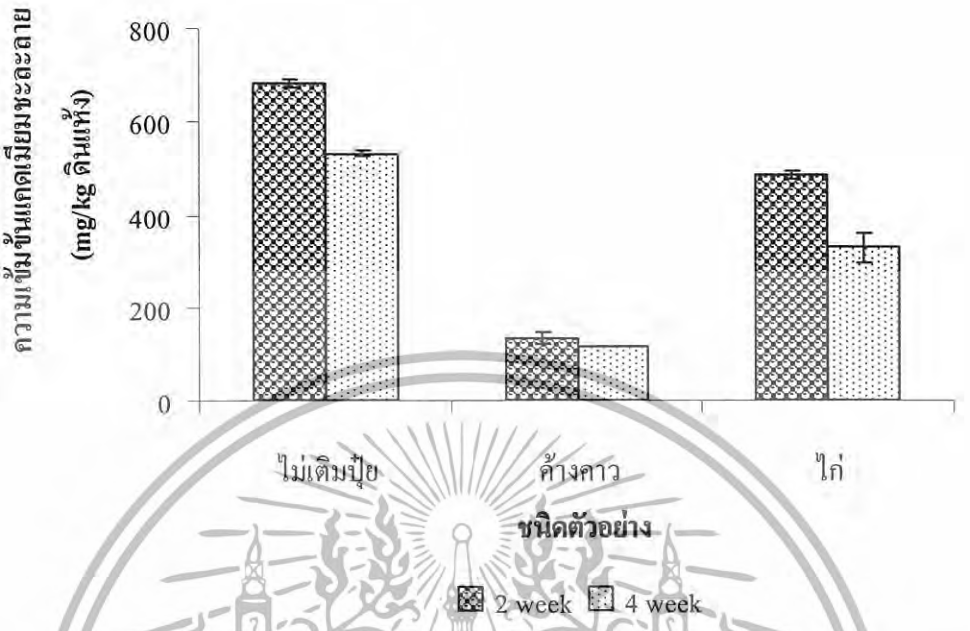
ชนิดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	ปริมาณสารอินทรีย์ (%)	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg P/kg)
ปุ๋ยมูลค้างคาว	0.88±0.01	19.78
ปุ๋ยมูลไก่	10.26±0.55	142.32±5.99

จากตารางที่4.3 พบว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่มีปริมาณสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.88 ±0.01 และ 10.26±0.55 % ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่า เท่ากับ 19.78 และ 142.32 ±5.99 mg/kg ดินแห้ง ตามลำดับ

4.2 ศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ซึ่งใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม เท่ากับ 1:1 และใช้ระยะเวลาสัมผัสในการปรับเสถียร 2 และ 4 สัปดาห์ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 และ4 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ย อินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย แถบความผิดพลาด (error) แสดง ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยและดินตัวอย่างที่ไม่ได้เติมปุ๋ย พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายของดินที่เติมปุ๋ยจะมีค่าน้อยกว่าดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย โดยดินที่ไม่มีการเติมปุ๋ยจะมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ เท่ากับ 682.81±10.21mg/kg ดินแห้ง และที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์ จะมีค่าเท่ากับ 533.08±7.46 mg/kg ดินแห้ง ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายเท่ากับ 134.98±13.97 mg/kg ดินแห้ง และที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์ จะมีค่าเท่ากับ 116.52 ±0.79 mg/kg ดินแห้ง ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ จะมีค่าเท่ากับ 488.80±7.71 mg/kg ดินแห้ง ส่วนที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์ จะมีค่าเท่ากับ 331.31±32.91 mg/kg ดินแห้ง

เมื่อเปรียบเทียบผลของความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ทั้งระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่มีค่ามากกว่าของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีความสามารถในการลดความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายออกมาได้ดีกว่า ซึ่งความสามารถในการลดความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายที่ดีกว่าของปุ๋ยอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดเม็ดมูลค้างคาว อาจเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในปุ๋ยทั้งสองชนิด จากตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ พบว่าปริมาณธาตุแคลเซียม ในปุ๋ยอินทรีย์มูลค้างคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ มีค่าเท่ากับ 18.01% และ 2.6% ตามลำดับ เนื่องจากแคลเซียมที่มีอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดซึ่งอยู่ในรูป $CaHPO_4$ เมื่อเรานำปุ๋ยมาปรับเสถียร ทำให้แคลเซียมที่อยู่ในปุ๋ยถูกแทนที่ด้วยแคดเมียม ซึ่งน่าจะทำให้เกิดเป็นสารประกอบ $CdHPO_4$ ซึ่งทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายมีค่าน้อยลง ประสิทธิภาพการปรับเสถียรของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวจึงมากกว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมดังรูปที่ 4.2

การศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยจะได้ค่าดังแสดงในรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิด เทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย แถบความผิดพลาด(error) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยและดินตัวอย่างที่ไม่ได้เติมปุ๋ย พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่เติมปุ๋ยจะมีค่ามากกว่า

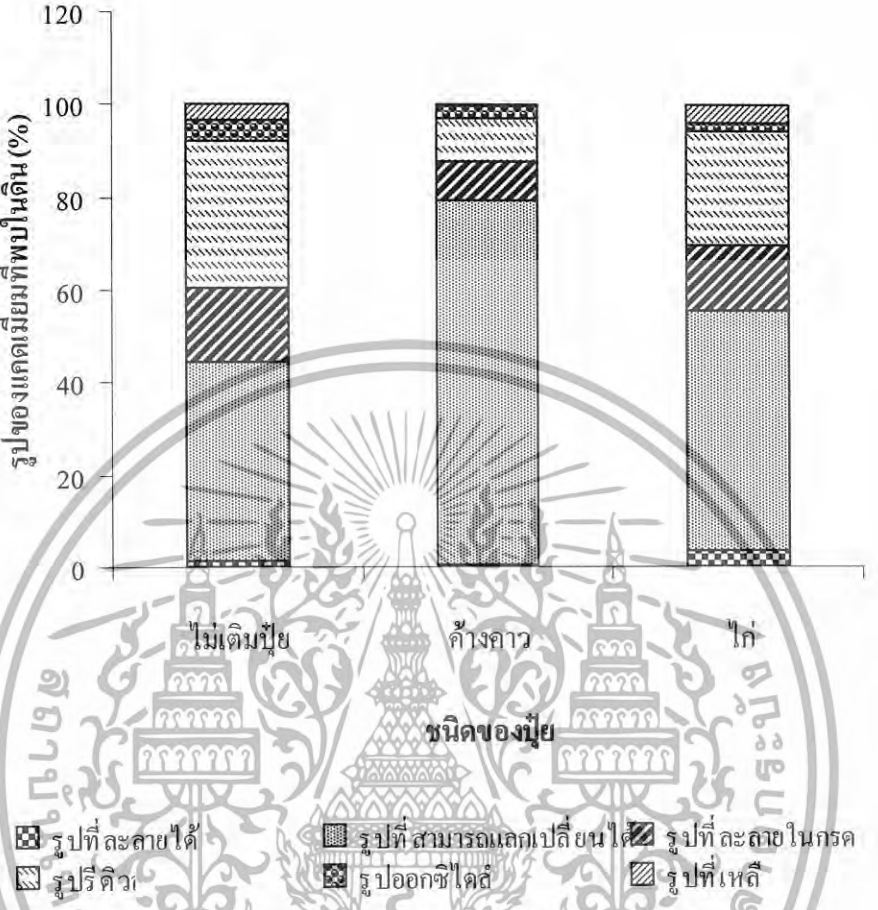
เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย ซึ่งดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย มีค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียม ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ เท่ากับ 1.70±1.47 % ส่วนที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ 23.25±1.07% ซึ่งค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียม ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์มีค่ามากกว่าที่ 2 สัปดาห์ โดยอธิบายได้จากการดูดซับทางธรรมชาติ เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสมากขึ้น การดูดซับของดินกับแคดเมียมก็จะมีเพิ่มขึ้นนั้นเอง ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว มีค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ เท่ากับ 80.24±2.05% ส่วนที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ เท่ากับ 78.14±0.15 % ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่มีค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ เท่ากับ 28.41±1.13% ส่วนที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ เท่ากับ 37.85±6.17 %

เมื่อเปรียบเทียบผลของความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ พบว่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมในดินของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว มีค่ามากกว่าของมูลไก่ ซึ่งอธิบายเช่นเดียวกับเรื่อง ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 และ4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณของแคลเซียมนั่นเอง

จากการศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ยและดินที่เติมปุ๋ย โดยการสกัดแบบลำดับขั้น ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

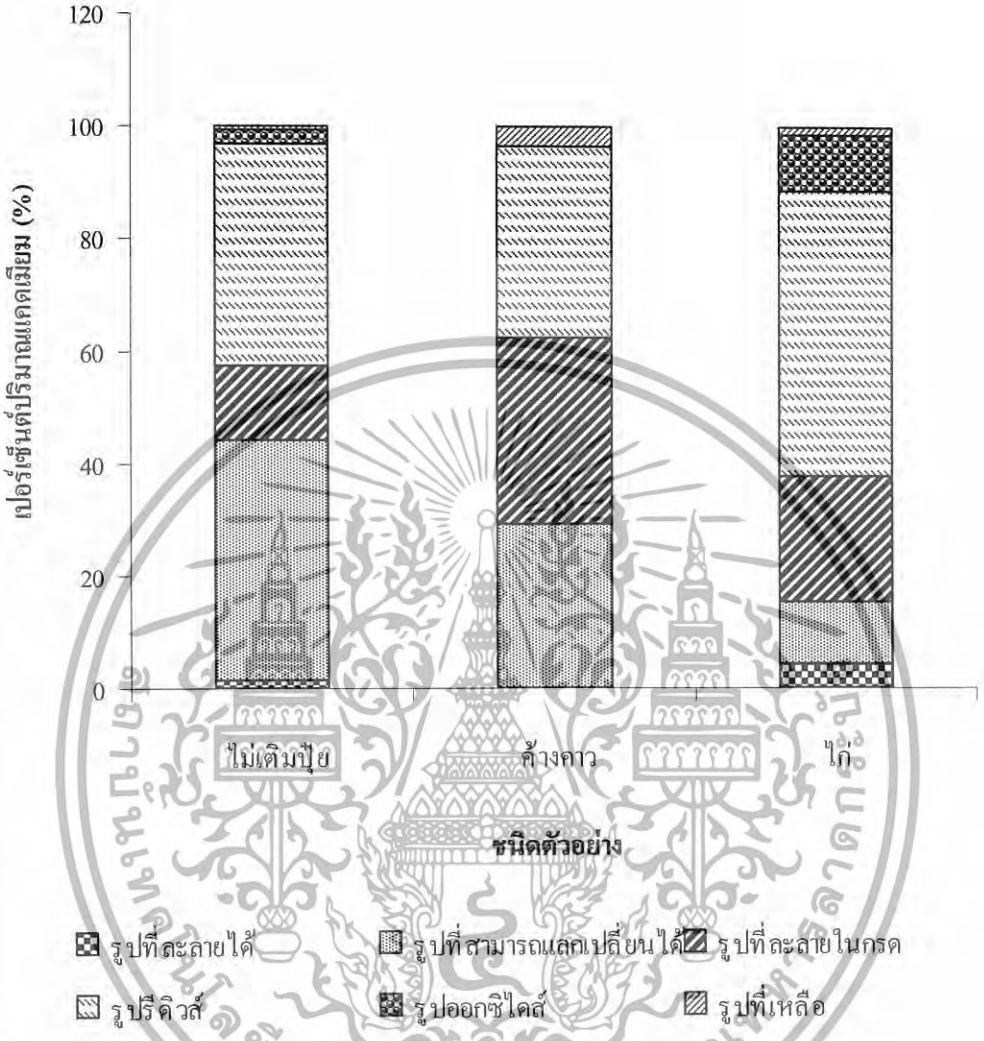


รูปที่ 4.3 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.3 พบว่ารูปของแคดเมียมจากการสกัดแบบลำดับขั้นของการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ย มีสัดส่วนแคดเมียมอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และรูปที่รีดิวซ์ได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.5% และ32.13% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบรูปของแคดเมียมหลังจากการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและมูลไก่ จะพบว่าแคดเมียมในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ มีแนวโน้มมากขึ้น อธิบายได้จากการที่แคดเมียมได้ถูกแลกเปลี่ยนที่บริเวณสารอินทรีย์ในปุ๋ยที่เติมลงมานั้นเอง ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์แคดเมียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย

จากการศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ยและดินที่เติมปุ๋ย โดยการสกัดแบบลำดับขั้น ที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.4 พบว่ารูปของแคดเมียมจากการสกัดแบบลำดับขั้นของการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ย มีสัดส่วนแคดเมียมอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และรูปที่รีดิวซ์ได้เป็นส่วนใหญ่ โดยมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณแคดเมียมในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 42.68% และในรูปที่รีดิวซ์ได้ เท่ากับ 39.35% ส่วนดินที่ปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว พบว่ามีปริมาณแคดเมียมอยู่ในรูปรีดิวซ์มากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 33.73% รองมาคือ รูปที่ละลายในกรด มีค่าเท่ากับ 33.36 % ลำดับต่อมาอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 29.19% ในกรณีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ พบว่ารูปแบบต่าง ๆ ของแคดเมียมที่พบในดินภายหลังการปรับเสถียรส่วนใหญ่อยู่ในรูปรีดิวซ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50.61% รองลงมาคืออยู่ในรูปที่ละลายในกรด มีค่าเท่ากับ 22.65% ถัดลงมาอยู่ในรูปสามารถแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งมาค่าเท่ากับ 11.19%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบของแคดเมียมหลังจากการปรับเสถียรกับดินที่ไม่เติมปุ๋ย พบว่ารูปแบบแคดเมียมของดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีแนวโน้มอยู่ในรูปที่ละลายได้, รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และรูปออกซิไดส์ซึ่งจะมีค่าลดลง อีกทั้งรูปที่ละลายในกรด และรูปที่เหลือ มีแนวโน้มของแคดเมียมเพิ่มขึ้น ส่วนรูปแบบแคดเมียมของดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่มีแนวโน้มของแคดเมียมในรูปต่างๆ ดังนี้ รูปที่ละลายได้, รูปที่ละลายในกรด, รูปรีดิวซ์, รูปออกซิไดส์ และรูปที่เหลือจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนรูปแคดเมียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มีแนวโน้มลดลง

จากการศึกษาค่าพีเอชของดินที่ไม่เติมปุ๋ยและดินที่เติมปุ๋ยหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเป็น 1:1 มีผลดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเป็น 1:1

ชนิดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	pH	
	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์
ค้างคาว	7.26 ± 0.01	7.01 ± 0.05
ไก่	7.25 ± 0.01	6.77 ± 0.07

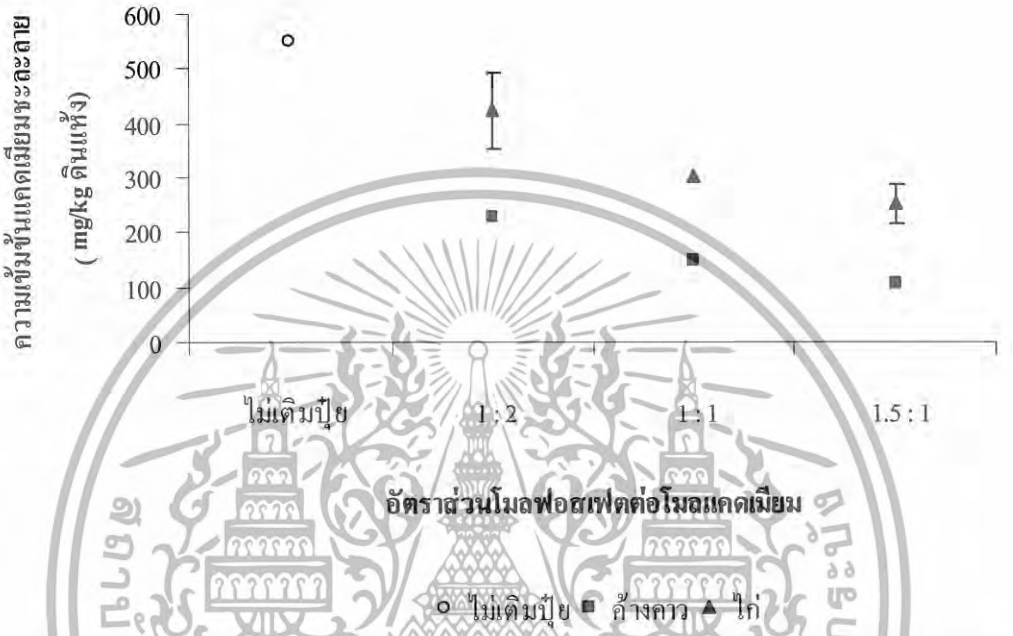
จากตารางที่ 4-4 พบว่า ดินภายหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและมูลไก่ ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ มีค่าพีเอช อยู่ในช่วงที่เป็นกลางค่อนไปทางด่าง โดยที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ ดินมีค่าพีเอช เท่ากับ 7.26 ±0.01 และ7.25 ± 0.01 ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาสัมผัสเป็น 4 สัปดาห์ ดินมีค่าพีเอช เท่ากับ 7.01 ± 0.05 และ 6.77 ± 0.07 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดไม่ทำให้พีเอชของดินเปลี่ยนไป จนเกิดสภาพปัญหาดินเปรี้ยว โดยค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นจากดินก่อนปรับเสถียรที่มีค่าเพียง 6.72 อาจเกิดจากแคลเซียมในปุ๋ยถูกแทนที่ด้วยแคดเมียม ทำให้แคลเซียมถูกชะออกมาโดยที่แคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอเนต ทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นนั่นเอง

4.3 ศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร

ในการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร ทำการทดลองโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปของแคดเมียมที่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ และทำการแปรค่าสัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1:2, 1:1 และ1.5:1 ตามลำดับ และใช้ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมชะละลายในดินตัวอย่างที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นตัวปรับเสถียรที่ระยะ เวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยมูลอัดเม็ดมูลไก่ แถบความ ผิดพลาด (error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.5 พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายในดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ยจะมีค่าสูงกว่าดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทั้งสองชนิด โดยดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว จะมีปริมาณแคดเมียมชะละลายเท่ากับ 227.25, 148.46 และ 105.64 mg/kg ดินแห้ง ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่จะมีปริมาณแคดเมียมชะละลายเท่ากับ 424.22, 302.95 และ 252.82 mg/kg ดินแห้ง ที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:2, 1:1 และ1.5:1 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายของดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวกับมูลไก่ พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวในทุกอัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ในสัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม ดังแสดงในรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอัดเม็ดมูลไก่ ในสัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมที่แตกต่างกัน แถบความผิดพลาด (error) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่าน้อยมาก

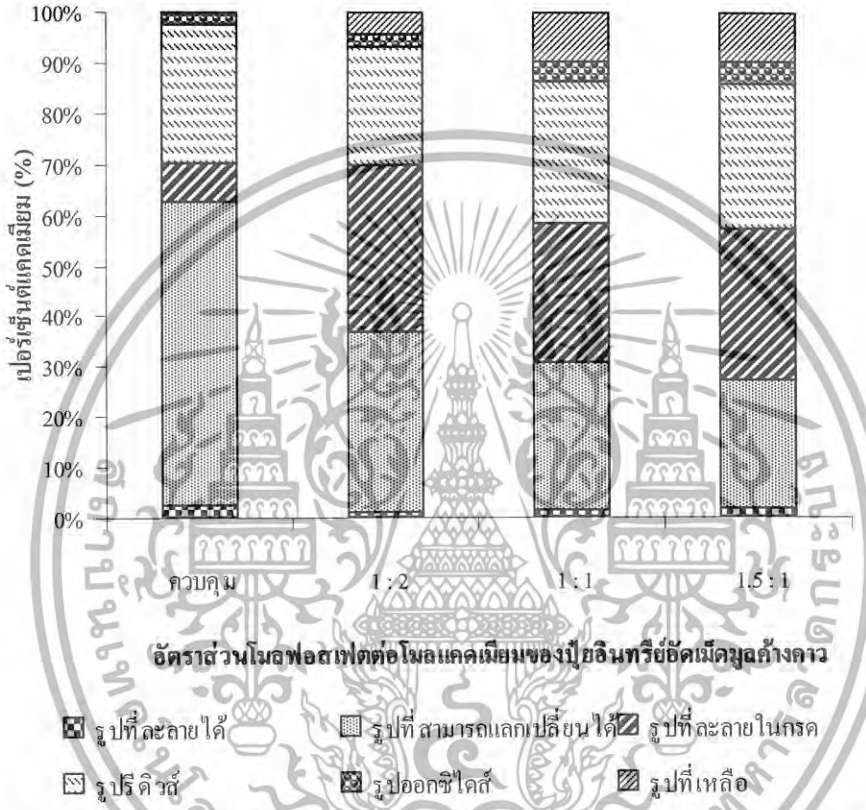
จากรูปที่ 4.6 พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ยมีค่าต่ำกว่าดินที่เติมปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.55 % ซึ่งอธิบายได้ว่า ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นน่าจะเกิดจากการดูดซับตามธรรมชาติ ในดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว จะมีค่าเท่ากับ 58.62 %, 72.97 % และ 80.76 % ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่จะมีค่า เท่ากับ 22.75 %, 44.84% และ 53.96 % ที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:2, 1:1 และ1.5:1 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินของดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวกับมูลไก่ พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว ในทุกอัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม มีค่ามากกว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ แสดงว่าปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีประสิทธิภาพดีที่สุด และปริมาณที่ดีที่สุด คือ ที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม เท่ากับ 1.5:1

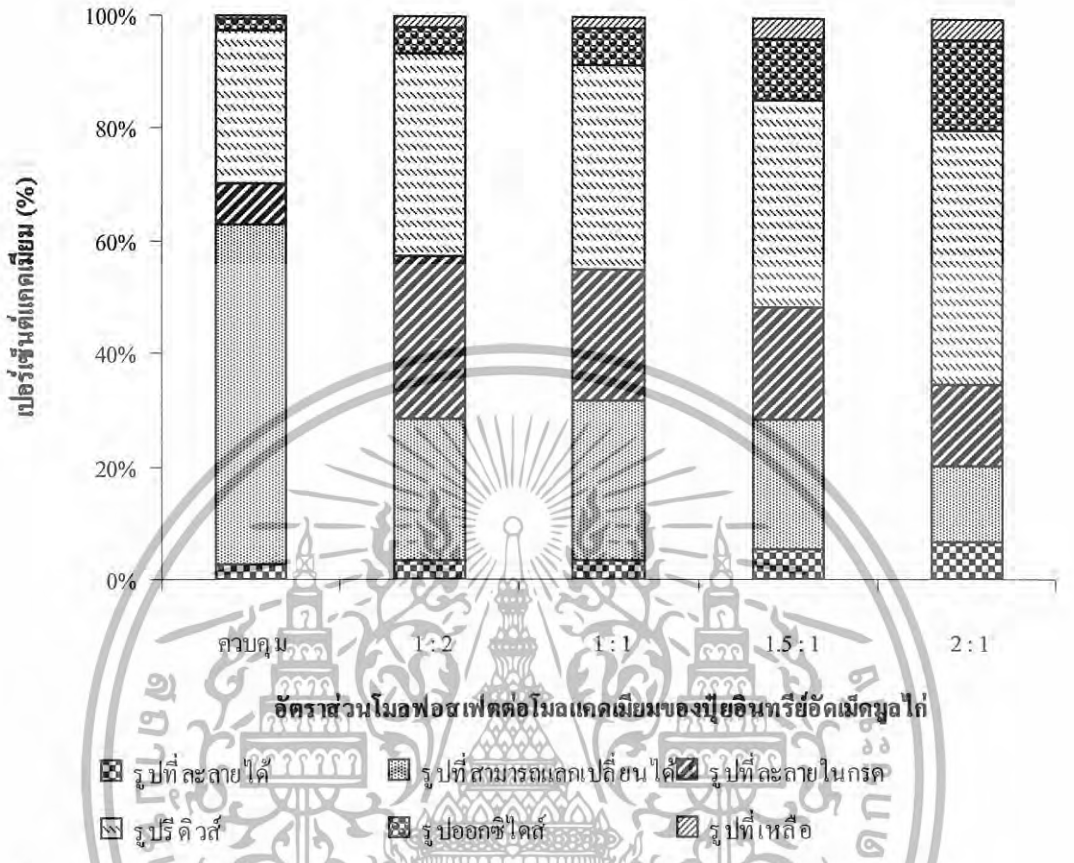
จากการศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.7 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.7 พบว่ารูปของแคดเมียมจากการสกัดแบบลำดับขั้นของการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ย มีสัดส่วนแคดเมียมอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณแคดเมียมในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 60.31 % รองลงมาคือ รูปรีดิวซ์มีค่าเท่ากับ 27.30 % ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวในอัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:2, 1:1 และ 1.5:1 ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่พบว่าสามารถลดปริมาณแคดเมียมที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ให้มีปริมาณน้อยลงได้มาก แต่จะเพิ่มปริมาณแคดเมียมให้อยู่ในรูปรีดิวซ์, รูปออกซิไดส์ และรูปที่เหลือมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์

จากรูป 4.8 พบว่ารูปของแคดเมียมจากการสกัดแบบลำดับขั้นของการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ย มีสัดส่วนแคดเมียมอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณแคดเมียมในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 60.31 % รองลงมาคือ รูปรีดิวซ์มีค่าเท่ากับ 27.30 % ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ในอัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:2, 1:1 และ 1.5:1 โดยส่วนใหญ่พบว่าสามารถลดปริมาณแคดเมียมที่อยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ให้มีปริมาณน้อยลงได้มาก ซึ่งจะเปลี่ยนรูปแคดเมียมไปอยู่ในรูปรีดิวส์, รูปออกซิไดส์ และรูปที่เหลือมากขึ้น

จากการศึกษาค่าพีเอช ในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินระยะเวลา 3 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 4-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินระยะเวลา 3 สัปดาห์

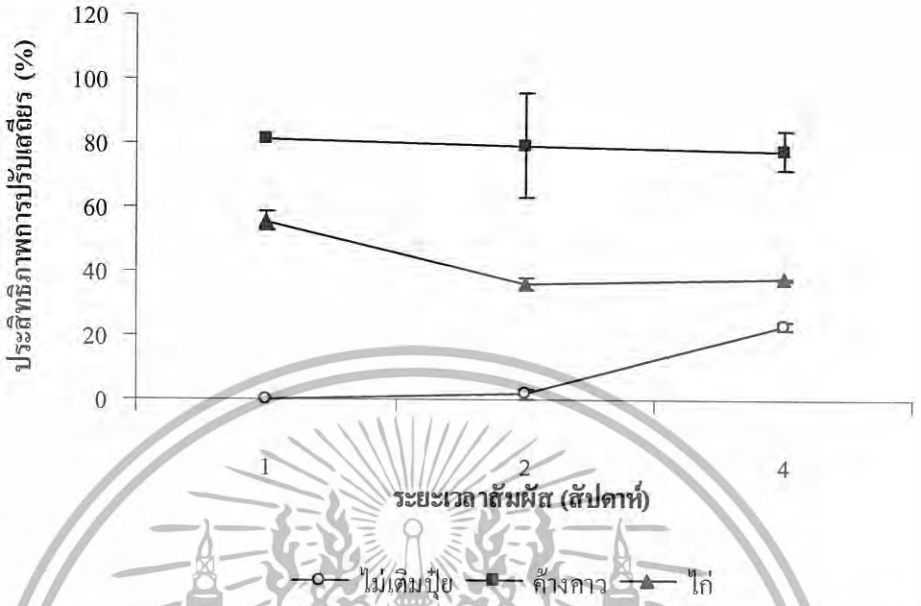
ชนิดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม	pH
ไม่เติมปุ๋ย	-	6.56 ± 0.08
ค้างคาว	1:2	7.28 ± 0.05
	1:1	7.43 ± 0.14
	1:1.5	7.56 ± 0.05
	2:1	7.13 ± 0.01
ไก่	1:2	7.27 ± 0.08
	1:1	7.48 ± 0.06
	1:1.5	7.31 ± 0.06
	2:1	7.23 ± 0.05

จากตารางที่ 4-5 พบว่า ค่าพีเอชของดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ยหลังจากการปรับเสถียร มีค่าเท่ากับ 6.56±0.08 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าดินก่อนปรับเสถียรที่มีค่าเท่ากับ 6.72±0.06 เนื่องจากอินทรียวัตถุที่อยู่ในดินเกิดการสลายตัว ทำให้มีการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งกรดอินทรีย์นี้มีค่าพีเอชเป็นกรดอ่อน(คมสรร, 2547) ส่วนค่าพีเอชของดินภายหลังการปรับเสถียรที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น อาจเป็นเพราะแคลเซียมที่อยู่ในปุ๋ยถูกแทนที่ด้วยแคดเมียม ทำให้แคลเซียมถูกชะออกมาแล้วเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอเนต ส่งผลให้ค่าพีเอชในดินมีค่าสูงขึ้นนั่นเอง

4.4 ผลของระยะเวลาในการสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

ศึกษาระยะเวลาในการสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่สัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1:1 โดยแปรค่าระยะเวลาสัมผัสเป็น 1, 2 และ 4 สัปดาห์ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 2 และ4 สัปดาห์ เมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มูลไก่ และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว เป็นตัวปรับเสถียรที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1:1 แถบความผิดพลาด (error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่า น้อยมาก

จากรูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1:1 พบว่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่เติมปุ๋ยแล้วมีค่ามากกว่าดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย ซึ่งค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ยที่ระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ เท่ากับ 1.7 %±1.47 และ 23.25 %±1.07 ตามลำดับ แต่ที่ระยะเวลาสัมผัสที่ 1 สัปดาห์ ไม่มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียร ส่วนค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่เติมปุ๋ยค้างคาวที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 2 และ 4 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดิน เท่ากับ 81.24%±2.84 ,79.63 %±2.11และ 78.14 %±0.15 ตามลำดับ ส่วนดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 2 และ 4 สัปดาห์ มีค่าประสิทธิภาพการการปรับเสถียร เท่ากับ 55.61 % ±0.014, 36.24%±16.72 และ 37.85 %±6.17 ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่าค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพดีที่สุด ส่วนค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพดีที่สุด ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ของปุ๋ยอินทรีย์มูลค้างคาวมีประสิทธิภาพดีที่สุด อาจเกี่ยวข้องมาจากปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการปรับเสถียรมีปริมาณมาก เพราะว่าในการศึกษาครั้งนี้คณะผู้ทำการทดลองได้คำนวณเทียบเป็นโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม โดยจากการทดลองจะได้ว่าปริมาณฟอสเฟตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีค่าน้อย จึงทำให้ต้องใช้ปริมาณปุ๋ยเป็นจำนวนมากในการทดลอง ทำให้แคดเมียมสามารถดูดซับกับเนื้อปุ๋ยได้ดี ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินมีค่าสูงตั้งแต่สัปดาห์แรก ส่วนค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ยอาจมาจากการดูดซับตามธรรมชาติ ในระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์

จากการศึกษาค่าพีเอช ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่สัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเป็น 1:1 แสดงดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการศึกษาระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่สัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเป็น 1: 1

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	pH	
	มูลค้างคาว	มูลไก่
1	7.09 ± 0.01	7.38 ± 0.02
2	7.26 ± 0.01	7.25 ± 0.01
4	7.01 ± 0.05	6.77 ± 0.07

จากตารางที่ 4-6 พบว่าค่าพีเอชของดินภายหลังการปรับเสถียรมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะแคลเซียมที่อยู่ในปุ๋ยถูกแทนที่ด้วยแคดเมียม ทำให้แคลเซียมถูกชะออกมาแล้วเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอเนต ส่งผลให้ค่าพีเอชในดินมีค่าสูงขึ้นนั่นเอง ส่วนค่าพีเอชของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจาก 1 สัปดาห์ เป็น 2 และ 4 สัปดาห์ เนื่องจากอินทรียวัตถุที่อยู่ในดินเกิดการสลายตัว ทำให้มีการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งกรดอินทรีย์นี้มีค่าพีเอชเป็นกรดอ่อน(คมสรร, 2547) จึงทำให้ค่าพีเอชลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิด คือ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตัวอย่าง ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร นอกจากนี้ยังทำการศึกษารูปแบบต่าง ๆ ของแคดเมียมที่พบในดินทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียร ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มีลักษณะทางกายภาพและเคมี ดังนี้ มีค่าพีเอช 6.72±0.06 ความเป็นกรดของดินเท่ากับ 0.06±0.03 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัมดินแห้ง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 54.20±1.04 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำหนักดินแห้ง 100 กรัม มีความชื้น 3.00±0.03 % ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) มีปริมาณอินทรียวัตถุ 2.71±0.05% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าเท่ากับ 3.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง และมีความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 9.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง

จากการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมในดินและรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเป็นตัวปรับเสถียร ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ พบว่าดินตัวอย่างที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวเป็นตัวปรับเสถียรมีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรมากที่สุด เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีค่ามากกว่าค่าของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ และจากการสกัดแบบลำดับขั้นพบว่ารูปของแคดเมียมในดิน ส่วนใหญ่อยู่ในรูปรีดิวซ์, รูปที่ละลายได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และมีแนวโน้มหลังการปรับเสถียรดังนี้ คือ รูปของแคดเมียมที่ละลายได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้จะลดลง เมื่อเทียบกับรูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินชุดควบคุม (ไม่เติมปุ๋ย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรในดิน และรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเป็นตัวปรับเสถียร ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ที่ระยะเวลาในการสัมผัส 3 สัปดาห์ พบว่าดินตัวอย่างที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวในอัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1.5:1 เป็นตัวปรับเสถียรที่มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรมากที่สุด ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการบำบัด เท่ากับ 80.76 ±1.67% และจากการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่ารูปของแคดเมียมที่พบในดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวสามารถเปลี่ยนรูปแคดเมียมที่อยู่ในรูปละลายได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ให้มีค่าที่ลดลง อีกทั้งยังพบว่าแคดเมียมอยู่ในรูปละลายได้ในกรด, รูปรีดิวซ์, รูปออกซิไดส์ และรูปที่เหลือ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นแทน เมื่อเทียบกับรูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินชุดควบคุม(ไม่เติมปุ๋ย)

จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร ซึ่งทำการศึกษาที่ระยะเวลาสัมผัส เท่ากับ 1, 2 และ 4 สัปดาห์ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม เท่ากับ 1:1 พบว่าค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และมูลไก่ ที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพดีกว่าที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ โดยมีค่าเท่ากับ 81.24±2.84 % และ 55.61±0.014 % ตามลำดับ

จากการรวบรวมผลที่ได้ทำการศึกษา สามารถสรุปได้ว่า ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว ที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม เท่ากับ 1.5:1 ที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์ มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาหาค่าการละลายของปุ๋ยอินทรีย์ และควรกรองเอาเฉพาะสารละลายปุ๋ยเพื่อให้ได้ปริมาณฟอสเฟตที่ละลายได้ที่แน่นอน ในการนำมาปรับเสถียรและเป็นการควบคุมเปอร์เซ็นต์ recovery หรือเปลี่ยนจากปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เป็นปุ๋ยน้ำแทน
2. ศึกษาถึงการปรับเสถียรโลหะชนิดอื่น และอิทธิพลของโลหะผสมที่มีผลต่อการปรับเสถียร
3. ควรทำการวิเคราะห์ติดตามค่าแคลเซียมในดินก่อนและหลังการปรับเสถียร ว่าแคลเซียมมีผลอย่างไรต่อการปรับเสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ.2535.**มาตรฐานคุณภาพดิน.** [Online]. Availble ://www.pcd.go.th/info_serv /reg_std_soil01.html.

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

กรมพัฒนาที่ดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.2548. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อนตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1**. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร.2544. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. กรุงเทพฯ: ชุมชนการเกษตรแห่งประเทศไทย.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม.2548. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 7. กรุงเทพฯ.

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และกลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์.2547.**คู่มือปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2** .ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กิตติวรรณ กิจปกรณ์สันติ, ภาวิไล ส่งแสง และอรวรรณ บุญเพชรแก้ว.2547. **การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยฟอสเฟต**. วิทยาพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เกศิณี พกุลานนท์.2547.**การทำให้โลหะหนักจำนวนมากที่ปนเปื้อนในดินเสถียร.**เอกสารประกอบการเรียนวิชาสัมมนา สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา.2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คมสรร ศิริติกุล.2547. **การล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ**. โครงงานพิเศษสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปภานีย์ ศรีวิริยานุภาพ. 2545. **การล้างดินกากตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะแคดเมียมโดยใช้สารละลายการผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์กับโซเดียมอีดีทีเอ**. วิทยาพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิชชาภา บุญญคง, สกุลรัตน์ รัตนายน และหนึ่งฤทัย บริรักษ์.2548. **การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยฟอสเฟต**. โครงงานพิเศษสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ไพบูรณ์ วิวัฒน์วงศ์วนา.2546. **เคมีของดิน (Soil chemistry)** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา.2538. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา.2549.[Online]. Availble ://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_21_001c.asp?info_id=258.

สุธิลา ตุลยะเสถียร,โกศล วงศ์สวรรค์ และสถิต วงศ์สวรรค์. 2544. **มลพิษสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทรวมสาส์น

Bradley S.C., T.Taler E., James E.K., J. Dykstra E. Jr., Elisabeth L.S., and Carl A.F.2001. Heavy metal speciation and leaching behaviors in cement base solidified/stabilized waste materials. **Journal of Hazardous Material.** A82: 215-230.

Carter. M.R. **Soil Sampling and Methods of Analysis**, USA, Lewis Publishers, Florida, 1993.

Jimmy J, Street, W.L.Lindsay, and B.R. Sabey1977. Solubility and plant uptake of cadmium in soils amends with cadmium and sewage sludge. **Environmental Quality**. 6(1):72-77

Ricardo, M., Xinde, C., Ming, C.2003. Field assessment of lead immobilization in a contaminated soil after phosphate application .**The Science of The Total Environment**, 305: 117-127.

T. Taylor Eighmy, Bradley S. Crannell, James E. Krzanowski, Leslie G. Butler, Frank K. Cartledge, Earl F. Emery, J. Dykstra Eusden Jr, Elisabeth L. Shaw and Carl A. Francis.Characterization and phosphate stabilization of dusts from the vitrification of MSW combustion residues. **Waste Management,** 18(1998) 513-524.

Tessier. A., Campbell. P.G.C., Bisson. M. "Sequential extraction procedure for speciation of particulate trace metals." Anal.Chem., 51, 844-851.1979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. การวัดค่าพีเอช

1. ชั่งดินแห้ง 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไป 5 มล. พร้อมบันทึกหมายเลขตัวอย่างดิน
2. กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ขณะที่ตั้งสารละลายทิ้งไว้ ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดพีเอช กับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 จุ่มอิเลคโทรดลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลากวน โดยใช้การหมุนอิเลคโทรดเบาๆ จากนั้นอ่านค่าพีเอช

2. การวิเคราะห์ความเป็นกรดของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

1. ชั่งดิน 5-10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล.
2. เติม(สารละลายแบเรียมคลอไรด์ 0.5 นอร์มอลและไตรเอทานอลามีน 0.055 นอร์มอล) 50 มล. ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน
3. กรองแบบลดความดันและล้างดินด้วยแบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน 2-3 ครั้ง เทสารละลายที่กรองได้ใส่ขวดวัดปริมาตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มล. ด้วยสารละลายแบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน
4. เทสารละลายดินที่กรองได้ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล. ล้างขวดด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เติมอินดิเคเตอร์ผสม 4-5 หยด จะได้สารละลายสีเขียว
5. ทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริคก่อน (ให้ได้ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ถ้าไม่ใกล้เคียงกับ 0.2 นอร์มอล ต้องเตรียมใหม่
6. ทำแบลงค์ เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน บันทึกปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐาน 0.2 นอร์มอล ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลายดินและแบลงค์ (สารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูม่วงที่จุดยุติ)
7. คำนวณหาความเป็นกรดของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{ความเป็นกรดของดิน} = \frac{(B-S)\times N\times 100}{X} \text{ meq/g dry soil} \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มอล)

B = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับแบลงค์ (มล.)

S = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างดิน(มล.)

X = น้ำหนักของดิน (กรัม)

3. การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (กรองแก้ว และกลิ่นสุคนธ์, 2547)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 5-10 กรัม (ละเอียดสองตำแหน่งทศนิยม) ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล. เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 นอร์มอล ลงไป 60 มล. ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน
2. เขย่าสารละลายดิน 30 นาที โดยใช้เครื่องเขย่า จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงนาน 5 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง
3. ล้างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 นอร์มอล ครั้งละ 30 มล. นำไปปั่นเหวี่ยงแยกเอาส่วนใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (การทดสอบแคลเซียมทำได้โดยนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้ง ประมาณ 10 มล. ใส่หลอดทดลอง หยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 นอร์มอล, แอมโมเนียมออกซาเลต 10 % และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50 % อย่างละ 2-3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าตะกอนหรือสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่ต้องล้างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตต่อไปอีก)
4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 นอร์มอล อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 7 ครั้ง ๆ ละ 30 มล. โดยในการล้างแต่ละครั้งให้นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงนาน 3-5 นาที เพื่อแยกส่วนใสออกจนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ในดิน ใช้หลอดหยดดูดเฉพาะส่วนที่ใสมาใส่ภาชนะอื่นเพื่อทดสอบคลอไรด์ การทดสอบคลอไรด์ทำโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.1 นอร์มอล 2-3 หยดลงในสารละลายส่วนที่ใสจากการปั่นเหวี่ยง ถ้ามีตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) เกิดแสดงว่ายังมีคลอไรด์เหลืออยู่ ต้องล้างดินด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์ต่อไป
5. นำสารละลายที่ได้จากข้างต้นทิ้งไป นำดินที่ได้มาล้างต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10 % เพื่อไล่แอมโมเนียมไอออนในดิน โดยล้างครั้งละ 30 มล. ซ้ำ 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยง (เก็บส่วนใสไว้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำส่วนใสที่ได้จากสารละลายดินมาใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรรวมด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มล.
7. นำสารละลายที่ได้ไปกลั่น เพื่อไล่แอมโมเนียออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงไป 25 มล. ใส่ในขวดกลั่นเจห์ดาลโดยใช้ปลายคอนเดนเซอร์จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริค 3 % จำนวน 50 มล. ซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2-3 หยด กลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วง เป็นสีเขียว ขณะกลั่นควรตรวจสอบว่าน้ำหล่อเย็นที่เข้าและออก ช่วยดักให้ก๊าซแอมโมเนียกลั่นตัวได้ดีหรือไม่ ถ้าอุณหภูมิน้ำออกและที่ใช้ภาชนะที่ใส่สารละลายกรดบอริคสูงมากจะไม่สามารถจับก๊าซแอมโมเนียด้วยกรดบอริคได้สมบูรณ์ ควรใช้น้ำแข็งหล่อเย็นรอบ ๆ ภาชนะที่ใส่สารละลายกรดบอริคด้วย
8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
9. กลั่นแบลงค์ และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$CEC = \frac{[(A-B)N \times 100]}{X} \text{ มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน} \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มล.)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐาน (นอร์มอล)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

4. การหาค่าความชื้น (Carter, 1993)

1. ชั่งกระจกนาฬิกาที่สะอาด
2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 กรัม ลงบนกระจกนาฬิกาจดบันทึกน้ำหนักเปียก
3. นำไปเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

   % ความชื้น = [(น้ำหนักเปียก-น้ำหนักแห้ง) x 100] / น้ำหนักเปียก .....(3)
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การหาลักษณะเนื้อดิน (กรองแก้ว และกลิ่นสุคนธ์, 2547)

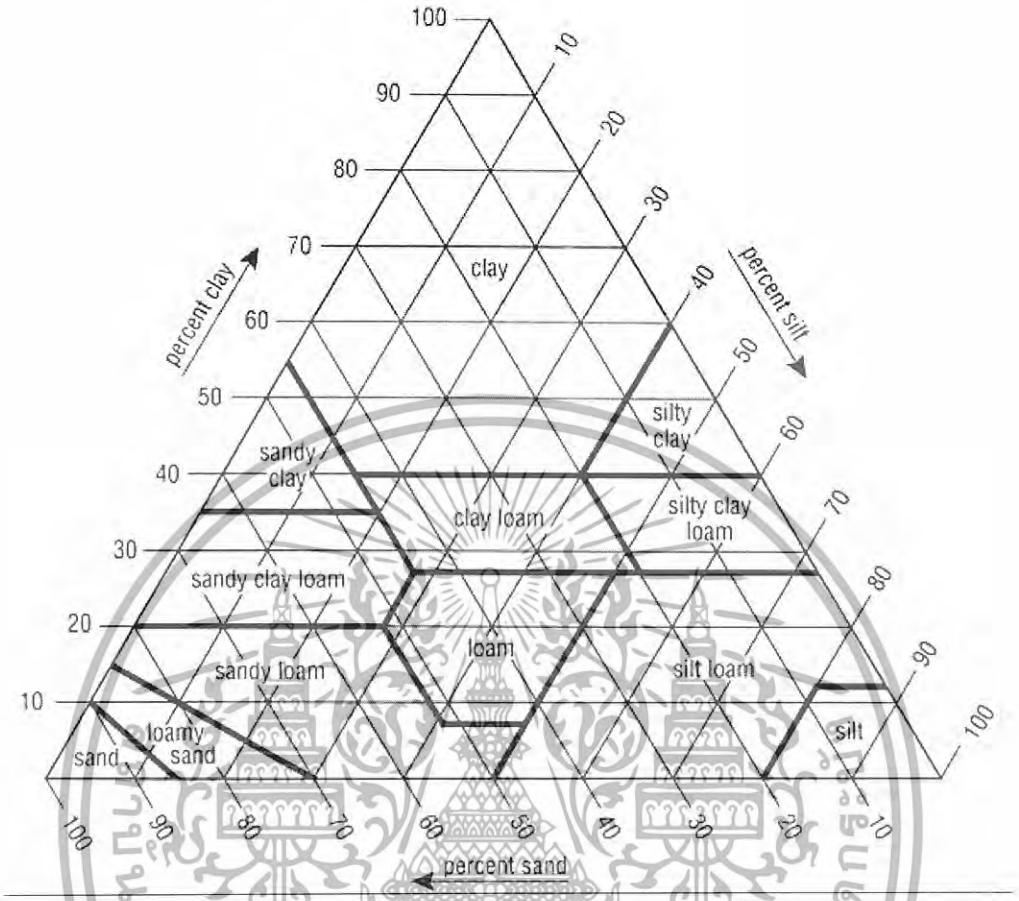
<u>การปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์</u>

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

<u>การอ่านค่าจากสารแขวนลอย</u>

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสของดิน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การคำนวณ

$$\% \text{ Sand} = [(W - R_{40s}) \times 100] / W \quad \text{.....(4)}$$

$$\% \text{ Clay} = [(R_{2hr}) \times 100] / W \quad \text{.....(5)}$$

$$\% \text{ Silt} = 100 - (\%\text{Sand} + \%\text{Clay}) \quad \text{.....(6)}$$

กำหนดให้

W = น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

R_{40s} = ค่าจากไฮโดรมิเตอร์ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่ 40 วินาที

R_{2hr} = ค่าจากไฮโดรมิเตอร์ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่ 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การหาปริมาณอนุภาคต่าง ๆ

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

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

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

% Silt = 100-(34-36) = 30 %

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

7. การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในดินและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

วิธี Walkley and Black

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

การคำนวณ

$$\% \text{ Organic carbon} = \left[\frac{(B-T)N}{B}\right] \times \left[\frac{100}{77}\right] \times 0.003 \times \left[\frac{100}{X}\right] \times 10 \quad \text{..... (7)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอนโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์

T = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน

X = น้ำหนักดิน (กรัม)

% Organic matter = % Organic carbon × 1.724 .....(8)

หรือ $$\% \text{ Organic matter} = \left[\frac{(B-T)N}{B}\right] \times \left[\frac{100}{77}\right] \times \left[\frac{100}{58}\right] \times 0.003 \times \left[\frac{100}{X}\right] \times 10$$ .....(9)

8. การหาความหนาแน่นรวม (Carter, 1993)

วิธี Core method

1. ชั่งน้ำหนักดิน core และบันทึกน้ำหนัก
2. เตรียมพื้นที่ที่จะขุดเอาตัวอย่าง
3. กดแท่งทรงกระบอก (Cylindrical cores) ลงไปตามระดับที่ต้องการให้ดินเต็ม core แล้วขุดรอบ ๆ Cylindrical cores เพื่อนำขึ้นมา
4. ใช้มีดตัดดินส่วนที่เกิน Cylindrical cores ออก แล้ววางบนกระจกนาฬิกาที่ทราบน้ำหนักแล้ว
5. นำไปใช้ชั่งน้ำหนัก จะได้ Wet soil + core (กรัม)
6. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์
7. นำไปชั่งน้ำหนัก จะได้ Dry soil + core (กรัม)
8. นำไปคำนวณหาความหนาแน่นรวม (Bulk density)

การคำนวณ

$D_0 = m/v$ ..... (10)

เมื่อ D_0 = ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

m = น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

v = ปริมาตรของ Cylindrical cores ($v = \pi d^2 h/4000$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

(กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

วิธีสารละลายสกัด Bray II

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1.0 กรัมใส่ในขวดชมพู่ ขนาด 50 มล.
2. เติมสารละลายสกัด Bray II (0.03 N NH_4F, 0.1 N HCl) 10 มล. เขย่า 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง No. 5 ขนาด 11.0 เซนติเมตร
3. ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ในข้อ 2 อัตราส่วน 1 ส่วน ต่อ working solution (สารละลายกรดแอสคอบิก) 16 ส่วน (เท่ากับ 17 เท่า โดยใช้ Auto-dilutor) ลงในหลอดแก้ว ทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง นำไปอ่านค่าความเข้มข้น (concentration) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร
4. ทำแบลงค์ และชุดของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, 10และ 15 mg/l เตรียมจาก สารโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต) เช่นเดียวกับข้อ 3

การคำนวณ

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช} = \frac{B \times df(sample) \times R}{A \times df(s\tan dard)} \text{ mg/kg} \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)

B = สารละลายสกัด (มล.)

R = ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

ดังนั้น ถ้าไม่มีการทำเจือจาง

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (P)} = \frac{B \times R}{A} \text{ mg/kg} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

10. การหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมด

วิธี Microwave digester

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ถ้าตัวอย่างไม่ครบทุก vessel ให้วาง vessel ที่มีสารให้สมดุลหรือใช้ vessel เปล่าวางแทน

5. ไขให้แน่นด้วย tension wrench (ด้ามสีดำ) เมื่อแน่นจะได้ยินเสียง "คลิก"
6. วาง polypropylene rotor body ใน microwave unit โดยสวมให้ตรงกับแกน
7. กำหนดค่าของ time, power, pressure, temp ตามที่กำหนดใน program ที่เลือกไว้
8. กด start เครื่องจะ check และทำตาม program
9. เมื่อสิ้นสุดการ digest ตาม program เครื่องจะแสดง switch off microwave unit และ exhaust Module
10. เปิดเครื่อง microwave unit และยก rotor body ทำให้เย็นโดยใส่ใน cooling bath ประมาณ 10 นาที
11. นำ vessel ออก แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกรอง
12. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะแคดเมียมด้วยเครื่อง AAS

โปรแกรมการย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟ

Stop	time	power	press	Temp1	Temp2
1	00:05:00	250	0	0	0
2	00:01:00	0	0	0	0
3	00:10:00	250	0	0	0
4	00:05:00	450	0	0	0
5	00:00:00	0	0	0	0
6	00:00:00	0	0	0	0
7	00:00:00	0	0	0	0
8	00:00:00	0	0	0	0
9	00:00:00	0	0	0	0
10	00:00:00	0	0	0	0

Vent 00:05:00 Rotor ctrl on Twist on

สารเคมีที่ใช้ในการย่อยดินด้วยเครื่องไมโครเวฟ

1. HNO_3 65 % 6 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. HCl 3 มล.
3. H_2O_2 30% 0.25 มล.

11. การหาปริมาณแคดเมียมชะละลาย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

วิธี Waste Extraction Test (WET)

1. นำ 2.5 กรัมของตัวอย่างดินใส่ลงในภาชนะ
2. เติม 25 มล. ของน้ำสกัดสกัด(สารละลาย 0.2 M sodium citrate ที่ pH 5.0 ± 0.1 โดยเตรียมจากการนำสารละลาย citric acid ในปริมาณที่เหมาะสม มาปรับ pH ให้เป็น 5.0 ด้วย สารละลาย 4.0 นอร์มอล NaOH) ลงในตัวอย่าง จากนั้นนำของผสมไปไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน เป็นเวลา 15 นาที เมื่อเสร็จแล้วให้ทำการปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็ว และนำไปเขย่าโดยใช้ เครื่องเขย่าแนวนอนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
3. จากนั้นนำเอาของผสมไปปั่นด้วยแรงเหวี่ยง (centrifuged) แล้วมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน โดยใช้ การกรองแบบลดความดัน
4. ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้จาก ข้อ 3 ลงในขวดโพลีเอทธิลีน และปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริก 2 %

12. วิธีการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน

การเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน 800 ppm

1. ชั่ง $CdN_2O_6.4H_2O$ มา 2.1952 กรัม ละลายในน้ำ 1000 มิลลิลิตร
2. พ่นสารละลายที่ได้ใส่ลงไปในดินน้ำหนัก 1000 กรัม
3. ตั้งดินทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ โดยทำการกลับดินให้เข้ากันทุกวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction) (ปภานีย์, 2545)

เทคนิคการสกัดแบบลำดับขั้น สามารถใช้ในการหาปริมาณโลหะหนักได้ เนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้ โดยศึกษาสมบัติทางเคมีของโลหะและแร่ธาตุในดิน ซึ่งในการศึกษานี้จะทำให้เข้าใจเคมีของดินที่สัมพันธ์ระหว่างโลหะและชนิดของดิน การเลือกสารเคมีที่มีความเหมาะสมในการสกัด จึงมีความเกี่ยวข้องกับแต่ละลำดับขั้นของการสกัด (เพ็ญใจ, 2532)

การวิจัยนี้ได้นำวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น 6 ขั้นมาใช้ในการแยกโลหะที่สนใจออกเป็นส่วน ๆ ตามการใช้สารละลายสกัดที่มีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ปริมาณของโลหะที่ออกมาในแต่ละส่วนสามารถทำนายพฤติกรรมที่เป็นพิษของโลหะในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ การเคลื่อนที่ของโลหะหนักขึ้นกับค่า pH และการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ ดังนั้นการสกัดแบบลำดับขั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาทางสิ่งแวดล้อม การสกัดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณามาจากงานวิจัยหลายท่านซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 Water soluble

1. นำตัวอย่างดิน 1 กรัม มาผสมกับน้ำ DI 25 มล. ใส่ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 2 Exchangeable

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 1 มาเติม 1.0 M CH_3COONH_4 pH 7 ปริมาตร 25 มล.ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนแข็งที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มล. แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 Acid soluble

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 2 มาเติม 0.11 M CH_3COOH pH 3 ปริมาตร 25 มล. ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนแข็งที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มล. แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 4 Reducible

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 3 มาเติม 0.1 M $NH_2OH{\cdot}HCl$ pH 2 (ใน 25 % v/v CH_3COOH) ปริมาตร 25 มล. ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนแข็งที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มล. แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 5 Oxidizable

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 4 มาเติม H_2O_2 30% pH 2 ด้วย HNO_3 ปริมาตร 20 มล.ในขวดรูปชมพู่
2. นำไปเขย่าด้วย Water bath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติม 1.0 M CH_3COONH_4 pH 2 ปริมาตร 20 มล.
4. นำไปเขย่าด้วย Water bath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
6. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
7. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 6 Residual

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 5 ไปทำให้แห้ง โดยนำไปอบที่ 103-105 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
2. ชั่งน้ำหนักให้ได้ที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ใน crucible
3. นำไปย่อยด้วย HNO_3 6 มล., HCL 3 มล. และ H_2O_2 30 % 0.25 มล. ด้วยเครื่องไมโครเวฟ จนได้สารละลายใส
4. กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
5. ปรับปริมาตรเป็น 25 มล. ด้วยน้ำ DI
6. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค-1 พีเอชของดินตัวอย่าง

ครั้งที่	pH
1	6.66
2	6.75
3	6.76

ตารางที่ ค-2 การวิเคราะห์ความเป็นกรดของดินตัวอย่าง

ตัวอย่าง	น้ำหนักดิน (กรัม)	น้ำหนักโซเดียมเตตระบอเรต (กรัม)	ปริมาตร 0.02 N HCl ที่ใช้ในการไทเทรต (มล.)	ความเข้มข้น HCl (นอร์มัล)
แบลงค์	-	0.0000	25.30	0.00
1	5.0247	0.4359	24.55	0.20
2	5.0248	0.4069	23.82	0.20
3	5.0245	0.4061	23.15	0.21
		เฉลี่ย		0.20

ตารางที่ ค-3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ปัจจัยที่ศึกษา		ความเข้มข้นที่แน่นอนของ HCl (นอร์มัล)
	น้ำหนักโซเดียมเตตระบอเรต (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
1	0.2023	10.5	0.1010
2	0.2139	11.1	0.1012
3	0.2122	10.9	0.1021
เฉลี่ย			0.1014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	ปัจจัยที่ศึกษา		ความเข้มข้น HCl (นอร์มัล)
	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
แบลงค์	-	0.00	0.00
1	5.0294	24.10	48.59*
2	5.0023	27.10	54.93
3	5.0263	26.50	53.46

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

ตารางที่ ค-4 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดินเปียก (กรัม)	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)
ตัวอย่างดินก่อนเพิ่มปริมาณแคดเมียม	1	10.0045	9.7073
	2	10.0088	9.7094
	3	10.0008	9.6974
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม ครั้งที่ 1	1	5.0012	4.9097
	2	5.0009	4.9203
	3	5.0013	4.9133
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม ครั้งที่ 2	1	4.9935	4.9384
	2	4.9934	4.9396
	3	4.9908	4.9602

ตารางที่ ค-5 การกระจายตัวของอนุภาค

ตัวอย่าง	น้ำหนักดิน (กรัม)	ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ (กรัม/ลิตร)			
		อุณหภูมิ (°C)	40 วินาที	อุณหภูมิ (°C)	2 ชั่วโมง
สารละลายคัลกอน	0.0000	30.0	3.0	30.0	3.0
1	40.03	30.0	20.6	31.0	12.1
2	40.18	30.0	20.6	31.0	12.1
3	40.10	30.5	21.35	31.0	12.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-6 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินตัวอย่าง

ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	ปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (มล.)
แบลงค์	-	21.50
1	1.0003	12.70
2	1.0006	12.80
3	1.0011	13.00

ตารางที่ ค-7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินตัวอย่าง

ตัวอย่าง	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง	Calibration curve ของ standard
1	1.0883	0.148	Y = 0.0121X + 0.0612
2	1.0050	0.060	
3	1.0060	0.037	

Calibration curve ของ standard คือ Y = 0.0121X + 0.0612

เมื่อ Y = ค่า Absorbance

X = ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ต่อกิโลกรัม)

ตารางที่ ค-8 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของดินตัวอย่างหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่คำนวณได้ (มก./กก.)
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาแคดเมียมครั้งที่ 1	1	0.5025	0.147	0.806
	2	0.5051	0.136	0.741
	3	0.5023	0.153	0.842
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาแคดเมียมครั้งที่ 2	1	0.5005	0.147	1.084
	2	0.5009	0.165	1.225
	3	0.5009	0.142	1.047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ เนื่องจากการวิเคราะห์ดินที่ทำการเก็บตัวอย่างมา การหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดได้ทำการส่งไปวิเคราะห์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ จึงไม่มีผลการทดลองแสดง

ตารางที่ ค-9 ปริมาณแคดเมียมชะละลายของดินตัวอย่างหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาแคดเมียมครั้งที่ 1	1	2.5105	0.598
	2	2.5151	0.606
	3	2.5016	0.585
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาแคดเมียมครั้งที่ 2	1	2.5020	0.3055*
	2	2.5246	0.2559
	3	2.5064	0.2441

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

ตารางที่ ค-10 ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ชนิดปุ๋ย	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	ปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (มล.)
ปุ๋ยมูลค้างคาว	ควบคุม	0.0000	21.50
	1	1.0010	18.65
	2	1.0023	18.70
	3	1.0007	18.65
ปุ๋ยมูลไก่	ควบคุม	0.0000	21.50
	1	0.1005	18.30
	2	0.1006	18.30
	3	0.1003	18.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-11 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ชนิดปุ๋ย	ครั้งที่	น้ำหนักปุ๋ย (กรัม)	Abs	อัตราส่วนการเจือจาง
ปุ๋ยมูลค้างคาว	1	1.0036	0.036	20
	2	1.0047	0.044	20
	3	1.0225	0.082	20
ปุ๋ยมูลไก่	1	1.0088	0.123	50
	2	1.0417	0.120	50
	3	1.0148	0.120	50

Calibration curve ของ standard คือ $Y = 0.0121X + 0.0612$

เมื่อ Y = ค่า Absorbance

X = ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ต่อกิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลจากการศึกษาชนิดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

การได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมในการเสถียร จะต้องมีข้อมูลซึ่งจะนำมาแปรค่าโดยการคำนวณ ซึ่งจะแสดงได้ ดังตาราง

ตาราง ง-1 ข้อมูลการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน โดยใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียม 1:1 ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์

ชนิดปุ๋ย	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะสะลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	% ประสิทธิภาพการปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5105	0.598	690.03	0.66
	2	2.5151	0.606	699.16*	0.00*
	3	2.5016	0.585	675.59	2.74
ปุ๋ยมูลค้างคาว	1	2.5034	0.126	131.50	80.74
	2	2.5000	0.140	150.36	77.98
	3	2.5028	0.119	123.07	81.99
ปุ๋ยมูลไก่	1	2.5088	0.388	494.25	27.61
	2	2.5026	0.244	296.16*	56.63*
	3	2.5013	0.380	483.36	29.21

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

<u>การคำนวณ</u>

<u>ตัวอย่าง</u> ปุ๋ยมูลค้างคาว ครั้งที่ 1

% ประสิทธิภาพการปรับเสถียร = 100-(ความเข้มข้นแคดเมียมครั้งที่ 1 / ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียม ชุดไม่เติมปุ๋ย) x 100

= 100-(131.50/682.81)x100

= 80.74 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-2 ข้อมูลการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน โดยใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:1 ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

ชนิดปุ๋ย	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	%ประสิทธิภาพการปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5105	0.450	540.20	22.23
	2	2.5151	0.441	533.72	23.16
	3	2.5016	0.439	525.31	24.37
ปุ๋ยมูลค้างคาว	1	2.5003	0.110	115.63	78.31
	2	2.5015	0.111	117.13	78.03
	3	2.5086	0.111	116.80	78.09
ปุ๋ยมูลไก่	1	2.5001	0.243	296.88	44.31
	2	2.5032	0.271	334.61	37.23
	3	2.5050	0.291	362.44	32.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์

อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	% การปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5105	0.598	690.03	0.00
	2	2.5151	0.606	699.16	0.00
	3	2.5016	0.585	675.59	0.00
1 : 2	1	2.5019	0.006	7.13*	98.94*
	2	2.5008	0.167	206.35	69.39
	3	2.5030	0.181	224.57	66.68
1 : 1	1	2.5019	0.114	138.43	79.46
	2	2.5044	0.113	136.55	79.74
	3	2.5056	0.086	104.40	84.51
1.5: 1	1	2.5012	0.071	86.06	87.23
	2	2.5065	0.089	108.61	83.89
	3	2.5089	0.051	61.92	90.81

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-4 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์

อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	% การปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5022	0.450	551.83	18.14
	2	2.5016	0.449	546.29	18.96
	3	2.5023	0.450	549.44	18.49
1 : 2	1	2.5007	0.173	210.58	61.66
	2	2.5010	0.187	226.87	58.69
	3	2.5013	0.201	244.32	55.51
1 : 1	1	2.5004	0.121	147.22	73.19
	2	2.5030	0.125	152.12	72.30
	3	2.5042	0.120	146.02	73.41
1.5: 1	1	2.5044	0.082	99.83	81.82
	2	2.5034	0.083	100.85	81.64
	3	2.5004	0.095	116.23	78.84

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-5 ข้อมูลการศึกษาปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์

อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	% การปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5105	0.598	690.03	0.00
	2	2.5151	0.606	699.16	0.00
	3	2.5016	0.585	675.59	0.00
1 : 2	1	2.5030	0.321	382.90	43.20
	2	2.5013	0.254	302.86	55.07
	3	2.5023	0.329	392.76	41.73
1 : 1	1	2.5021	0.286	344.09*	48.95*
	2	2.5014	0.249	299.17	55.62
	3	2.5037	0.249	299.28	55.60
1.5: 1	1	2.5032	0.139	167.39	75.17
	2	2.5028	0.180	217.63	67.71
	3	2.5047	0.193	232.51	65.51

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-6 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์

อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	% การปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5022	0.450	551.83	18.14
	2	2.5016	0.449	546.29	18.96
	3	2.5023	0.450	549.44	18.49
1 : 2	1	2.5015	0.351	421.25	23.30
	2	2.5039	0.370	443.06	19.33
	3	2.5041	0.341	408.32	25.64
1 : 1	1	2.5015	0.290	349.00	36.45
	2	2.5003	0.184	221.86	59.60
	3	2.5003	0.281	337.99	38.46
1.5: 1	1	2.5032	0.225	249.75	54.52
	2	2.5036	0.228	253.80	53.79
	3	2.5049	0.229	254.91	53.58

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์

ลำดับขั้น	ชนิดของปุ๋ย	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			เฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 1 รูปที่ละลายน้ำได้	ไม่เติมปุ๋ย	8.98	7.69	20.04	12.23	1.24
	มูลค้างคาว	3.918	3.30	2.76	3.32	0.32
	มูลไก่	45.84	40.73	48.36	44.98	4.40
ขั้นที่ 2 รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ไม่เติมปุ๋ย	436.76	432.85	420.57	430.06	43.50
	มูลค้างคาว	441.28	461.84	438.44	439.86	42.82
	มูลไก่	655.67	614.75	655.53	655.60	64.16
ขั้นที่ 3 รูปที่ละลายได้ในกรด	ไม่เติมปุ๋ย	170.89	150.21	156.22	153.22	15.50
	มูลค้างคาว	46.77	47.52	43.28	45.86	4.46
	มูลไก่	201.21	170.18	187.94	179.06	17.52
ขั้นที่ 4 รูปรีดิวซ์	ไม่เติมปุ๋ย	342.02	321.92	313.43	317.68	32.13
	มูลค้างคาว	50.20	50.22	55.16	51.86	5.05
	มูลไก่	309.74	277.38	317.80	313.77	30.71
ขั้นที่ 5 รูปออกซิไดส์	ไม่เติมปุ๋ย	36.56	40.23	49.36	42.05	4.25
	มูลค้างคาว	15.72	12.83	17.63	15.40	1.50
	มูลไก่	23.28	21.87	23.21	22.78	2.23
ขั้นที่ 6 รูปที่เหลือ	ไม่เติมปุ๋ย	153.27	33.52	-	33.52	3.39
	มูลค้างคาว	0.66	0.06	1.14	0.62	0.06
	มูลไก่	49.83	42.34	50.03	47.40	4.64

<u>การคำนวณ</u>

ขั้นที่ 1 รูปที่ละลายได้ ของดินที่ไม่เติมปุ๋ย

% แคดเมียม = 100 x ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียมในขั้นที่ 1 ของดินชุดไม่เติมปุ๋ย / ผลรวมค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียมของดินชุดไม่เติมปุ๋ย 6 ขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 100 x 12.23/988.75

= 1.24 %

ตารางที่ จ-2 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

ลำดับขั้น	ชนิดของปุ๋ย	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 1 รูปที่ละลายน้ำได้	ไม่เติมปุ๋ย	10.63	11.27	9.49	10.46	1.45
	มูลค้างคาว	ND	ND	ND	ND	ND
	มูลไก่	24.44	21.60	22.88	22.97	4.13
ขั้นที่ 2 รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ไม่เติมปุ๋ย	ND*	277.88	339.69	308.78	42.68
	มูลค้างคาว	44.87	47.15	45.44	45.82	29.20
	มูลไก่	61.17	63.29	62.28	32.24	11.19
ขั้นที่ 3 รูปที่ละลายได้ในกรด	ไม่เติมปุ๋ย	67.27*	96.11	97.86	96.98	13.40
	มูลค้างคาว	47.43	53.27	56.36	52.35	33.36
	มูลไก่	132.78	124.84	120.32	125.98	22.65
ขั้นที่ 4 รูปรีดิวซ์	ไม่เติมปุ๋ย	269.55	309.02	275.51	284.69	39.35
	มูลค้างคาว	50.50	52.10	56.19	52.93	33.73
	มูลไก่	282.39	280.71	9.87*	281.55	50.61
ขั้นที่ 5 รูปออกซิไดส์	ไม่เติมปุ๋ย	15.16	22.43	13.03	16.87	2.33
	มูลค้างคาว	ND	ND	ND	ND	ND
	มูลไก่	60.62	56.04	51.06	55.91	10.05
ขั้นที่ 6 รูปที่เหลือ	ไม่เติมปุ๋ย	5.88	5.02	6.29	5.73	0.79
	มูลค้างคาว	5.04	7.23	5.25	5.84	3.72
	มูลไก่	7.72	7.41	7.84	7.66	1.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-3 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์

ลำดับขั้น	อัตราส่วน	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 1 รูปที่ละลายน้ำได้	ไม่เติมปุ๋ย	16.42	22.92	22.38	20.57	2.53
	1 : 2	3.30	3.38	3.35	3.34	1.13
	1 : 1	2.39	2.22	2.71	2.44	1.58
	1.5 : 1	2.35	1.84	1.71	1.97	1.63
ขั้นที่ 2 รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ไม่เติมปุ๋ย	475.90	495.59	496.89	489.46	60.31
	1 : 2	104.40	107.72	104.52	105.55	35.81
	1 : 1	40.60	47.72	46.36	44.90	29.11
	1.5 : 1	31.61	30.98	30.09	30.89	25.62
ขั้นที่ 3 รูปที่ละลายได้ในกรด	ไม่เติมปุ๋ย	52.27	60.51	66.42	59.73	7.36
	1 : 2	93.41	102.68	93.74	96.61	32.78
	1 : 1	36.63	42.31	48.92	42.63	27.64
	1.5 : 1	34.59	38.60	35.76	36.32	30.12
ขั้นที่ 4 รูปรีดิวซ์	ไม่เติมปุ๋ย	214.33	239.38	210.91	221.54	27.30
	1 : 2	68.3	73.48	65.45	69.06	23.43
	1 : 1	40.12	40.11	50.31	43.51	28.21
	1.5 : 1	31.37	37.18	35.18	34.58	28.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้น	อัตราส่วน	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 5 รูปออกซิไดส์	ไม่เติมปุ๋ย	15.59	14.55	18.25	16.13	1.99
	1 : 2	6.79	7.01	7.59	7.13	2.42
	1 : 1	4.87	6.19	6.36	5.81	3.76
	1.5 : 1	5.23	4.69	6.19	5.37	4.45
ขั้นที่ 6 รูปที่เหลือ	ไม่เติมปุ๋ย	7.41	0.87	-	4.14	0.51
	1 : 2	15.06	10.80	13.33	13.06	4.43
	1 : 1	16.54	13.36	-	14.95	9.69
	1.5 : 1	12.79	11.51	10.11	11.47	9.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-4 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์

ลำดับขั้น	อัตราส่วน	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 1 รูปที่ละลายน้ำได้	ไม่เติมปุ๋ย	16.42	22.92	22.38	20.57	2.53
	1 : 2	19.82	22.25	17.78	19.95	3.36
	1 : 1	19.71	19.28	21.12	20.07	3.34
	1.5 : 1	26.46	23.33	24.63	24.80	5.38
ขั้นที่ 2 รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ไม่เติมปุ๋ย	475.90	495.59	496.89	489.46	60.31
	1 : 2	138.12	164.03	142.79	148.32	24.97
	1 : 1	164.97	166.11	183.39	171.49	28.53
	1.5 : 1	111.20	110.59	96.32	106.04	22.99
ขั้นที่ 3 รูปที่ละลายได้ในกรด	ไม่เติมปุ๋ย	52.27	60.51	66.42	59.73	7.36
	1 : 2	158.16	209.12	150.46	172.58	29.05
	1 : 1	147.68	137.26	133.57	139.50	23.21
	1.5 : 1	81.68	99.55	96.60	92.45	20.04
ขั้นที่ 4 รูปรีดิวซ์	ไม่เติมปุ๋ย	214.33	239.38	210.91	221.54	27.30
	1 : 2	188.94	254.91	199.81	214.55	36.12
	1 : 1	207.47	190.39	254.04	217.30	36.15
	1.5 : 1	127.41	183.21	202.88	171.17	37.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้น	อัตราส่วน	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 5 รูปออกซิไดส์	ไม่เติมปุ๋ย	15.59	14.55	18.25	16.13	1.99
	1 : 2	21.76	31.20	24.87	25.94	4.37
	1 : 1	38.76	35.34	50.62	41.57	6.92
	1.5 : 1	52.34	45.74	51.17	49.75	10.79
ขั้นที่ 6 รูปที่เหลือ	ไม่เติมปุ๋ย	7.41	0.87	-	4.14	0.51
	1 : 2	-	12.06	13.37	12.72	2.14
	1 : 1	12.68	-	9.55	11.11	1.85
	1.5 : 1	-	14.87	19.18	17.03	3.69

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ฉ-1 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์

ชนิดปุ๋ย	ตัวอย่างที่	ค่า pH	เฉลี่ย	SD
มูลไก่	1	7.26	7.253	0.01
	2	7.25		
	3	7.25		
มูลค้างคาว	1	7.27	7.257	0.01
	2	7.25		
	3	7.25		

ตารางที่ ฉ-2 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

ชนิดปุ๋ย	ตัวอย่างที่	ค่า pH	เฉลี่ย	SD
ไม่เติมปุ๋ย	1	6.33	6.40	0.06
	2	6.43		
	3	6.44		
มูลไก่	1	6.70	6.77	0.07
	2	6.77		
	3	6.84		
มูลค้างคาว	1	6.97	7.01	0.05
	2	7.00		
	3	7.07		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-3 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์

ชนิดของปุ๋ย	อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ค่า pH	เฉลี่ย	SD
มูลไก่	1 : 2	1	7.32	7.30	0.03
		2	7.27		
		3	7.30		
	1 : 1	1	7.36	7.38	0.02
		2	7.38		
		3	7.40		
	1.5 : 1	1	7.44	7.43	0.05
		2	7.38		
		3	7.47		
	2 : 1	1	7.45	7.53	0.08
		2	7.54		
		3	7.60		
มูลค้างคาว	1 : 2	1	6.94	7.04	0.10
		2	7.14		
		3	7.04		
	1 : 1	1	7.09	7.09	0.01
		2	7.10		
		3	7.09		
	1.5 : 1	1	7.18	7.17	0.01
		2	7.16		
		3	7.17		
	2 : 1	1	7.62	7.64	0.02
		2	7.65		
		3	7.65		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ฉ-4 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์

ชนิดของปุ๋ย	อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	pH	เฉลี่ย	SD
ดิน (control)	-	1	6.61	6.56	0.08
		2	6.60		
		3	6.47		
มูลไก่	1 : 2	1	7.34	7.27	0.08
		2	7.28		
		3	7.19		
	1 : 1	1	7.41	7.48	0.06
		2	7.50		
		3	7.52		
	1.5 : 1	1	7.24	7.31	0.06
		2	7.34		
		3	7.35		
	2 : 1	1	7.28	7.23	0.05
		2	7.19		
		3	7.21		
มูลค้างคาว	1 : 2	1	7.23	7.28	0.05
		2	7.33		
		3	7.27		
	1 : 1	1	7.27	7.43	0.14
		2	7.47		
		3	7.54		
	1.5 : 1	1	7.51	7.56	0.05
		2	7.59		
		3	7.59		
	2 : 1	1	7.13	7.12	0.01
		2	7.11		
		3	7.13		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

ตารางที่ ช-1 ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในการหาชนิด ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์

ชนิดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่	น้ำหนักดิน	ค่า Abs	ค่าความเข้มข้น	dilute	[P] ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช µg/kg	เฉลี่ย µg P / kg	SD
มูลไก่	1	1.0154	0.216	5.822	50	0.17	0.16	0.01
	2	1.0261	0.209	5.633	50	0.16		
	3	1.0299	0.206	5.553	50	0.16		
มูลค้างคาว	1	1.0282	0.061	1.644	20	0.02	0.04	0.02
	2	1.0047	0.193	5.202	20	0.06		
	3	1.0047	0.174	4.690	20	0.05		

y=0.0371x เป็นสมการ calibration cure

ตารางที่ ช-2 ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในการหาชนิด ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

ชนิดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่	น้ำหนักดิน	ค่า Abs	ค่าความเข้มข้น	dilute	[P] ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช µg/kg	เฉลี่ย µg P / kg	SD
มูลไก่	1	1.0121	0.214	28.6714	50	0.03	0.03	0.0001
	2	1.0174	0.236	28.8215	50	0.03		
	3	1.0107	0.223	28.6317	50	0.03		
มูลค้างคาว	1	1.0048	0.024	28.4646	20	0.03	0.03	0.00003
	2	1.0052	0.017	28.4759	20	0.03		
	3	1.0034	0.017	28.4249	20	0.03		

y=0.0353x เป็นสมการ calibration cure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-3 ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ (y=0.0353x เป็นสมการ calibration cure)

ชนิดของปุ๋ย	อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักดิน	dilute	ค่า Abs	ค่าความเข้มข้น	[P] ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช µg/kg	เฉลี่ย µg P / kg	SD
มูลไก่	1:2	1	1.0030	50	0.135	3.824	0.112	0.107	0.004
		2	1.0050	50	0.128	3.626	0.106		
		3	1.0075	50	0.125	3.541	0.103		
	1:1	1	1.0068	50	0.226	6.402	0.187	0.185	0.032
		2	1.0066	50	0.185	5.241	0.153		
		3	1.0018	50	0.260	7.365	0.216		
	1.5:1	1	1.0028	50	0.252	7.139	0.209	0.216	0.026
		2	1.0014	50	0.294	8.329	0.245		
		3	1.0020	50	0.233	6.601	0.194		
	2:1	1	1.0031	50	0.381	10.793	0.316	0.257	0.055
		2	1.0083	50	0.300	8.499	0.248		
		3	1.0042	50	0.249	7.054	0.207		
มูลค้างคาว	1:2	1	1.0011	20	0.143	4.051	0.048	0.044	0.003
		2	1.0094	20	0.127	3.598	0.042		
		3	1.0032	20	0.132	3.739	0.044		
	1:1	1	1.0018	20	0.117	3.314	0.039	0.046	0.006
		2	1.0027	20	0.147	4.164	0.049		
		3	1.0056	20	0.153	4.334	0.051		
	1.5:1	1	1.0078	20	0.187	5.297	0.062	0.054	0.008
		2	1.0034	20	0.138	3.909	0.046		
		3	1.0041	20	0.162	4.589	0.054		
	2:1	1	1.0074	20	0.140	3.966	0.046	0.051	0.008
		2	1.0043	20	0.182	5.156	0.060		
		3	1.0081	20	0.142	4.023	0.047		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-4 ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์

ชนิดของปุ๋ย	อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักดิน	dilute	Abs	ค่าความเข้มข้น	[P] ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช µg/kg	เฉลี่ย µg P / kg	SD
ไม่เติมปุ๋ย	-	1	1.0067	1	0.037	0.9069	0.001	0.001	0.00
		2	1.0003	1	-0.010	-0.2451	0.000		
		3	1.0005	1	-0.033	-0.8088	0.000		
มูลไก่	1 : 2	1	1.0027	50	0.056	1.3725	0.040	0.042	0.01
		2	1.0013	50	0.077	1.8873	0.055		
		3	1.0012	50	0.043	1.0539	0.031		
	1 : 1	1	1.0019	50	0.063	1.5441	0.045	0.057	0.03
		2	1.006	50	0.042	1.0294	0.030		
		3	1.0035	50	0.131	3.2108	0.094		
	1.5 : 1	1	1.0026	50	0.162	3.9706	0.116	0.090	0.02
		2	1.0012	50	0.117	2.8676	0.084		
		3	1.0036	50	0.098	2.4020	0.070		
	2 : 1	1	1.0015	50	0.123	3.0147	0.089	0.100	0.02
		2	1.0028	50	0.120	2.9412	0.086		
		3	1.0015	50	0.172	4.2157	0.124		
มูลค้างคาว	1 : 2	1	1.0013	20	0.124	3.0392	0.036	0.029	0.01
		2	1.0079	20	0.095	2.3284	0.027		
		3	1.0113	20	0.080	1.9608	0.023		
	1 : 1	1	1.007	20	0.109	2.6716	0.031	0.031	0.00
		2	1.0109	20	0.106	2.5980	0.030		
		3	1.0084	20	0.114	2.7941	0.033		
	1.5 : 1	1	1.0068	20	0.100	2.4510	0.029	0.037	0.01
		2	1.0067	20	0.133	3.2598	0.038		
		3	1.0062	20	0.157	3.8480	0.045		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของปุ๋ย	อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักดิน	dilute	Abs	ค่าความเข้มข้น	[P] ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช µg/kg	เฉลี่ย µg P / kg	SD
มูลค้างคาว	2 : 1	1	1.0144	20	0.084	2.188	0.025	0.027	0.005
		2	1.0036	20	0.105	2.734	0.032		
		3	1.0057	20	0.076	1.979	0.023		

y=0.0408x เป็นสมการcalibration curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

นักศึกษา นางสาววรวดี ฐานะวิจิตร
นางสาวศศิธันว์ เยี่ยมแสง
นางสาวสุกัญญา อรุณรุ่งรัตน์

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปแบบต่าง ๆ ของแคดเมียมที่พบในดินทั้งก่อนและหลังปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดลำดับขั้น ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินใกล้ที่ห้วยแม่ตาว อ.แม่สอด จ.ตาก โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิด เป็นตัวปรับเสถียร ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้าวคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างที่ใช้เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ค่าพีเอช 6.72±0.06 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 54.20±1.04 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำหนักดินแห้ง 100 กรัม ความชื้น 3.00±0.03% ปริมาณอินทรียวัตถุ 2.71±0.05% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 3.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง และความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 9.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง เนื่องจากดินที่เก็บรวบรวมมีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและแหล่งเกษตรกรรม ดังนั้นจึงทำการเติมแคดเมียมลงในดินให้มีระดับความเข้มข้นของแคดเมียมประมาณ 800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง

จากการเปรียบเทียบชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ใช้ในการปรับเสถียร พบว่าประสิทธิภาพในการปรับเสถียรของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีประสิทธิภาพดีกว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ในการศึกษาผลของปริมาณที่ใช้ในการปรับเสถียรพบว่า สัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียม คือ 1.5:1 และระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมคือ 1 สัปดาห์โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวเป็นตัวปรับเสถียร นอกจากนี้รูปแบบต่าง ๆ ของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรมีแนวโน้มที่อยู่ในรูปที่เสถียรมากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย

คำสำคัญ : การปรับเสถียร การสกัดลำดับขั้น แคดเมียม ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Stabilization of Cadmium Contaminated Soils using Organic Fertilizer

Name Worawadee Thanawijit

Sasithun Yiamsang

Sukanya Arunrungrat

Department Chemistry

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2006

Special Project Advisor Asst.Prof.Dr. Usarat Thawornchaiyasit

Abstract

This special project studied the efficiency of organic fertilizers to stabilize cadmium in contaminated soil and various forms of cadmium in soil before and after stabilization process using sequential extraction techniques. Soil using in this study was collected from contaminated area near Mae Tao creek, Maesod districted, and Tak province. Two organic fertilizers being tested were bat manure and chicken manure. From physical and chemical characterization of soil sample, it was found that soil using in this study was sandy clay loam texture with pH of 6.72±0.06, Cation Exchange Capacity of 54.20±1.04 meq/100 g dry soil, moisture content of 3.00±0.03 % Organic matter of 2.71±0.05%, available phosphorus of 3.88 mg/kg dry soil and total cadmium concentration of 9.57 mg/kg dry soil. Since total cadmium concentration was below standard for living and agricultural purpose, soil samples were then spiked cadmium so its total concentration in soil samples was about 800 mg/kg.

Comparison among two type of organic fertilizers, it was found that cadmium stabilization efficiency using bat manure as stabilizer was greater than stabilization efficiency using chicken manure. On the study on the effect of quantity of fertilization on cadmium stabilization efficiency, the result showed that an optimum ratio of organic fertilizer to cadmium was 1.5:1. The optimum contact time was 1 week using bat manure as stabilizer, respectively. In addition, cadmium forms found in contaminated soil was in stabilized froms after stabilization compared to a control sample without organic fertilizer.

Keywords : Stabilization, Sequential Extraction, Cadmium, Organic fertilizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดีด้วยคำแนะนำของอาจารย์ผู้ควบคุมโครงงานพิเศษ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ผู้จัดทำโครงงานพิเศษรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่าง ๆ ในโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ และนักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเคมีและภาคชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจในการทำโครงงานพิเศษจนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา บุคคลในครอบครัวและเพื่อน ๆ เป็นอย่างสูงที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจอย่างดีมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

วรวดี ฐานะวิจิตร
ศศิธันว์ เยี่ยมแสง
สุกัญญา อรุณรุ่งรัตน์
15 มีนาคม 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฌ
คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ชนิดและองค์ประกอบของดิน	5
2.2 สมบัติของดิน	6
2.3 มลพิษทางดิน	11
2.4 การปรับเสถียร	12
2.5 โลหะหนักแคดเมียม	14
2.6 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น	18
2.7 ปุ๋ยอินทรีย์	19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	27
3.2 การเก็บตัวอย่างดิน	29
3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4 การศึกษาสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	31
3.5 การศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	31
3.6 การศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	31
3.7 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	32
3.8 การศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินภายหลังการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential Extraction)	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง	34
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	34
4.2 ศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	36
4.3 ศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร	42
4.4 ผลของระยะเวลาในการสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการทดลอง	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	65
ภาคผนวก ค	68
ภาคผนวก ง	73
ภาคผนวก จ	79
ภาคผนวก ฉ	85
ภาคผนวก ช	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 อัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นปกติ	9
ตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ	24
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง	30
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยตัวอย่าง	31
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	34
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน (หลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน)	35
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	36
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ อัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:1	42
ตารางที่ 4.5 การศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินระยะเวลา 3 สัปดาห์	47
ตารางที่ 4.6 การศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่สัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:1	49
ตารางที่ ค-1 พีเอชของดินตัวอย่าง	68
ตารางที่ ค-2 การวิเคราะห์ความเป็นกรดของดินตัวอย่าง	68
ตารางที่ ค-3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินตัวอย่าง	68
ตารางที่ ค-4 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินตัวอย่าง	69
ตารางที่ ค-5 การกระจายตัวของอนุภาค	69
ตารางที่ ค-6 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินตัวอย่าง	70
ตารางที่ ค-7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินตัวอย่าง	70
ตารางที่ ค-8 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของดินตัวอย่างหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม	70
ตารางที่ ค-9 ปริมาณแคดเมียมชะละลายของดินตัวอย่างหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม	71
ตารางที่ ค-10 ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	71
ตารางที่ ค-11 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียม 73
ในดินโดยใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:1 ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์
ตารางที่ ง-2 ข้อมูลการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียม 74
ในดินโดยใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:1 ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์
ตารางที่ ง-3 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร 75
แคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์
ตารางที่ ง-4 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร 76
แคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์
ตารางที่ ง-5 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร 77
แคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์
ตารางที่ ง-6 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร 78
แคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์
ตารางที่ จ-1 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ 79
อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์
ตารางที่ จ-2 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ 80
อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์
ตารางที่ จ-3 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์ 81
อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา
3 สัปดาห์
ตารางที่ จ-4 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์ 83
อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา
3 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ฉ-1 การศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ 85

ตารางที่ ฉ-2 การศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ 85

ตารางที่ ฉ-3 การศึกษาค่าพีเอชในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ 86

ตารางที่ ฉ-4 การศึกษาค่าพีเอชในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์ 87

ตารางที่ ช-1 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในการหาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ 88

ตารางที่ ช-2 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในการหาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ 88

ตารางที่ ช-3 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ 89

ตารางที่ ช-4 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์ 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 พื้นที่การเก็บตัวอย่าง 29

รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธี Equal interval on diagonal lines 29

รูปที่ 3.3 แผนภาพวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น 33

รูปที่ 4.1 ปริมาณแคดเมียมชะละลายในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ โดย ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย 37

รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย 38

รูปที่ 4.3 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์ 40

รูปที่ 4.4 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ 41

รูปที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมชะละลายในดินตัวอย่างที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเป็นตัวปรับเสถียร ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยมูลอัดเม็ดมูลไก่ 43

รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระยะเวลา สัมผัส 3 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอัดเม็ดมูลไก่ ในสัดส่วนโมล ฟอสเฟตต่อแคดเมียมที่แตกต่างกัน 44

รูปที่ 4.7 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่ ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ 45

รูปที่ 4.8 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่ระยะ เวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ 46

รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 2 และ 4 สัปดาห์ เมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์ อัดเม็ดมูลค้างคาวและมูลไก่ เป็นตัวปรับเสถียร ที่อัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโดย โมลแคดเมียม เท่ากับ 1:1 48

รูปที่ ข-1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสของดิน 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้

มล.	มิลลิลิตร
มก./กก	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
Abs	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
kg/cm^3	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
meq/g	มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
mg P/kg	มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม
mmol/kg	มิลลิโมลต่อกิโลกรัม
ND	ไม่สามารถอ่านค่าได้ (No detect)
ppm	หนึ่งส่วนในล้านส่วน (part per million)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

การขยายตัวของอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมต่อเรือ อุตสาหกรรมชุบโลหะและเหล็กกล้ากันสนิม อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ (ถ่านนิกเกิลแคดเมียม) อุตสาหกรรมพีวีซี เม็ดพลาสติก อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อาจทำให้เกิดปัญหามลพิษทางดินจากการปนเปื้อนของโลหะหนักตามมา หากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมไม่ได้มีการจัดการอย่างถูกวิธี ปัญหาหนึ่งในประเทศไทยคือปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในดินที่กำลังเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจคือ การปนเปื้อนของสารแคดเมียมในดินบริเวณห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งสันนิษฐานว่าแหล่งที่มาของแคดเมียมน่าจะเกิดจากการที่ฝนตกชะหน้าดินที่อุดมด้วยแร่สังกะสีและแคดเมียม ลงสู่ต้นน้ำของลำน้ำธรรมชาติ ซึ่งก็คือห้วยแม่ตาวในกรณีนี้ ทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในตะกอนท้องน้ำ เมื่อปล่อยน้ำเข้าสู่แปลงเกษตร ทำให้เกิดการแพร่กระจายของแคดเมียมในดินต่อ ๆ ไป กรมควบคุมมลพิษได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างจุดเก็บตัวอย่างบริเวณต้นน้ำที่ไม่ผ่านกิจกรรมการทำเหมืองแร่และท้ายน้ำเมื่อผ่านกิจกรรมเหมืองแร่ พบว่าจุดต้นน้ำมีการสะสมของสารแคดเมียมในตะกอนดินน้อยมาก แต่เมื่อลำน้ำไหลผ่านพื้นที่กิจกรรมการทำเหมืองแร่จะตรวจพบปริมาณสารแคดเมียมในดินตะกอนสูงขึ้นถึง 44-326 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงต่อเนื่องตลอดลำห้วยที่ทำการศึกษา เมื่อน้ำดังกล่าวได้ถูกผันมาใช้เพื่อการเกษตรในพื้นที่ลุ่มด้านล่าง จึงทำให้เกิดปัญหาการตกค้างของแคดเมียมในแปลงเกษตร ซึ่งสามารถถูกดูดซับในดินต่อไป สถาบันจัดการคุณภาพน้ำ-อิวมี่ ร่วมกับกรมวิชาการเกษตรได้ทำการตรวจวัดระดับสารแคดเมียมในดินและข้าวในแปลงนา บริเวณ อำเภอ แม่สอด จังหวัด ตาก พบว่า แปลงนาที่อยู่ใกล้บริเวณแหล่งแร่สังกะสีมีปริมาณสูงสุด และมีปริมาณแคดเมียมลดลงตามระยะทางที่ห่างออกไป โดยมีปริมาณสารแคดเมียมในดินสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย และแหล่งเกษตรกรรม ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าที่พบอยู่ในช่วง 70-150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัมมนา กลุ่มแคดเมียม แม่ตาว จ.ตาก, 2549) ด้วยเหตุนี้ภาครัฐจึงเร่งดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักอย่างเร่งด่วน เพื่อให้ดินมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก

เทคโนโลยีการบำบัดและฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ การขุดดิน 30 เซนติเมตร ที่มีปัญหาปนเปื้อนแคดเมียม และนำดินจากที่อื่นมากลบหน้าดินไปก่อน หรือ การใช้ไฟฟ้าเพื่อทำให้แคดเมียมในดินเกิดสภาวะเสถียรไม่แตกตัว จนทำให้เกิดการแพร่กระจายได้ แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดเป็นวิธีที่ใช้งบประมาณค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง การปรับเสถียรเป็นเทคโนโลยีการบำบัดและฟื้นฟูดินที่น่าสนใจเพื่อลดการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก โดยการเปลี่ยนรูปของโลหะที่ชะละลายได้ง่ายที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ให้อยู่ในรูปของแข็งที่มีความเสถียรมากขึ้น ทำให้ลดการปนเปื้อนของโลหะหนักไปสู่ตัวกลางอื่น ๆ วิธีการนี้จัดว่าเป็นวิธีที่สะดวก มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำและประหยัดพลังงาน จากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการนำปุ๋ยเคมีฟอสเฟตมาใช้ในการปรับเสถียรแคดเมียมที่มีปนเปื้อนในดินตัวอย่างจาก อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ผลการทดลองพบว่าปุ๋ยเคมี-ทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต ให้ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรดีที่สุดโดยใช้อัตราส่วนโมลของฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียม คือ 1:1 ที่เวลา 3 สัปดาห์ ประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 66.83±1.06 (พิชชาภา และคณะ 2548) ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการใช้ปุ๋ยเคมีคือ จะทำให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนไปเมื่อใช้ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ประกอบกับข้อมูลเกี่ยวกับการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบมีอยู่ค่อนข้างจำกัด นอกจากนี้ แนวโน้มในการบริโภคสินค้าที่เป็นสินค้าเกษตรอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น โครงงานพิเศษนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความสามารถของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด คือ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ รวมทั้งศึกษากลไก/รูปแบบของการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction)

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน ด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

3. ศึกษาสัดส่วนของแคดเมียมในรูปแบบต่าง ๆ ที่อยู่ในดินภายหลังการปรับเสถียร ด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างดิน โดยนำดินตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาจากอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มาทำการตากให้แห้ง จากนั้นนำดินไปบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร และทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตัวอย่าง ได้แก่ ค่าพีเอช ความเป็นกรดของดิน ความสามารถในการจุแลกเปลี่ยนประจุบวก ความชื้น ลักษณะเนื้อดิน องค์ประกอบของดิน ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทรียวัตถุในดิน ความหนาแน่นรวมของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ปริมาณของแคดเมียมทั้งหมดและปริมาณแคดเมียมชะละลาย

2. ศึกษาสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

3. ศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วย ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ซึ่งใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1.0 และใช้ระยะเวลาสัมผัสในการปรับเสถียรนาน 2 และ 4 สัปดาห์ จากนั้นทำการวิเคราะห์การชะละลายของแคดเมียมในดินภายหลังปรับเสถียรด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) รวมทั้งศึกษารูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction)

4. ศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร ทำได้โดยการเติมปุ๋ยแต่ละชนิดให้มีค่าอัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1:2, 1:1 และ 1.5:1 ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาในการสัมผัสนาน 3 สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์การชะละลายของแคดเมียมในดินหลังปรับเสถียรด้วยวิธี WET รวมทั้งศึกษารูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยการสกัดแบบลำดับขั้น

5. ศึกษาระยะเวลาในการสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1:2, 1:1 และ 1.5:1 ตามลำดับ โดยแปรค่าระยะเวลาสัมผัสเป็น 1, 2 และ 4 สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์การชะละลายของแคดเมียมในดินหลังปรับเสถียรด้วยวิธี WET และรูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยการสกัดแบบลำดับขั้น

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมาใช้ในการปรับเสถียรโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน และทราบถึงสัดส่วนของแคดเมียมรูปแบบต่าง ๆ ในดินภายหลังจากการปรับเสถียร

2. ทราบปัจจัยที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดและส่วนประกอบของดิน

ดิน หมายถึง วัตถุทางธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลก เกิดจากการแปลงสภาพหรือสลายตัวของหิน แร่ธาตุและอินทรียวัตถุผสมคลุกเคล้ากันตามธรรมชาติรวมตัวกันเป็นชั้นบาง ๆ เมื่อมีน้ำและอากาศที่เหมาะสมก็จะทำให้พืชเจริญเติบโตและยังชีพอยู่ได้ (สุธิลา และคณะ, 2544)

ชนิดของดินสามารถจำแนกตามลักษณะของเนื้อดินออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

1. ดินเหนียว คือ ดินที่มีเนื้อละเอียดที่สุด ยึดหยุ่นเมื่อเปียกน้ำ เหนียวติดมือ ปั้นเป็นก้อนหรือคลึงเป็นเส้นยาวได้ พังทลายได้ยาก อุ้มน้ำได้ดี จับยึดและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้ค่อนข้างสูงจึงมีธาตุอาหารอยู่มากเหมาะที่จะใช้ปลูกข้าวนาดำเพราะเก็บน้ำได้นาน

2. ดินทราย เป็นดินที่เกาะตัวกันไม่แน่น ระบายน้ำและอากาศได้ดีมาก อุ้มน้ำได้น้อย พังทลายง่าย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเพราะความสามารถในการจับยึดธาตุอาหารมีน้อย พืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณดินทรายจึงขาดน้ำและธาตุอาหารได้ง่าย

3. ดินร่วน คือ ดินที่มีเนื้อค่อนข้างละเอียด นุ่มมือ ยึดหยุ่นพอควร ระบายน้ำได้ดีปานกลาง มีแร่ธาตุอาหารพืชมากกว่าดินทรายเหมาะสำหรับใช้ในการเพาะปลูก ดินร่วนที่แท้จริงมักไม่ค่อยพบในธรรมชาติ แต่จะพบเนื้อดินที่มีลักษณะใกล้เคียงเสียเป็นส่วนมาก

ส่วนประกอบของดินสามารถจำแนกได้เป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. อนินทรียวัตถุหรือแร่ธาตุ เป็นส่วนที่สลายตัวมาจากวัตถุให้กำเนิดดิน เช่น หินหรือแร่ โดยทั่วไปจะพบในดินในสัดส่วนประมาณครึ่งหนึ่งของเนื้อดินทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2. อินทรียวัตถุ เป็นส่วนที่มีหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของธาตุอาหารของพืชที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของซากพืชและสัตว์ที่ทับถมกันอยู่บนดิน โดยจุลินทรีย์ อินทรียวัตถุที่ย่อยสลายแล้วและอยู่ในสภาพที่เหมาะสมเรียกว่า ฮิวมัส (humus) อินทรียวัตถุเป็นส่วนประกอบที่บอกตัวความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะนอกจากเป็นสารอาหารของพืชแล้ว ยังทำให้เกิดสภาพกรดอ่อนที่เหมาะสมต่อการละลายของแร่ธาตุในดินที่เป็นธาตุอาหารสำหรับพืชอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการรักษาความชื้นไว้ในดิน (สุธิลา และคณะ, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. น้ำ เป็นส่วนประกอบที่พบอยู่รอบ ๆ อนุภาคดินและในช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน (pore space) น้ำในดินมีความสำคัญคือ เป็นแหล่งน้ำสำหรับพืชและจุลินทรีย์ในดิน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินซึ่งช่วยให้พืชสามารถนำไปใช้ได้

4. อากาศ ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และออกซิเจน ซึ่งจะแทรกอยู่ตามที่ว่างในดินระหว่างอนุภาคดิน ก๊าซแต่ละชนิดมีความสำคัญต่างกันไป ดังนี้คือ ออกซิเจนเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในการหายใจของพืชและจุลินทรีย์ ก๊าซไนโตรเจนในอากาศจะถูกเปลี่ยนเป็นเกลือไนเตรทซึ่งเป็นธาตุอาหารพืชโดยแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixing bacteria) เช่น แบคทีเรียในสกุล Rhizobium ที่อาศัยอยู่ในปมรากพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น (สุธิลา และคณะ, 2544)

สัดส่วนดินที่ถือว่ามีส่วนประกอบที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกพืช โดยทั่วไปมักจะมีส่วนประกอบ ประกอบด้วยอนินทรีย์ร้อยละ 45 อินทรีย์สารร้อยละ 5 อากาศร้อยละ 25 และน้ำร้อยละ 25 (สุธิลา และคณะ, 2544, คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2.2 สมบัติของดิน (ศุภมาศ, 2538)

2.2.1 สมบัติทางกายภาพ

1.พื้นที่ผิวจำเพาะ

เนื้อดินสามารถบอกถึงปริมาณคอลลอยด์อนินทรีย์อย่างหยาบได้ ทั้งนี้เพราะอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากอีกทั้งอยู่ในสภาพคอลลอยด์จึงทำให้มีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักเป็นปริมาณมาก ดินที่มีลักษณะเป็นเนื้อละเอียดจะมีพื้นที่ผิวสูงขึ้น การเพิ่มพื้นที่ผิวให้สูงขึ้นในดินเนื้อหยาบก็สามารถทำได้ โดยการเติมคอลลอยด์อินทรีย์ลงไป ซึ่งได้แก่ ฮิวมัส การเพิ่มขึ้นอินทรียวัตถุให้แก่ดิน เมื่อสลายตัวก็จะให้ฮิวมัสแก่ดิน

2. ความพรุนของดิน (soil porosity)

เนื้อดินหยาบจะมีช่อง (pore) ขนาดใหญ่อยู่มาก แต่ละมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เมื่อดินแห้งลงจะอุ้มน้ำได้น้อยทำให้ก๊าซถ่ายเทได้ดี ส่วนในดินที่มีปริมาณซิลท์สูง เมื่อฝนตกหรือระหว่างรดน้ำจะสูญเสียโครงสร้างดินได้ง่ายซิลท์จะไหลลงอุดตันช่องทำให้ผิวหน้าดินปิด ดังนั้นแม้การรดน้ำเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้ช่องบนผิวหน้าผิวดินปิด ทำให้น้ำและก๊าซถ่ายเทได้น้อยลง โดยทั่วไปแล้วช่องขนาดเล็ก (micropore) ในดิน ก็ยังมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน คือ เนื้อดินละเอียดจะมีช่องขนาดเล็กมากกว่าดินเนื้อหยาบ ซึ่งช่องขนาดเล็กจะสามารถดูดซึมน้ำเอาไว้ได้ ทำให้ดินเนื้อละเอียดมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ (available water capacity-AWC) มากกว่าดินเนื้อหยาบ ส่วนของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีความสำคัญต่อพืช และจุลินทรีย์ในดินเช่นกัน โดยเฉพาะอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งเมื่อใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งวัสดุเหลือใช้ และต้องการให้ระบบดิน-พืช เป็นตัวการกำจัดสารมลพิษและวัสดุเหลือใช้ดังกล่าว

3. การดูดซับ (adsorption) และการดูดซึม (absorption)

การดูดซึมที่สำคัญในดินคือ การดูดซึมน้ำ น้ำจะถูกดินดูดไว้ในช่องระหว่างอนุภาคดินช่องในดินไม่อาจดูดซึมน้ำไว้ได้ทั้งหมด ทั้งนี้เพราะแรงดูดซึมต้องเอาชนะอิทธิพลแรงดึงดูดของโลกให้ได้ แรงดูดซึมนี้มีความสัมพันธ์โดยแปรผกผันกับขนาดของช่อง ยิ่งช่องมีขนาดเล็กแรงดูดซึมก็ยิ่งมาก ดังนั้นปริมาณน้ำที่ดูดซึมไว้จึงมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคของดิน ดินที่มีอนุภาคดินเหนียวในปริมาณมาก (เนื้อดินละเอียด) จะดูดซึมน้ำได้มาก ปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่สูงก็จะอุ้มน้ำไว้ได้มาก

4. อินทรียวัตถุในดิน (คมสรร, 2547)

เนื่องจากอินทรียวัตถุมีอิทธิพลหรือมีผลกระทบต่อสมบัติต่างๆของดินได้กล่าวถึงความสำคัญของอินทรียวัตถุในดินที่มีอิทธิพลต่อสมบัติต่างๆ ของดินไว้ดังนี้

4.1 อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของดิน(Influence of Organic Matter on Physical Properties of Soils)

อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของดินที่เห็นได้ชัดคือสีของดิน ดินที่มีอินทรียวัตถุอยู่ในปริมาณสูงจะมีสีเข้ม อาจจะมีสีน้ำตาลไปจนถึงสีดำ ยกเว้นในกรณีที่ดินมีปริมาณแมงกานีสอยู่สูงมากก็อาจทำให้ดินมีสีดำได้เหมือนกัน โดยทั่วไปแล้ว ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำจะมีสีจาง

การจับตัวกันเป็นก้อนของอนุภาคดิน ต้องอาศัยอินทรียวัตถุเข้ามามีส่วนช่วยอย่างมาก โดยเฉพาะดินที่มีลักษณะเป็นทราย ทั้งนี้อินทรียวัตถุจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างอนุภาคของดินให้จับตัวกันเป็นเม็ดดิน ในทำนองเดียวกันดินเหนียวที่อนุภาคดินจับตัวกันแน่นทึบ อินทรียวัตถุก็จะช่วยให้ดินจับตัวกันเป็นก้อนแยกออกจากกันได้บ้าง ทำให้ดินร่วนขึ้น ดังนั้นอินทรียวัตถุจึงมีส่วนช่วยทำให้ดินมีสมบัติทางกายภาพเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าดินจะมีลักษณะเป็นทรายหรือมีสภาพเป็นดินเหนียวก็ตาม

นอกจากนี้อินทรียวัตถุช่วยให้ดินเหนียวมีการระบายน้ำดีขึ้น เนื่องจากอินทรียวัตถุช่วยทำให้ดินเหนียวจับตัวกันเป็นก้อนได้ดี จึงทำให้มีช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างก้อนดินเพิ่มขึ้น เมื่อมีน้ำอยู่ในดินปริมาณที่เกินกว่าความสามารถของดินจะดูดซับไว้ได้แล้ว มันจะไหลลงไปสู่ดินชั้นล่าง หรือระเหยไปจากดินโดยผ่านทางช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินได้ง่าย ในทางตรงข้ามอินทรียวัตถุก็ยังช่วยให้ดินทรายหรือดินที่มีเนื้อหยาบอุ้มน้ำได้ดีขึ้น เพราะสมบัติทางกายภาพของอินทรียวัตถุมีลักษณะมีช่องว่างมาก และมีความพรุนสูง จึงดูดซับน้ำไว้ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อสมบัติทางเคมีของดิน(Influence of Organic Matter on chemical Properties of Soils)

อินทรียวัตถุมีอิทธิพลต่อสมบัติทางเคมีของดินทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม สำหรับอิทธิพลโดยทางตรงก็คือ อินทรียวัตถุเป็นอินทรีย์สารชนิดหนึ่ง ขณะที่สลายตัวในดินได้ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาหลายชนิด ซึ่งก็เป็นจำพวกกรดอ่อนเสียส่วนมาก จนกระทั่งเหลือส่วนที่มีความเสถียรมากที่สุด ที่เรียกกันว่า ฮิวมัส (Humus) ด้วยเหตุนี้อินทรียวัตถุจึงช่วยให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ได้เป็นอย่างดี อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อสมบัติทางเคมีที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้สูงกว่าสารคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อนโดยเฉพาะสารฮิวมัสย่อมจะมีประจุลบและประจุบวกอยู่มากมายจึงสามารถแลกเปลี่ยนประจุตรงข้ามได้มาก

ส่วนอิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อดินโดยทางอ้อม เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน อันเป็นองค์ประกอบสำคัญของสารอินทรีย์ส่วนมาก นอกจากนี้ยังมีธาตุคาร์บอนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานอันสำคัญของ จุลินทรีย์ในดิน

4.3 อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อชีวภาพของดิน

จุลินทรีย์ในดินหลายชนิด โดยเฉพาะพวก Heterotrophic ซึ่งอาศัยพลังงานและธาตุคาร์บอนจากอินทรียวัตถุโดยตรง มีอยู่ส่วนน้อยที่อาศัยพลังงานจากกระบวนการ Oxidation ของส่วนที่เป็นแร่ธาตุต่างๆ ในดิน นอกจากนี้อินทรียวัตถุยังเป็นแหล่งให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์แก่จุลินทรีย์ในดินก็สูงตามไปด้วย เพราะมีแหล่งอาหารและพลังงานในปริมาณที่เพียงพอ

4.4 อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ความอุดมสมบูรณ์ของดินขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และธาตุอาหารพืชหลายชนิดที่ขึ้นอยู่กับปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจน เนื่องจากธาตุไนโตรเจนไม่พบว่าเป็นองค์ประกอบอยู่ในแร่ปฐมภูมิชนิดใดเลย แต่บางส่วนที่ถูกตรึงไว้กับแร่ดินเหนียวในรูป NH_4^+ อยู่บ้าง ซึ่งก็ถือว่าเป็นจำนวนน้อยไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในดินในรูปของสารอินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ปริมาณของอินทรียวัตถุอย่างเดียวจะมีมากกว่า ธาตุไนโตรเจน ประมาณ 20 เท่า หรือ อาจจะกล่าวได้ว่าอัตราส่วนของปริมาณอินทรียวัตถุต่อปริมาณไนโตรเจนในดินเท่ากับ 20:1

อินทรียวัตถุมีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินเกี่ยวกับธาตุอาหารพืชชนิดอื่นๆ ที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่สำคัญก็คือ ฟอสฟอรัสและกำมะถัน นอกจากนี้ยังมี K^+, Ca^{2+} และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mg^{2+} อีกด้วย นอกเหนือจากอิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารในดินโดยตรงแล้วยังมีอิทธิพลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดความเป็นด่าง และความเป็นเกลือในดินได้เช่นเดียวกัน

4.5 อิทธิพลของดินอินทรียวัตถุที่มีต่อกยัยการของดิน

อินทรียวัตถุในดินช่วยทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้นและทำให้โครงสร้างมีความคงทน ถ้าอยู่บริเวณหน้าดินจะป้องกันผิวหน้าของดินไม่ให้จับตัวกันเป็นแผ่น และป้องกันไม่ให้จับตัวกันแน่นทึบ ทำให้การซึมซาบของน้ำลงไปในดินเพิ่มมากขึ้น เป็นการลดการไหลบ่าของน้ำไปตามผิวดิน จึงลดกยัยการของดินได้ในที่สุด ด้วยเหตุนี้ดินที่มีอินทรียวัตถุในปริมาณสูง ย่อมเกิดกยัยการของดินได้น้อยลง

5. สภาพความชื้นดินและการเคลื่อนย้ายของน้ำ (ศุภมาศ, 2538)

ความแตกต่างในด้านความสามารถอุ้มน้ำของดินเป็นผลมาจากความแตกต่างของเนื้อดิน ดังนั้นเนื้อดินจึงเป็นปัจจัยควบคุมระดับการชะละลาย (Leaching) ของดินและการแทรกซึม (Infiltration) ลงของน้ำจากบนดินเข้าสู่ผิวดิน ในตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นอัตราการแทรกซึมลงของน้ำ และความสามารถอุ้มน้ำของดินที่สภาพความจุที่ความชื้นปกติ ในประเภทเนื้อดินต่าง ๆ ซึ่งทั้งอัตราการแทรกซึมลงของน้ำและความสามารถอุ้มน้ำของดินสามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และการปรับปรุงโครงสร้างดินจึงเป็นการลดอัตราการแทรกซึมลง และเป็นการลดความจุในการอุ้มน้ำของดิน

ตารางที่ 2.1 อัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นปกติ

เนื้อดิน	การแทรกซึมลง (นิ้ว/ซม.)		ปริมาณน้ำทั้งหมด (นิ้ว/ฟุตของความลึก)
	ดินพืชปกคลุม	ดินว่าง	
ร่วนเหนียว	0.2	0.1	4.8
ร่วนปนซิลท์	0.6	0.3	4.2
ร่วน	1.0	0.5	3.8
ร่วนปนทราย	2.0	1.0	1.2

ที่มา : ศุภมาศ (2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 สมบัติทางเคมี (ศุภมาศ, 2538)

1. ความเป็นกรด-ด่างของดิน

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของดินคล้ายคลึงกับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ คือ การวัดพีเอชของดิน แต่แตกต่างกันที่ดินนั้นมีความเป็นกรดอยู่ 2 ชนิดคือ กรดจริงและกรดแฝง

ดินมีทั้งประจุบวกและลบแต่มีค่าประจุลบมากกว่า ความที่มีประจุนี้นับว่าเป็นประโยชน์มาก เพราะธาตุต่าง ๆ ในสารละลายดินรวมทั้งธาตุอาหารของพืชในรูปที่พืชดูดกินได้จะต้องอยู่ในรูปประจุเช่นกัน ธาตุอาหารพืชโดยส่วนใหญ่มีประจุเป็นบวก ดังนั้นจึงถูกดินดูดซับไว้ไม่ไหลตามน้ำลงไปจนเลยระดับความลึกของราก ทำให้ธาตุอาหารที่ถูกดินดูดซับเอาไว้นี้ย่อมมีโอกาสให้พืชดึงดูดเอาไปใช้ได้

ไฮโดรเจนไอออนนั้นมีประจุบวก ดังนั้นส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดินดูดซับ จึงเรียกว่า สภาพกรดแฝง (potential acidity) ส่วนของกรดที่มีบทบาทต่อความสามารถในการละลายได้ของธาตุและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชนี้ คือ ส่วนสภาพกรดจริง ดังนั้นดินเหนียวและดินทรายที่มีค่าพีเอชเท่ากัน จะมีความต้องการปูนในการยกระดับพีเอชไม่เท่ากันได้ เพราะดินทั้งสองชนิดมีค่ากรดแฝงไม่เท่ากัน เนื่องจากดินเหนียวมีค่าประจุลบมากกว่าจึงมีสภาพกรดแฝงมากกว่า ส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดูดซับจะมีปริมาณมากกว่าส่วนที่ไม่ถูกดูดซับ และจะปลดปล่อยจากส่วนที่ถูกดูดซับออกมาเป็นบางส่วน ลักษณะคล้ายการแตกตัวของกรดอ่อน

2. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (Cation Exchange Capacity- CEC)

การที่ดินมีประจุไฟฟ้าเป็นผลเนื่องมาจากอนุภาคของดินเหนียวและอินทรียวัตถุในดิน โดยส่วนใหญ่อนุภาคของดินเหนียวมีรูปร่างแบนบางทำให้มีโอกาสที่อะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่รอบนอกจะหลุดออกไปได้มากขึ้น เมื่อสารประกอบใดเกิดมีการสูญหายของอะตอมก็จะมีประจุทันที ประจุที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นประจุลบ ดินมีความสามารถในการดึงดูดแคตไอออนไว้ไม่เท่ากัน แคตไอออนที่ถูกดูดซับ (adsorbed cation) กับคอลลอยด์ดินจะสามารถเปลี่ยนแปลงกันได้กับแคตไอออนในสารละลายดิน จึงมีชื่อเรียกว่า แคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มลพิษทางดิน (สุธิลา และคณะ, 2544)

มลพิษทางดิน หมายถึง มลสารใด ๆ ที่เกิดขึ้นตามกลไกธรรมชาติ หรือที่ถูกปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษสู่ดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนในดิน หรือการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินจนกระทั่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ การปนเปื้อนในดินเกิดขึ้นได้ด้วยกลไกทางธรรมชาติ และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งมีความต้องการความสะดวกสบายด้านวัตถุเป็นเกณฑ์ ทำให้เกิดการปนเปื้อนสารเคมีและสารอนินทรีย์บางส่วนลงสู่พื้นดิน ตัวอย่างมลพิษทางดินที่มีสาเหตุสำคัญจากกิจกรรมมนุษย์ได้แก่ โลหะหนัก ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และสารกัมมันตภาพรังสี เป็นต้น

2.3.1 โลหะหนัก

โลหะหนักเป็นมลพิษทางดินที่สำคัญ ได้แก่ ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี โครเมียม ฯลฯ การปนเปื้อนของโลหะหนักเหล่านี้มีแหล่งที่มาจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ ผลิตถ่านไฟฉาย เป็นต้น จากฉวันของยานพาหนะที่ออกมาจากไอเสียรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินพิเศษคือ ตะกั่ว หรือจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ซึ่งโลหะหนักเจือปนอยู่ในสินแร่เสมอ เช่น สินแร่ตีบุกมักมีตะกั่วเจือปน ในขณะที่เหมืองสังกะสีมักมีแคดเมียมเจือปนอยู่ การจัดการของเสียเหล่านี้อย่างไม่ถูกต้องเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โลหะหนักเหล่านี้ตกค้างในดิน

2.3.2 ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี หมายถึง ธาตุอาหารของพืชที่ใส่ลงดินเพื่อเพิ่มสารอาหารแก่พืชตามธาตุอาหารที่พืชต้องการ มีความจำเป็นก็ต่อเมื่อต้องการเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร แต่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ หากมีการใช้ปุ๋ยที่ไม่ถูกต้องอาจทำให้เกิดโทษตามมา เพราะปุ๋ยเคมีจะมีผลทำให้เกิดกระบวนการมากมายเช่น การแปรรูปของธาตุ (Transformation) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Precipitation) การตรึงธาตุอาหารโดยรากพืช (Fixations) การสูญเสียธาตุอาหารในสภาพก๊าซ (Gaseous losses) และกระบวนการอื่น ๆ

2.3.3 สารปราบศัตรูพืช

สารปราบศัตรูพืชมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สังเคราะห์ขึ้นมาโดยกระบวนการทางเคมี การแบ่งประเภทของสารกำจัดศัตรูพืช ส่วนใหญ่จะแบ่งตามกลุ่มของศัตรูพืช เป็น ยาฆ่าแมลง ยากำจัดเชื้อรา ยากำจัดวัชพืช เป็นต้น สารกำจัดศัตรูพืชจัดเป็นสารมลพิษที่สำคัญ เนื่องจากโดยส่วนใหญ่สามารถตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน เป็นพิษที่ทำลายสิ่งมีชีวิตในดินหรือจุลินทรีย์ในดินรวมทั้งส่งผลกระทบทางลบแก่พืชที่เจริญเติบโตในบริเวณนั้น

จากรายงานกรมวิชาการเกษตรพบว่า มีการนำเข้าวัตถุมีพิษทางการเกษตรสูงถึงปีละประมาณ 3 หมื่นตัน (สุธิลา และคณะ, 2544) สารพิษเหล่านี้จะตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งความเป็นพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสารปราบศัตรูพืชสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ ดังนั้นจึงต้องมีปัจจัยควบคุมในการใช้สารปราบศัตรูพืชโดยควบคุมชนิด ลักษณะความเป็นพิษ รวมทั้งอายุ ขนาดและความเข้มแข็งของคนที่จะนำไปใช้ประโยชน์

2.3.4 สารกัมมันตภาพรังสี

ปัจจุบันมีการใช้สารกัมมันตภาพรังสีกันอย่างแพร่หลายในสาขาต่าง ๆ เช่น ด้านการแพทย์ การเกษตร การอุตสาหกรรมบางชนิด ได้แก่ โรงถลุงแร่ยูเรเนียมและทอเรียม โรงไฟฟ้านิวเคลียร์และการทดลองนิวเคลียร์ ทำให้สารกัมมันตภาพรังสีที่ใช้ในกิจกรรมเหล่านี้มีโอกาสปนเปื้อนในดิน ทำให้สิ่งมีชีวิตมีโอกาสได้รับสารเหล่านี้ได้ง่ายและแสดงความเป็นพิษออกมา

2.4 การปรับเสถียร (กิตติวรรณ และคณะ, 2547)

การปรับเสถียรหรือที่เรียกว่าการทำให้เป็นของแข็ง (Solidification) เป็นการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะโดยใช้วิธีการทำให้โลหะที่ชะละลายอยู่ในรูปที่มีความเสถียร กล่าวคือมีความสามารถในการกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยลง หรือทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ยาก อาจทำได้โดยการทำให้โลหะหนักตกตะกอนเป็นของแข็ง ซึ่งจะช่วยลดความสามารถในการกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ หรือทำให้โลหะหนักนั้นมีค่าการละลายต่ำเพื่อลดการกระจายตัวของโลหะหนักเช่นเดียวกัน กระบวนการลดการเคลื่อนย้ายของมลพิษที่ปนเปื้อนในดิน ทำโดยการเติมสารที่สามารถจับยึดโลหะได้ลงในดินที่มีการปนเปื้อนเพื่อทำให้เกิดการแข็งตัวและจับยึดเอาโลหะไว้ สารที่เติมลงไปอาจทำหน้าที่ในการจับโลหะหนักโดยอาศัยหลักการใดหลักการหนึ่งต่อไปนี้คือ ทำให้โลหะหนักอยู่ในสถานะของแข็งและมีความแข็งแรงมากขึ้น ลดความสามารถในการหดตัวของแข็ง ซึ่งหดตัวได้น้อยกว่าของเหลวและลดความสามารถในการไหลผ่านของของเหลว

การปรับเสถียรหรือการตรึงโลหะในดิน ทำโดยการใส่สารลงไปจับโลหะหนักเพื่อยับยั้งการเคลื่อนที่จากดินสู่สิ่งแวดล้อม สารที่ทำหน้าที่จับโลหะหนักเรียกว่า สารปรับเสถียร (Stabilizer) สารปรับเสถียรมี 2 ประเภท ดังนี้คือ

1. สารที่ละลายน้ำได้ (Soluble Chemical) ได้แก่ สารเคมีและปุ๋ยบางชนิดเช่น ปุ๋ยฟอสเฟต วิธีการปรับเสถียรทำได้โดยใส่สารเคมีลงในดินจนอิ่มตัว สารจะผ่านเข้าไปในดินอย่างรวดเร็วทางผิวหน้าดิน หรือพ่นทีละน้อย ๆ ให้ไหลผ่านดินอย่างอิสระ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรของสารประเภทนี้ ได้แก่ อัตราการไหลของสารซึ่งส่งผลกับช่วงเวลาที่ดินจะสัมผัสกับสารปรับเสถียร และปริมาณอากาศภายในดินในช่วงเวลาในการบำบัด ข้อจำกัดที่สำคัญของสารปรับเสถียรในกลุ่มนี้คือ สารเคมีที่ใช้บางตัวอาจเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรืออาจมีราคาแพงเกินไปไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (Insoluble Chemical) เช่น แร่ดินเหนียว สารซีโอไลต์ โดยการประยุกต์ใช้มีหลายวิธี ดังนี้คือ

2.1 การเทปกคลุมพื้นที่ (Spreading) วิธีนี้เหมาะสมในการบำบัดในดินที่มีความชื้นสูง มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงและโลหะหนักปนเปื้อนในระดับชั้นผิวหน้าดิน

2.2 การไถพรวนดิน (Tilling) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับคือ วิธีการ Routing tilling จะใส่สารตัวตรึงในระดับความลึกจากผิวหน้าดิน 1 หรือ 2 ฟุตและวิธีการ Special deep tilling จะใส่สารปรับเสถียรในระดับความลึกจากผิวหน้าดิน 5 ฟุต

2.3 การทำให้สารปรับเสถียรเป็นสารแขวนลอยเมื่อเติมน้ำหรือสารละลายกรดอ่อน ๆ โดยสารปรับเสถียรจะต้องมีขนาดอนุภาคเล็กโดยจะใช้วิธีฉีดจากหัวฉีดแล้วให้เคลื่อนที่ผ่านไปในดิน

2.4 การเติมสารปรับเสถียรให้เป็นเสมือนเป็นตัวกั้นผ่าน จะใช้เมื่อดินมีความสามารถในการซึมผ่านสูง ค่าอินทรียวัตถุในดินต่ำ และโลหะหนักมีการปนเปื้อนจากผิวหน้าดินในความลึก 10 ฟุตหรือมากกว่า เช่น ดินเบนโทไนต์ เป็นต้น

ในทางปฏิบัติกระบวนการบำบัดประกอบด้วย

- การกำจัดน้ำออก เพื่อลดปริมาณของของแข็ง
- เติมสารเพื่อให้ของเสียจับตัวเป็นก้อนของแข็ง

กลไกของการบำบัดส่วนใหญ่เน้นที่กระบวนการทางกายภาพ เช่น การจับยึด การดูดซึมหรือดูดซับ การตกตะกอน แต่ก็จะมีกระบวนการทางเคมีด้วยกัน เช่น การทำให้เปลี่ยนสภาพเพื่อให้โลหะหนักเสื่อมสภาพไป การเลือกชนิดของสารเคมีที่จะใช้ผสมกับสารพิษจำเป็นที่จะต้องใช้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกลไกการบำบัด

กลไกของการบำบัดมีดังนี้ (พิชชาภา และคณะ, 2548)

1. การจับยึด (Macro encapsulation และ Micro encapsulation)

โดยการให้โลหะเข้าไปอยู่ในช่องว่างของตัวจับยึด ซึ่งตัวจับยึดแบ่งออกได้เป็นตัวจับยึดที่มีรูขนาดใหญ่ และตัวจับยึดที่มีรูขนาดเล็ก ตัวจับยึดอาจจะมีรูทั้งขนาดเล็กและใหญ่ก็ได้ การจับยึดนี้เป็นเพียงการกำจัดขอบเขตของโลหะหนักให้อยู่ในบริเวณที่กำหนดให้เท่านั้น หากตัวจับยึดเกิดการแตกร้าว สารพิษก็สามารถรั่วไหลออกสู่ภายนอกได้อีกครั้ง ดังนั้นถ้าตัวจับยึดที่มีรูขนาดเล็กจะมีความเสถียรภาพสูงกว่าตัวจับยึดที่มีรูขนาดใหญ่เนื่องจากการแตกออกของตัวจับยึดที่มีรูขนาดเล็กอาจจะไม่ทำให้จำนวนรูที่เกิดการแตกหักมีมากขึ้นหรือมีไม่มากเท่ากับจำนวนรูขนาดใหญ่ที่จะเกิดความเสียหายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การดูดซึม (Absorption)

เป็นกระบวนการที่เกิดจากการกระทำของโลหะหนักซึ่งถือเป็นตัวถูกดูดซับ (Absorbate) และการดูดซึม (Absorb) ซึ่งเป็นการต้องการให้โลหะหนักเข้าไปละลายเป็นเนื้อเดียวกับตัวดูดซึมนั่นเอง การดูดซึมนี้อาจจะมีการใช้งานสำหรับก๊าซพิษเท่านั้น เนื่องจากกลไกของการดูดซึมเกี่ยวข้องกับการละลายสารชนิดหนึ่งให้อยู่ในสารอีกชนิดหนึ่งและตัวดูดซึม (ตัวทำละลาย) มักอยู่ในรูปของของเหลว เช่น การนำของเหลวชนิดหนึ่งไปจับเอาของเสียออกจากของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้กับการดึงเอาสิ่งแปลกปลอมออกจากน้ำมันเพื่อให้น้ำมันมีความสะอาดขึ้นและสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

3. การดูดซับ (Adsorption)

หลักการของการดูดซับจะแตกต่างจากการดูดซึมเล็กน้อย เนื่องจากการดูดซับจะเป็นการทำให้เกิดพันธะระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ปัจจุบันมีการพัฒนาคุณสมบัติของดินให้สามารถดูดซับได้โดยจะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพ โดยการเปลี่ยนแปลง inorganic cation ที่อยู่ในดินและใส่สารอินทรีย์ที่มีโซ่พันธะยาว ๆ ลงไปแทนการใส่สารอินทรีย์ลงในดินทำให้มีองค์ประกอบที่ไม่มีขั้วและทำให้สามารถดูดซับสารที่ไม่มีขั้วเช่นสารอินทรีย์ด้วยกันเองได้มากขึ้น

4. การตกตะกอน (Precipitation)

เป็นวิธีการที่ทำให้โลหะหนักตกตะกอน และมีความสามารถในการละลายน้อยลงและส่งให้มีความสามารถในการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมน้อยลงด้วยวิธีการตกตะกอนไม่ได้ใช้สำหรับโลหะที่ละลายอยู่ในของเสียที่เป็นของเหลวเท่านั้น แต่ยังใช้กับโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในกากของแข็งด้วย เพราะโลหะหนักเหล่านี้เพียงรอเวลาที่จะให้เจอกับน้ำ เพื่อที่จะละลายและรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมเท่านั้น ดังนั้นเราสามารถใช้เทคนิคนี้กับกากของเสียเพื่อทำให้สารที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูงละลายได้น้อยลงและทำให้กากของเสียมีคุณภาพดีขึ้น ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมน้อยลง การตกตะกอนเป็นวิธีที่เหมาะสมกับของเสียที่มีปริมาณโลหะหนักเจือปนอยู่มาก

2.5 โลหะหนักแคดเมียม (เกศิณี, 2547)

แคดเมียมเป็นโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน และในระหว่างการหลอมเหลวด้วยความร้อนที่มีความกดดันสูงทำให้กลายเป็นไอควันในรูปของแคดเมียมออกไซด์ แคดเมียมที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่มักพบปะปนอยู่กับแร่ธาตุสังกะสี ทองแดง และดีบุก ซึ่งแคดเมียมเป็นธาตุที่อยู่ติดกับสังกะสีในตารางธาตุจึงมีลักษณะทางเคมีและทางฟิสิกส์คล้ายคลึงกันแต่แคดเมียมจะมีความเป็นพิษสูงกว่า ในสภาพธรรมชาติแคดเมียมเป็นสารเจือปนในสินแร่สังกะสีอาจจะมากกว่า 3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปเมื่อแคดเมียมอยู่ในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพแลกเปลี่ยนและเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุด ในการควบคุมสภาพการเคลื่อนที่ได้ ของแคดเมียมในดิน คือ พีเอช และศักย์รีดอกซ์ โดยดินที่มีศักย์รีดอกซ์สูงแคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบเช่น CdO หรือ $CdCO_3$ หรืออาจอยู่ร่วมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน ซึ่งแคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าพีเอชระหว่าง 4.5-5.5 ขณะที่สภาพดินเป็นด่างแคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ส่วนสภาพดินที่เป็นกรดสภาพการละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็ก อะลูมินัมและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน แคดเมียมเมื่ออยู่ในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพที่แลกเปลี่ยนได้ทำให้ศักยภาพในการเคลื่อนที่และการแพร่กระจายของแคดเมียมสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหนักตัวอื่น ๆ พบว่าความสามารถในการเคลื่อนที่เรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ Cd > Zn > Cu, Ni แคดเมียมเมื่ออยู่ในรูปตะกอนที่เป็นด่าง เช่น Cd-sludge มีแนวโน้มที่จะอยู่ในลักษณะคีเลตหรือรวมกับอินทรีย์สารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble organic bound) เป็นส่วนใหญ่ และปริมาณในส่วนนี้จะไม่ถูกกระทบโดยการเปลี่ยนแปลงสภาพออกซิเดชัน-รีดักชันแต่อย่างไร เมื่อมีสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้นและอากาศถ่ายเทดี แคดเมียมในดินจะเปลี่ยนรูปจากสารประกอบอินทรีย์ไปอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงพีเอชและศักย์รีดอกซ์ในดินมีผลต่อการละลายได้ และการแพร่กระจายของแคดเมียมเป็นอย่างมาก

แคดเมียมสามารถละลายได้ดีในดิน ดังนั้นแม้แคดเมียมมีเพียงปริมาณเล็กน้อยปนเปื้อนในดินจะถูกดูดและสะสมในพืชซึ่งโดยสภาพความเข้มข้นปกติ พืชจะมีแคดเมียมในมวลแห้งน้อยกว่า 1 ppm. ถึงแม้จะมีแคดเมียมในพืชสูงมากพืชก็จะปราศจากอาการเป็นพิษจากแคดเมียม ซึ่งนับว่าเป็นอันตรายอย่างมากเนื่องจากพืชเป็นผู้ผลิตในห่วงโซ่อาหาร ในดินทั่วไปมีแคดเมียมอยู่ 0.5 ppm. องค์กรป้องกันสิ่งแวดล้อม EPA กำหนดปริมาณแคดเมียมที่สามารถบริโภคได้ 30 ไมโครกรัมต่อวัน

2.5.1 คุณสมบัติของแคดเมียม (วิลาวัลย์ และสุรจิต, 2542)

แคดเมียมได้รับการค้นพบเมื่อปี พ.ศ.2360 ซึ่งในธรรมชาติมักปะปนอยู่ในแร่สังกะสีซัลไฟด์ และเป็นผลพลอยได้จากการถลุงแร่สังกะสี แคดเมียมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติอ่อนงอได้ มีสีขาวปนน้ำเงิน มีจุดหลอมเหลวประมาณ 321 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน และระหว่างการหลอมเหลวด้วยความร้อน และความกดดันสูงทำให้กลายเป็นไอควันในรูปของแคดเมียมออกไซด์ นอกจากนี้แคดเมียมอาจอยู่ในรูปเกลือหรือสารประกอบต่าง ๆ เช่น แคดเมียมออกไซด์ มีสีแดง แคดเมียมซัลเฟต มีสีเหลือง ใช้ในการผลิตสี และแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม ซึ่งใช้กับ โทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น รัศมีไอออน (pm) ของแคดเมียม เป็น 65 มีประจุเป็น 2+ และความหนาแน่นประจุ 2.11×10^{10}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ประโยชน์ของแคดเมียม

การใช้ประโยชน์ของแคดเมียม ได้แก่ โรงงานถลุงแร่ และผลิตสังกะสี ผลิตแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม การผลิตสี การผลิตเซมิคอนดักเตอร์ การผลิตพลาสติก โรงงานโลหะผสม การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า และใช้เคลือบผิวโลหะ

2.5.3 ความเป็นพิษของแคดเมียม

ความเป็นพิษของแคดเมียม ถ้ามีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น ในอุตสาหกรรมชุบโลหะแบตเตอรี่ เป็นต้น และอาจก่อให้เกิดมลภาวะสิ่งแวดล้อม ซึ่งโรคพิษแคดเมียมมีการจดบันทึกและรายงานครั้งแรกเมื่อปี พ. ศ . 2401 มีอาการปวดศีรษะ มึนงง บ้านหมุน คอแห้ง ไอ แน่นหน้าอก ขาไม่มีแรง มีอาการหนาวสั่น คลื่นไส้ ปวดท้อง แน่นหน้าอก และหายใจไม่สะดวก และโรคอิไต-อิไต เกิดจากการได้รับพิษแคดเมียม ซึ่งปนมาในน้ำ ทำให้มีอาการปวดกระดูก กระดูกเปราะมาก ไตพิการ ความดันโลหิตสูง สาเหตุเกิดจากโรงงานถลุงแร่สังกะสีแห่งหนึ่งทิ้งกากโลหะซึ่งมีกากแคดเมียมผสมอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงาน

2.5.4 การเข้าสู่ร่างกายและกลไกการเกิดพิษ

การเข้าสู่ร่างกายและกลไกการเกิดพิษเนื่องจากแคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้สองทาง คือ ทางการกินและการหายใจ เมื่อคนกินเข้าไป แคดเมียมมักถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารประมาณร้อยละ 6 แต่ในภาวะที่ร่างกายขาดแร่ธาตุเหล็กทำให้เกิดการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้สูงขึ้นถึงร้อยละ 20 ของจำนวนแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกาย และส่วนทางการหายใจรับฝุ่นหรือไอควันแคดเมียมในบรรยากาศการทำงานได้ทางปอดประมาณร้อยละ 20-50 ภายหลังจากการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้ว แคดเมียมถูกลำเลียงต่อไปยังตับและจับตัวรวมกับโปรตีนประมาณร้อยละ 80-90 ของจำนวนแคดเมียมทั้งหมด และประมาณร้อยละ 50 ของแคดเมียมที่มีอยู่ทั้งหมดในร่างกาย สะสมอยู่ในตับและไต

แคดเมียมมีระยะครึ่งอายุยาวถึงประมาณ 7-30 ปี ตามปกติแคดเมียมถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ในรูปของสารเชิงซ้อนแคดเมียม-เมตัลโลธัยโอริง อัตราการขับออกทางปัสสาวะค่อนข้างต่ำ และจำนวนเล็กน้อยถูกขับออกมาทางถุงน้ำดี น้ำลาย ผม และเล็บ

พิษเรื้อรังจากแคดเมียมอาจเป็นพิษเฉพาะที่ ได้แก่ ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การทำลายไต การมีโปรตีนในปัสสาวะ และการเกิดโรคโลหิตจาง เป็นต้น

การได้รับแคดเมียมเป็นเวลานานมักพบลักษณะของกระดูกผิดปกติ ได้แก่ กระดูกโพรก กระดูกพรุน และกระดูกหักง่าย ทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวดกระดูกขาและเดินลำบาก ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นผลของแคดเมียมต่อเมทาบอลิซึมของกระดูกโดยตรง และแคดเมียมยังก่อให้เกิดการแตกทำลายของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดการขาดธาตุเหล็ก ทำให้เกิดอาการซีดชนิด hypochromic ซึ่งเป็นชนิดที่พบบ่อยในผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าไปในระดับสูง

แคดเมียมได้รับการจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง เมื่อได้รับแคดเมียมทำให้เกิดมะเร็งในต่อมลูกหมากเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาจากหลายฉบับที่แสดงถึงแนวโน้มว่าแคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็ง โดยมีการทดลองให้ CdS_2 และ $CdSO_4$ ใต้ผิวหนังและกล้ามเนื้อสัตว์ทดลองพบว่าก่อให้เกิดมะเร็งชนิด sarcoma ณ บริเวณนั้น และสามารถแพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองและปอดได้

2.5.5 ปฏิกิริยาในดิน (สุภมาศ 2538)

แคดเมียมในหินอัคนีและหินตะกอนจะมีปริมาณไม่เกิน 0.3 ppm และจะพบอยู่รวมกับสังกะสีเสมอแต่ในสภาพดินที่เป็นกรด แคดเมียมมีสภาพเคลื่อนที่ดีกว่าสังกะสี ในการสลายตัวของหินและแร่ แคดเมียมในดินอยู่ในสภาพละลายได้ง่ายโดยจะอยู่ในรูป Cd^{2+} เป็นส่วนใหญ่ โดยอาจจะอยู่ในรูปของไอออนเชิงซ้อน (Complex ion) และสารประกอบได้ดังนี้

แคตไอออน : $CdCl^+$, $CdOH^+$, $CdHCO_3^+$

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

สารประกอบ : CdO, $CdCO_3$

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมสภาพเคลื่อนที่ได้ของแคดเมียมในดิน คือ พีเอชและศักย์รีดอกซ์ ซึ่งดินที่มีศักย์รีดอกซ์สูง แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบเช่น CdO หรือ $CdCO_3$ หรืออาจอยู่รวมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน

แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ในดินที่มีค่าพีเอชระหว่าง 4.5 ถึง 5.5 ขณะที่ในดินที่เป็นด่างแคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ซึ่งในสภาพดินเป็นกรดสภาพละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

แคดเมียมในดินจะเปลี่ยนจากรูปสารประกอบอินทรีย์ไปอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงศักย์รีดอกซ์และพีเอชในดินมีผลต่อการละลายได้ และการแพร่กระจายของแคดเมียมเป็นอย่างมาก

ปริมาณแคดเมียมในดินทั่วไปมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.07 – 1.0 ppm โดยมีค่าเฉลี่ยสูงในดินฮิสโตซอลส์และค่าเฉลี่ยโดยรวมของดินทั่วไปมีค่า 0.53 ppm สำหรับดินที่มีการปนเปื้อน แหล่งปนเปื้อนที่สำคัญ คือ การถลุงแร่ กากตะกอนน้ำโสโครก ปริมาณแคดเมียมในพืชทั่วไปมีค่าต่ำ จะมีค่าสูงในพืชบางชนิด เช่น ผักกาดหอม 0.66 ppm หรือในใบผักโขม (spinach) ในปริมาณ 0.11 ppm (น้ำหนักสด) เพื่อกินใบ หรือพืชหัวบางชนิด จึงเป็นตัวนำแคดเมียมสู่มนุษย์ เมื่อมีการปนเปื้อนแคดเมียมจะสะสมในรากมากที่สุด โดยสะสมในใบรองลงมา และมีการเคลื่อนย้ายสู่เมล็ดได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107783

2.6 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential Extraction) (ปภานีย์, 2545)

เทคนิคการสกัดแบบลำดับขั้น สามารถหาปริมาณโลหะหนักได้ เนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้ โดยการศึกษาสมบัติทางเคมีของโลหะและแร่ธาตุในดิน ซึ่งการศึกษานี้จะทำให้เข้าใจเคมีของดินที่สัมพันธ์ระหว่างโลหะและชนิดของดิน การเลือกสารเคมีที่มีความเหมาะสมในการสกัด

การวิจัยนี้ได้นำวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น 6 ขั้น มาใช้แยกโลหะที่สนใจออกเป็นส่วนๆ ตามการใช้สารละลายสกัด ที่มีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ปริมาณของโลหะที่ออกมาในแต่ละส่วนสามารถทำนายพฤติกรรมที่เป็นพิษของโลหะในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ การเคลื่อนที่ของโลหะหนักขึ้นกับ pH และการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ ดังนั้นการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาทางสิ่งแวดล้อม การสกัดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณามาจากงานวิจัยหลายท่านซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 : ส่วนที่ละลายน้ำได้ (Deionized H_2O, pH 7)

ปกติน้ำบริสุทธ์จะไม่ใช่ตัวสกัดที่ใช้กัน แต่มักใช้เป็นสารสกัดในส่วนแรก เพื่อพิจารณาว่าโลหะหนักที่อยู่ในตัวอย่างนั้น สามารถละลายน้ำได้หรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ในการดูผลกระทบของสิ่งแวดล้อม เช่น ความเป็นพิษของไอออนโลหะหนักที่มีความสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้หลังจากเกิดน้ำท่วม

ขั้นที่ 2 : ส่วนที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ (1.0 M NH_4OAc, pH 7)

ส่วนนี้ง่ายต่อการแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อม ผลของการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโลหะที่จับตัวกันอย่างหลวม ๆ กับแร่ธาตุ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ของดินตะกอน คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้คือ สามารถละลายไอออนโลหะที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวอย่าง สารสกัดในส่วนนี้นิยมใช้สารที่เป็น Neutral salt, Neutral electrolytes และ Buffered neutral solutions ซึ่งนิยมใช้กันมากในส่วนนี้

ขั้นที่ 3 : ส่วนที่ละลายได้ในกรด (0.11 M CH_3COOH, pH 3)

คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้ ต้องสามารถละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับคาร์บอเนตได้ ซึ่งสารละลายอะซิเตตถูกนำมาใช้ โดยทำให้เป็นกรดที่ pH 3 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์โดยงานวิจัยนี้ได้นำกรดอะซิตริก 0.11 M pH 3 มาใช้ในการสกัด โดยใช้อัตราส่วน สารตัวอย่างต่อสารสกัด เท่ากับ 1:25

ขั้นที่ 4 : ส่วนที่ถูกรีดิวซ์ได้ (0.1 M $NH_2OH.HCl$ in CH_3COOH 25 % v/v pH 2)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การผสมของ Reducing agent และกรด ซึ่งปกติใช้สกัดโลหะในปริมาณน้อยที่ยึดเกาะอยู่กับ Fe_2O_3 หรือ Mn_2O_3 ในดินและตะกอน ซึ่งรูปของออกไซด์นี้เรียกว่า Reducing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

phase โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง Amorphous และ Crystalline โดยปกตินิยมใช้ $NH_2CH.HCl$ in CH_3COOH 25 % v/v กันมากในส่วนนี้ ค่า pH ที่ใช้จะต้องปรับให้มีค่าน้อยกว่า 3 เพื่อ จะเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ของ Reducing agent นอกจากนี้ Tessier และคณะ (ค.ศ. 1997) ยังได้รายงานอีกว่า HOAc-$NH_2OH.HCl$ ไม่สามารถรีดิวซ์สารอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างตะกอนได้ แต่มีความเฉพาะเจาะจงกับพวกโลหะออกไซด์ ดังนั้นชนิดของสารสกัดนี้ควรมีความเฉพาะเจาะจงกับโลหะออกไซด์และละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับโลหะด้วยพันธะที่แข็งแรง ซึ่งในส่วนนี้ปกตินิยมใช้ Hydroxylamine hydrochloride ใน Acitic acid เป็นสารสกัด

ขั้นที่ 5 : ส่วนที่ถูกออกซิไดซ์ได้ (30 % H_2O_2Acidified with HNO_3, pH 2 / 1.0 M NH_2OAc, pH 2)

การสกัดโลหะในดินและตะกอนที่เชื่อมอยู่กับสารอินทรีย์หลายแบบ เช่น การดูดซับ การเกิดสารเชิงซ้อน และการเกิดคีเลตภายใต้การสกัดเป็นลำดับจะมีสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ เพื่อใช้ละลายให้ได้โลหะที่ละลายออกมาจากการสกัด นิยมนำ H_2O_2 ที่ถูกทำให้มีสภาพเป็นกรด มาใช้เป็นสารสกัดมากในส่วนนี้

ขั้นที่ 6 : ส่วนที่เหลือ (HF/HNO_3, 2:3 v/v)

หลังจากที่สกัดเอาบางส่วนออกไปแล้ว ของแข็งที่เหลือ ส่วนใหญ่จะเป็นแร่ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ในส่วนนี้จึงใช้สารสกัดที่มีความเป็นกรดแรง เพื่อละลายซิลิเกต และส่วนที่เหลืออื่น ๆ ที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยสารสกัดที่มีความแรงอ่อน โดยปกติจะนำไปผสมกันของกรดที่ร้อนออกมาใช้เพื่อย่อยส่วนที่เหลือให้เป็นสารละลายใส

2.7 ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ คือปุ๋ยที่ได้จากสารประกอบ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยได้มาจากสิ่งมีชีวิต หรือผลิตภัณฑ์ของสิ่งมีชีวิต ในส่วนของพืชนำมาใช้ได้จะต้องปรับสภาพก่อน เช่น ปล่อยให้เน่าเปื่อยผุพังเสียก่อน ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะได้มาจากพืชหรือสัตว์ ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม ปุ๋ยอินทรีย์สามารถแบ่งออกได้หลายประเภทดังนี้คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากผลพลอยได้จากตัวสัตว์ ได้แก่พวก กระดูก พังผืด เลือดแห้ง ก้างปลา ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ ได้แก่ ปัสสาวะ และอุจาระของสัตว์ มูลสัตว์ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากพืช ได้แก่พวก กากเมล็ดฝ้าย กากละหุ่ง ปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเช่นกากเบียร์ กากเหล้า กากผงชูรส ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อดีคือช่วยปรับปรุงดินให้ดีขึ้น โดยเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพเช่น ความร่วนซุย ความโปร่งและการอุ้มน้ำ เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในดิน แล้วจะให้ฮิวมัสซึ่งมีประจุลบ เมื่อใส่ลงไปในดินทำให้ดินสามารถดูดซับไอออนบวก เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) โพแทสเซียมไอออน(K^+) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และ แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ได้มากขึ้น ช่วยเพิ่มความจุบัฟเฟอร์ในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยาบ ให้มากขึ้น เนื่องจากสภาพบัฟเฟอร์ จะช่วยต้านความเป็นกรดและความเป็นด่าง ความเค็ม ยากำจัดศัตรูพืช พิษของโลหะหนัก ที่ใส่ลงไปในดินให้มีการเปลี่ยนแปลงในดินอย่างค่อยเป็นค่อยไป เพื่อไม่ให้พืชเป็นอันตราย ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อเสียคือมีปริมาณธาตุอาหารพืชต่ำเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี หายาก ราคาแพงกว่าปุ๋ยเคมี เมื่อใส่มากเกินไป เมื่อเกิดการชะล้างจะทำให้เกิดการสะสมของไนเตรตในน้ำใต้ดินทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค มูลสัตว์ไม่มีการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนจะก่อให้เกิดโรค แมลงศัตรูและวัชพืชทำให้เกิดการแพร่ระบาดได้

2.7.1 ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์คือปุ๋ยที่ได้มาจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ มูลสัตว์ต่างๆตลอดจนวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม ปุ๋ยอินทรีย์สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1. ปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอก เป็นปุ๋ยที่ได้จากสิ่งขับถ่ายของสัตว์รวมทั้งคนด้วย ปุ๋ยพวกนี้ โดยปกติต้องหมักทิ้งไว้ก่อนหรือตากแห้ง เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อใส่ให้กับพืช เช่น เกิดความร้อน และสารพิษ นอกจากนั้นการหมักทิ้งไว้หรือตากแห้งยังเป็นการกำจัด กลิ่น สี และลักษณะที่ไม่พึงประสงค์อื่น ๆ ก่อนที่จะนำไปใช้ ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกนั้น โดยทั่วไปจะแตกต่างกันบ้าง ดังเช่น มูลวัว ควาย ช้าง ม้า ซึ่งเป็นสัตว์กินหญ้าเป็นอาหารหลัก มูลของสัตว์เหล่านี้จะมีลักษณะและองค์ประกอบคล้ายๆ ปุ๋ยหมักซึ่งมาจากพืชเช่นกัน สำหรับส่วนของปัสสาวะจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ค่อนข้างมากกว่า ซึ่งเราสังเกตได้จากการที่มีกลิ่นฉุน ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปแอมโมเนียม สัตว์พวกเปิด ไก่ หรือค้างคาว ซึ่งกินแมลง เนื้อสัตว์ หรือเมล็ดพืช ทำให้มูลมีองค์ประกอบแตกต่างไปจากสัตว์กินหญ้าทั่ว ๆ ไป กล่าวคือมูลสัตว์พวกนี้มักจะมีปริมาณธาตุอาหารอยู่มากกว่า อย่างไรก็ตามมูลของสัตว์พวกนี้มีส่วนที่มาจากเยื่อใยของพืชน้อยกว่า ทำให้มีความสามารถในการปรับสภาพดินน้อยกว่า ปุ๋ยคอกยังทำให้ดินมีการระบายน้ำและอากาศได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มความคงทนและการชะล้างพังทลายของดิน อีกทั้งช่วยให้จุลินทรีย์ดำเนินกิจกรรมต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ ปุ๋ยคอก ส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมค่อนข้างต่ำยกเว้นมูลไก่และมูลค้างคาวในส่วนของธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมไม่ว่าจะเป็น แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอนโมลิบดินัม และคลอรีน จะพบอยู่ในปุ๋ยคอก นอกจากนี้ปุ๋ยคอกยังให้ฮอร์โมนและสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับพืช

2. ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำเอาเศษจากพืช เช่นฟางข้าว ต้นข้าวโพด ต้นถั่วต่างๆ หญ้าแห้ง หรือของเสียเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นำมาผสมกับมูลสัตว์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยเคมีแล้วหมัก จนกระทั่งเน่าเปื่อย ผุพัง มีสีดำคล้ำ ปุ๋ยหมักโดยทั่วไปมีธาตุอาหารในปริมาณน้อย แต่มีครบทุกธาตุ อย่างไรก็ตามวิธีการทำปุ๋ยหมัก และชนิดของเศษวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ก็ทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารมากน้อยต่างกันได้บ้าง ประโยชน์ของปุ๋ยหมักมีดังต่อไปนี้คือ ทำให้ดินเหนียวและดินทรายเป็นดินร่วนขึ้น ทำให้เหมาะในการเพาะปลูกเพิ่มอินทรียวัตถุในดินทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งช่วยให้ดินมีการถ่ายเทอากาศได้ดี มีความชุ่มชื้นและไม่เป็นอันตรายต่อดินแม้จะใช้ในปริมาณมาก ๆ ติดต่อกันนาน ๆ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับปุ๋ยเคมีและสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ ช่วยกระตุ้นให้ธาตุอาหารพืชบางอย่างในดินที่ละลายน้ำยากให้ละลายน้ำง่ายเป็นอาหารแก่พืชได้ดีขึ้น

ข้อดีของปุ๋ยอินทรีย์

1.ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น ทำให้ดินมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดี เช่น มีความโปร่งร่วนซุย มีความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหารได้ดี

2. สามารถอยู่ในดินได้นาน และค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ

3.ส่งเสริมให้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการบำรุงดิน สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4. เมื่อใช้ร่วมกับสารเคมีจะส่งเสริมให้ปุ๋ยเคมีเป็นประโยชน์แก่พืชมากขึ้น

ข้อด้อยของปุ๋ยอินทรีย์

1.มีปริมาณธาตุอาหารพืชต่อน้ำหนักปุ๋ยค่อนข้างต่ำ ต้องใช้ปริมาณมาก

2.ใช้เวลานานในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ให้แก่พืช

3. ราคาต่อน้ำหนักของธาตุอาหารพืชมีราคาสูง

4. มีจำนวนจำกัด ไม่สามารถหาซื้อได้ในปริมาณที่มาก ๆ ได้

2.7.2 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ได้จากวัสดุอินทรีย์ที่อยู่ในสภาพของเสียที่ผ่านการหมัก มักมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ และอาจเกิดสารพิษขึ้นจึงทำให้นำมาใช้น้อย ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีของปุ๋ยอินทรีย์เม็ดที่มีกรรมวิธีในการฆ่าเชื้อโดยวิธีอบไอน้ำ เพื่อลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นตัวก่อโรค จึงไม่มีกลิ่นและสารพิษ ฉะนั้นเมื่อผ่านขั้นตอนการอบไอน้ำแล้วหรือตากแห้งก็จะช่วยเก็บได้นาน มีรูปแบบที่น่าใช้ สะดวกในการขนย้ายถ่ายเทบรรจุถุงและการนำไปใช้ จากการทดลองของกลุ่มงานวิจัยปุ๋ยกองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร พบว่าวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานผงชูรส โรงงานน้ำตาล และโรงงานสุรา ซึ่งมีปริมาณธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูง สามารถนำมาอัดเป็นเม็ดร่วมกับปุ๋ยเคมีได้ ปัจจุบันปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทรีย์แนวโน้มเป็นที่นิยมของเกษตรกรทั่วไปอยู่ในขณะนี้ เนื่องจากกระแสความห่วงใยในสิ่งแวดล้อมโลกที่รณรงค์ให้ลดการใช้สารเคมีในระบบเกษตรธรรมชาติ เกษตรยั่งยืนซึ่งนับว่าประจวบเหมาะกับภาวะเศรษฐกิจตกต่ำที่ประเทศเรากำลังประสบอยู่ เนื่องจากดินของประเทศไทยส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์และปริมาณอินทรียวัตถุต่ำเพราะอยู่ในเขตร้อนชื้น ซึ่งมีการชะล้างพังทลายของหน้าดินสูง การปลูกพืชในระยะยาวต่อเนื่องขาดการบำรุงรักษาที่เหมาะสมทำให้ดินเสื่อมลงตามลำดับ สมบัติทางด้านเคมี กายภาพและชีวภาพของดินเสียไป ดังนั้นการพิจารณาในด้านการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ คือ การใช้ปุ๋ยแบบผสมผสาน หรือใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เพื่อให้เกิดความยั่งยืนในระบบการเกษตร ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดนับเป็นเทคโนโลยีที่ถูกต้องและเหมาะสมคือ มีการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยการสร้างคุณค่าการตลาดของปุ๋ยให้สูงขึ้น โดยวิธีผลิตปุ๋ยอัดเม็ด ซึ่งมีการผสมผสานระหว่างปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีทำให้การใช้ปุ๋ยกับพืชมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและมีขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากจนเกินไป โดยคุณลักษณะและคุณสมบัติของปุ๋ยนี้เป็นการเอื้อประโยชน์ให้มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ

คุณลักษณะเด่นของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

1. ปลอดภัยทั้งต่อตัวผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม
2. มีธาตุอาหารมากกว่ามูลสด 5 เท่าตัวและการอัดเม็ดสามารถลดปริมาณการใช้มูลไก่ลงได้ 5 เท่าตัว
3. การอัดเม็ดเมื่อผสมกับแกลบและขี้เลื่อยใน อัตรา 3 ต่อ 1-3 ต่อ 2 จะช่วยลดกลิ่นและการสูญเสียไนโตรเจนในปุ๋ย ช่วยรักษาคุณค่าปุ๋ยและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย
4. การอัดเม็ดมูลสัตว์สามารถผสมปุ๋ยเคมีจะช่วยลดภาระการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมากและชะลอการปลดปล่อยปุ๋ยเคมีมิให้เกิดการสูญเสียจึงช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ครึ่งหนึ่ง
5. สามารถเก็บปุ๋ยอินทรีย์ได้นานขึ้น เพราะเมื่อตากแห้งเหลือความชื้นประมาณ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ไม่มีเชื้อราเกิดขึ้นที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นเหม็น
6. เกษตรกรสามารถหาซื้อได้ง่าย เพราะมีจำหน่ายทั่วไป เป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น
7. การนำเอาวัสดุเหลือใช้มาอัดเม็ดแล้วนำมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยช่วยในการกำจัดปัญหามลภาวะและยังเป็นการใช้ทรัพยากรที่เหมาะสมและคุ้มค่า
8. ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตเป็นเม็ดทำให้คุณค่าการตลาดเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีด้วยกันอยู่หลายชนิด ในการทดลองนี้เลือกมาเพียง 2 ชนิดคือ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่

1. ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว

มูลค้างคาว ได้แก่ สิ่งขับถ่ายและซากแห้งของค้างคาวที่อาศัยอยู่ในถ้ำเขาหินปูน มีการสะสมทับถมกันเป็นชั้นหนากลบพื้นถ้ำ ถ้าปล่อยทิ้งไว้นานวันชั้นล่างจะถูกกดทับเป็นแผ่นหนา แล้วรวมตัวกับสารละลายหินปูนและแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น เหล็ก ฟลูออไรด์ หรืออะลูมิเนียม กลายเป็นหินฟอสเฟตอีกรูปหนึ่ง ซึ่งมูลค้างคาวเป็นมูลสัตว์ที่มีคุณค่าประโยชน์แก่พืช ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชสูงว่าปุ๋ยชนิดอื่น ในบรรดาปุ๋ยอินทรีย์โดยทั่วไปและสูงทัดเทียมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ คุณสมบัติช่วยปรับปรุงดินให้ดีขึ้นเมื่อใช้ติดต่อกัน เช่น ทำให้ดินร่วนไม่เกาะกันแน่นเมื่อแข็งตัวทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในระดับพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช มูลค้างคาวจะทำให้จุลินทรีย์ในดินทำงานได้ดีขึ้นและเกิดการสลายตัวของอินทรีย์สาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับพืชให้เป็นอาหารพืชได้ง่ายขึ้น การใช้ติดต่อกันนาน ๆ จะทำให้มีผลตกค้างของปุ๋ยซึ่งจะเหลือสะสมอยู่ในดินและค่อย ๆ สลายเป็นอาหารของพืชในภายหลัง มูลค้างคาวให้ธาตุอาหารฟอสฟอรัส เนื่องจากเป็นสัตว์กินแมลงเหมาะสำหรับใส่ไม้ผลที่ให้กลิ่นหอม เช่น ทุเรียน กล้วยหอม ลำไยและมะม่วง เป็นต้น อัตราการใช้ปุ๋ยมูลค้างคาวใช้ปริมาณที่น้อยกว่าปุ๋ยคอกหรือใช้ผสมเศษซากพืชที่ผุพังเน่าเปื่อยแล้ว เพื่อลดความเข้มข้นให้น้อยลงก่อนนำไปใช้

2. ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่

ในการผลิตปุ๋ยคอกอัดเม็ดจะใช้มูลไก่มาเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งมูลไก่ที่จะนำมาใช้วัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยขั้นตอนแรกจะต้องผ่านความร้อนเพื่ออบมูลไก่ให้แห้ง ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิระดับนี้สามารถทำลายเชื้อโรค สปอร์เมล็ดพืชในมูลไก่ได้จะไม่มีปัญหาต่อการนำไปใช้ในไร่นา

กระบวนการผลิตขั้นตอนแรกมูลไก่จะถูกนำเข้ากระบวนการอบแห้งโดยผ่านความร้อนอุณหภูมิสูง เมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วขั้นต่อไปจะถูกนำเข้ากระบวนการป่นละเอียดให้มูลไก่เป็นผงและจะนำเข้ากระบวนการปรุงแต่งสูตรปุ๋ยให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ จากนั้นนำเข้ากระบวนการอัดเม็ด เมื่อผ่านการอัดเม็ดแล้วปุ๋ยอัดเม็ดจะถูกนำเข้าผ่านความเย็นอีกขั้นตอนหนึ่ง สุดท้ายก็เข้าสู่ขั้นตอนการบรรจุถุงเพื่อเป็นปุ๋ยสูตรสำเร็จเตรียมนำไปจำหน่ายให้เกษตรกรต่อไป

ประโยชน์ของมูลไก่ซึ่งนับว่าเป็นมูลสัตว์ที่มีความเหมาะสมกับพืชหลาย ๆ ชนิด เพราะในมูลไก่ประกอบไปด้วยธาตุอาหารต่าง ๆ ที่สำคัญโดยเฉพาะธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซึ่งมีอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง หลังจากที่มีการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนมาปรับมาตรฐานในมูลไก่ เพื่อให้มีอัตราส่วนของ N:P:K เท่ากับ 40:2:2 ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารเพียงพอที่สามารถใช้กับการเพาะปลูกพืชได้เป็นอย่างดีและทดแทนปุ๋ยวิทยาศาสตร์ได้

สำหรับคุณค่าทางอาหารของปุ๋ยคอกมูลสัตว์นั้นจะแตกต่างกันไปตามแหล่งวิธีการเลี้ยงและเก็บรักษา ถ้ามองในแล่ของธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมแล้วจะมีค่อนข้างน้อย ยกเว้น มูลค้างคาว มูลไก่ ซึ่งค่อนข้างจะมีธาตุอาหารค่อนข้างสูง แต่ข้อดีของมูลสัตว์คือจะให้ธาตุอาหารรองคือ แคลเซียม แมกนีเซียมและกำมะถัน แสดงดังตาราง

ตาราง 2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ

ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ								
ที่	ชนิดมูลสัตว์	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ธาตุอาหารหลัก (เปอร์เซ็นต์)			ธาตุอาหารรอง (เปอร์เซ็นต์)		
			ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	แคลเซียม	แมกนีเซียม	กำมะถัน
1	มูลค้างคาว	7.5	3.32	13.95	0.29	18.01	0.48	0.28
2	มูลไก่	8	2.84	7.63	0.78	2.6	0.34	-

ที่มา :

1. ลำดับที่ 1 วิเคราะห์โดยกองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร มีนาคม 2542
2. ลำดับที่ 2 วิเคราะห์โดย ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กันยายน 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bradley S. Crannell และคณะ (2002) ศึกษาการปรับเสถียรโลหะหนักด้วย PO^{3-}_4 ที่ละลายได้กับขี้เถ้า(bottom ash) จากเตาเผาขยะของเสียที่เป็นของแข็ง ในขี้เถ้าจะมีพวกโลหะหนักที่สามารถชะได้ เช่น ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม โดยการเติม 0.38 โมลของฟอสเฟตที่ละลายได้ต่อกิโลกรัมของส่วนที่เหลือ ซึ่งเป็นปริมาณที่มีประสิทธิภาพอย่างมาก จากการทดลองสัดส่วนของโลหะหนักต่าง ๆ ในการชะที่หาได้ได้ผลดังนี้ แคลเซียม 52 %, แคดเมียม 14 %, ทองแดง 98 %, ตะกั่ว 99 % และสังกะสี 36 % พีเอชที่เหมาะคือ 4, 6 และ 8 ปริมาณและพื้นที่ที่ได้จาก spectroscopies แสดงการตกตะกอนในรูป Crystalline และ Amorphous นั่นก็แสดงว่า ปฏิกิริยาของโลหะฟอสเฟตในส่วนนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและเห็นได้ชัดเจนคือ แคลเซียมฟอสเฟต, tertiary metal phosphate และในรูปของแร่อะพาไทต์ tertiary calcium phosphate, calcium hydroxyapatite, lead chloropyromophite และ lead hydroxyapatite

Jimmy และคณะ (1977) ศึกษาถึงเรื่องความสามารถในการดูดซับและการตกตะกอนแคดเมียมในดิน โดยพบว่าเมื่อสารละลายแคดเมียมลงในดิน แคดเมียมไอออนจะเคลื่อนที่ออกจากสารละลายและจะถูกดูดซับบนผิวดิน เกิดเป็นสารประกอบแคดเมียม และพบว่าที่ระดับปริมาณแคดเมียมไอออนสูงจะตกตะกอนอย่างรวดเร็วในรูปผลึก $Cd_3(PO_4)_2$ ได้ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าคงที่ G_f = - 587.1 ซึ่งเป็นค่าที่เกิดเป็นสารประกอบได้ดีมาก

Ricardo และคณะ (2003) ได้ทำการทดสอบในภาคสนามถึงประสิทธิภาพของฟอสเฟตในการยับยั้งการเคลื่อนที่โลหะตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน มีชุดการทดลองทั้งหมด 3 ชุดการทดลองดังนี้คือ 1) เติม H_3PO_4 100 % 2) เติม 50 % H_3PO_4 + 50 % $Ca(H_2PO_4)_2$ 3) เติม 50 % H_3PO_4 + Phosphate rock 5 % และกำหนดให้ชุดควบคุมไม่มีการเติมฟอสเฟต การทดสอบการชะของโลหะโดยกระบวนการกลั่นแบบลำดับส่วน (Sequential Extraction) ชี้ให้เห็นว่าฟอสเฟตทุกชนิดมีประสิทธิภาพดีในการเปลี่ยนรูปองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ของ Pb ทั้งหมดในดินไปเป็นแร่คลอโรไพโรมอร์ไฟต์ที่มีความเสถียรในดิน และเมื่อการทดสอบการชะของโลหะโดยเทคนิค Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) เพื่อทดสอบหาปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ภายหลังการเติมฟอสเฟต พบว่าปริมาณตะกั่วในสารละลายที่สกัดได้มีปริมาณลดลง โดยมีปริมาณต่ำกว่าระดับ 5 mg/l ที่ทาง EPA กำหนดไว้ จากผลการทดลองพบว่า การประยุกต์ใช้ของ H_3PO_4 และ $Ca(H_2PO_4)_2$ หรือ Phosphate rock จะให้ประสิทธิภาพดีในการยับยั้งการเคลื่อนที่ของ Pb โดยจะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง pH ในดินน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิชชาภา และคณะ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินในห้วยแม่ตาว โดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) และปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) พบว่าปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรมากที่สุด 66.83 ± 1.06 % ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรโลหะแคดเมียมเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟตที่เติมในดิน โดยอัตราส่วนโดยโมลของฟอสฟอรัสต่อโมลแคดเมียมให้ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรดีที่สุดคือ 1.0 เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการปรับเสถียรทำให้ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมด้วยปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟตมีมากขึ้น โดยประสิทธิภาพในการปรับเสถียรสูงสุด เมื่อใช้ระยะเวลาในการปรับเสถียร 3 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง รุ่น MSBO20 CX1.5 บริษัท SUNYO
2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น GBC Avanta 1.33
3. เครื่องพีเอชมิเตอร์ รุ่น 251 บริษัท Denver Instrument
4. เครื่องอ่างน้ำปรับอุณหภูมิ รุ่น Model WB 7/14/22/29/45
5. เครื่องเขย่า รุ่น Hetofrig CB60 VS บริษัท Heto
6. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument
7. เครื่องกรองแบบลดความดัน รุ่น B-169 บริษัท B'U'CHI
8. ตู้อบอุปกรณ์และสารเคมี รุ่น ISOTEMP บริษัท Fisher Scientific
9. ชุดย่อยสลาย รุ่น 1200 Mega บริษัท Milestone microwave Laboratory Systems
10. กระดาษกรอง Whatman GF/C เบอร์ 1
11. กระดาษกรอง Whatman ขนาด 0.45 ไมครอน
12. ไฮโดรมิเตอร์มาตรฐาน ASTM NO. 1.152H
13. แท่งแก้วคนแบบ plunger
14. ตะแกรงร่อนขนาด 0.2 มิลลิเมตร
15. เดซิเคเตอร์
16. เทอร์โมมิเตอร์
17. กระบอกน้ำกลั่น
18. พลั่ว/เสียม
19. จุกยาง
20. เครื่องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

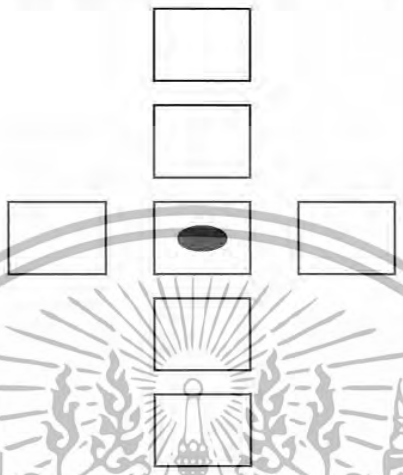
3.1.2 สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. น้ำปราศจากไอออน
3. สารละลายไตรเอทานอลามีน triethanolamine 2 N (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
4. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น HCl (AR grade บริษัท Fisher Scientific)
5. กรดไนตริกเข้มข้น HNO_3 (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
6. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น H_2SO_4 (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
7. กรดฟอสฟอริกเข้มข้น H_3PO_4 (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
8. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ H_2O_2 (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
9. เอมิสแอลกอฮอล์ (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
10. โพแทสเซียมไดโครเมต $K_2Cr_2O_7$ (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
11. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต FAS (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
12. ไอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ Iso proply Alcohol (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
13. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ 0.5 N $BaCl_2$ (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
14. สารละลายโบรโมครีซอลกรีนกับเมธิลเรด (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
15. สารละลาย ออร์โทฟีแนนโทรลีน (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
16. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท NH_4OAc (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
17. สารละลายแอมโมเนียมออกซาเลท $(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$ (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
18. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ NH_4Cl (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
19. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ NH_4OH (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
20. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท $AgNO_3$ (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
21. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ NaCl (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
22. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH (AR grade บริษัท Carlo Erba Reagent)
23. ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวแท้ 100 %
24. ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ตรา เค.ยู. การ์เด้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเก็บตัวอย่างดิน

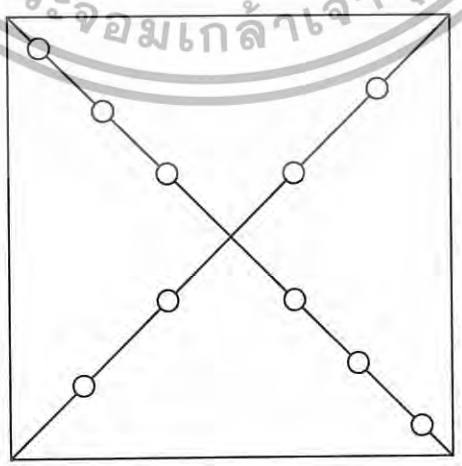
ดินตัวอย่างที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้ ทำการเก็บรวบรวมจากแปลงนาแห่งหนึ่งในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยมีพื้นที่การเก็บตัวอย่างด้วยแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 พื้นที่การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างดินจากแต่ละจุด โดยวิธี Equal interval on diagonal lines ซึ่งมีวิธีเก็บตัวอย่าง ดังนี้

1. แบ่งพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.5 x 1.5 เมตร ทั้งหมด 7 แปลง
2. ทำการลากเส้นทแยงมุมทั้ง 2 เส้น แบ่งกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง โดยแบ่งระยะห่างระหว่างจุด เท่ากับ 10 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แล้วขุดเก็บตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธี Equal interval on diagonal lines

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการเก็บตัวอย่างดินแต่ละจุดโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างดิน (Auger) ทั่วทั้งพื้นที่ตามที่กำหนด และทำการเก็บดินด้วย Core เพื่อหาความหนาแน่นรวมของดิน

4. แบ่งดินเป็น 4 ส่วน และนำมาหนึ่งส่วนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ส่วนที่เหลือเก็บไว้

5. นำดินหนึ่งส่วนนั้น มาตาก และทำการบดดิน คัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก

6. นำดินที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร ทำการคลุกเคล้าตัวอย่างดินให้เข้ากันในแต่ละแปลง

7. นำดินในทั้ง 7 แปลง จำนวนเท่าๆกัน มาคลุกเคล้าตัวอย่างดินเข้าด้วยกันเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

นำดินตัวอย่างที่เก็บรวบรวมจากข้อ 3.2 มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 รายละเอียดของวิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
1. ค่าพีเอช	pH meter 1:1 (soil : water)
2. ความเป็นกรดของดิน	วิธีแบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน / ไทเทรตด้วย ไฮโดรคลอริก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)
3. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	ทำให้อิ่มตัวด้วยประจุบวก / แอมโมเนียมอะซิเตต (คู่มือปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2, 2547)
4. ความชื้น (%)	อบแห้งที่ อุณหภูมิ 105 ^{0}C
5. ลักษณะเนื้อดิน	ไฮโดรมิเตอร์
6. ปริมาณสารอินทรีย์ (%)	Wet oxidation (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)
7. ความหนาแน่นรวมของดิน	Core method / อบแห้งที่ อุณหภูมิ 105 ^{0}C
8. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	การสกัดด้วย Bray II (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)
9. ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด	Microwave digestion / AAS
10. ปริมาณแคดเมียมชะละลาย	Waste extraction test / AAS (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การศึกษาสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

นำปุ๋ยตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ ตามมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์ / เครื่องมือ
1. ปริมาณสารอินทรีย์ในปุ๋ย	Wet oxidation
2. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	การสกัดด้วย Bray II

3.5 การศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

1. นำตัวอย่างดินใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว โดยให้มีอัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1:1
2. ตั้งทิ้งไว้นาน 2 และ 4 สัปดาห์ นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ปริมาณแคดเมียมชะละลาย และรูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินด้วยวิธีการสกัดลำดับขั้น (Sequential Extraction) ทำ 3 ซ้ำ
3. ทำการทดลองซ้ำตามวิธีข้างต้นแต่เปลี่ยนชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่
4. ทำชุดควบคุมโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ไม่เติมปุ๋ย

3.6 การศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

1. นำดินตัวอย่างใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และมูลไก่ โดยกำหนดให้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1:2
2. ตั้งทิ้งไว้นาน 3 สัปดาห์ นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด ปริมาณแคดเมียมชะละลาย และรูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินด้วยวิธีการสกัดลำดับขั้น (Sequential Extraction) ทำ 3 ซ้ำ
3. ทำการทดลองซ้ำตามวิธีข้างต้นแต่เปลี่ยนสัดส่วนของโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเป็น 1:1 และ 1.5:1 ตามลำดับ
4. ทำชุดควบคุมโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ไม่เติมปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

1. นำดินตัวอย่างใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และมูลไก่ โดยมีอัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมเท่ากับ 1:1 และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

2. นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด ปริมาณแคดเมียมชะละลาย และรูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินด้วยวิธีการสกัดลำดับขั้น (Sequential Extraction) ทำ 3 ซ้ำ

3. ทำการทดลองซ้ำตามวิธีข้างต้น แต่เปลี่ยนเปลี่ยนระยะเวลาสัมผัสเป็น 2 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ

4. ทำชุดควบคุม โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ไม่เติมปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินภายหลังการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential Extraction)

นำดินอย่างภายหลังการปรับเสถียรมาทำการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นเพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะรูปแบบต่างๆ ในดิน รูปแบบของแคดเมียมในดินภายหลังการปรับเสถียรทำการศึกษาด้วยวิธี Sequential Extraction อ้างอิงตามวิธีการของ (ปภานีย์, 2545) ซึ่งวิธีการทดลองสามารถสรุปได้ดังแผนภาพที่ 3.3

รูปที่ 3.3 แผนภาพวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิด คือ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ผลของชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร นอกจากนี้ยังทำการศึกษารูปต่าง ๆ ของแคดเมียมที่พบในดินทั้งก่อนและหลังปรับเสถียร โดยใช้วิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction) ผลการทดลองที่ได้เป็นดังนี้ คือ

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ในการศึกษาการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ทำการศึกษาโดยใช้ดินตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินในบริเวณห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

คุณสมบัติของดิน		ค่าที่วัดได้
ค่าพีเอช (อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1)		6.72±0.06
ค่าความเป็นกรดของดิน (meq/g ดินแห้ง)		0.06±0.03
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (meq/100 g)		54.20±1.04
ความชื้น (%)		3.00±0.03
การกระจายตัวของอนุภาค	% sand	48.01
	% silt	21.82
	% clay	30.17
ลักษณะเนื้อดิน		ดินร่วนเหนียวปนทราย
ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (%)		2.7±0.05
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg ดินแห้ง)		3.88
ความหนาแน่นรวม (kg/cm^3)		1.85±0.17
ความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมด (mg/ kg ดินแห้ง)		9.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน พบว่าดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีค่าพีเอช 6.72±0.06 แสดงว่าดินเป็นกลาง โดยมีค่าความเป็นกรดของดินเท่ากับ 0.06±0.03 meq/g.ดินแห้ง ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 54.20 ±1.04 meq/100 g ค่าความชื้น 3.00±0.03 % ลักษณะดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเท่ากับ 2.71±0.05 % ซึ่งจากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 2.5-3.5 % ถือว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ค่อนข้างสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2535) ทำให้มีปริมาณการดูดซับสารอินทรีย์ได้ดี จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินพบว่ามีค่าเท่ากับ 3.88 mg/kg และมีความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 9.57 mg/ kg ดินแห้ง ซึ่งเป็นปริมาณที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมซึ่งกำหนดให้ ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินต้องมีค่าไม่เกิน 37 mg/kg (กรมควบคุมมลพิษ, 2535)

จากความเข้มข้นแคดเมียมในดินตัวอย่างที่เก็บจากห้วยแม่ตาว มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน คณะผู้จัดทำจึงได้จำลองสมบัติของดิน โดยการเพิ่มปริมาณให้ดินมีความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 800 mg/kg ซึ่งสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ผ่านการเติมแคดเมียมมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน (หลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน)

ครั้งที่	คุณสมบัติของดิน	ค่าที่วัดได้
1	ความชื้น (%)	1.73±0.11
	ความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมด (mg/kg ดินแห้ง)	791.22±53.14
	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (mg / kg ดินแห้ง)	694.59±11.88
2	ความชื้น (%)	1.09±0.02
	ความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมด (mg / kg ดินแห้ง)	705.00±47.86
	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (mg / kg ดินแห้ง)	674.08±24.63

หมายเหตุ

<u>การเพิ่มปริมาณแคดเมียม ครั้งที่ 1</u> ใช้สำหรับศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วย ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

<u>การเพิ่มปริมาณแคดเมียม ครั้งที่ 2</u> ใช้สำหรับหาปริมาณและระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร

การเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมครั้งที่ 1 มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเป็น791.22 ±53.14 mg/kg ดินแห้ง ปริมาณแคดเมียมชะละลายเป็น 694.59±11.88 mg/kg ดินแห้ง ค่าความชื้นอยู่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.73±0.11 % ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมในครั้งที่ 2 มีความเข้มข้นแคดเมียมทั้งหมดเป็น 705.00 ±47.86 mg/kg ดินแห้ง ปริมาณแคดเมียมชะละลายเป็น 674.08±24.63 mg/kg ดินแห้ง ค่าความชื้นอยู่ที่ 1.09±0.02 %

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

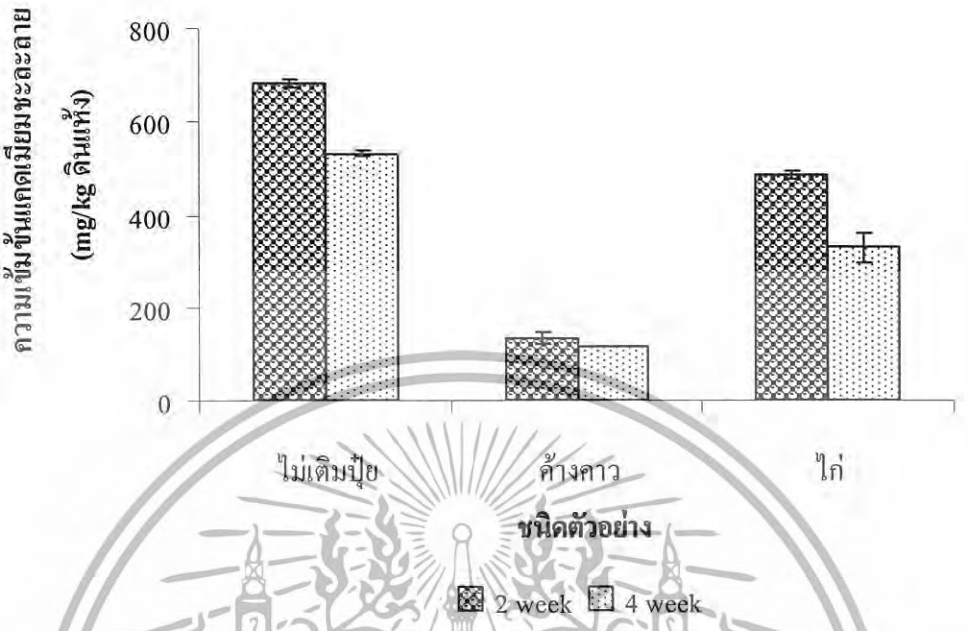
ชนิดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	ปริมาณสารอินทรีย์ (%)	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg P/kg)
ปุ๋ยมูลค้างคาว	0.88±0.01	19.78
ปุ๋ยมูลไก่	10.26±0.55	142.32±5.99

จากตารางที่4.3 พบว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่มีปริมาณสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.88 ±0.01 และ 10.26±0.55 % ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่า เท่ากับ 19.78 และ 142.32 ±5.99 mg/kg ดินแห้ง ตามลำดับ

4.2 ศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ซึ่งใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม เท่ากับ 1:1 และใช้ระยะเวลาสัมผัสในการปรับเสถียร 2 และ 4 สัปดาห์ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 และ4 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ย อินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย แถบความผิดพลาด (error) แสดง ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยและดินตัวอย่างที่ไม่ได้เติมปุ๋ย พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายของดินที่เติมปุ๋ยจะมีค่าน้อยกว่าดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย โดยดินที่ไม่มีการเติมปุ๋ยจะมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ เท่ากับ 682.81±10.21mg/kg ดินแห้ง และที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์ จะมีค่าเท่ากับ 533.08±7.46 mg/kg ดินแห้ง ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายเท่ากับ 134.98±13.97 mg/kg ดินแห้ง และที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์ จะมีค่าเท่ากับ 116.52 ±0.79 mg/kg ดินแห้ง ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ จะมีค่าเท่ากับ 488.80±7.71 mg/kg ดินแห้ง ส่วนที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์ จะมีค่าเท่ากับ 331.31±32.91 mg/kg ดินแห้ง

เมื่อเปรียบเทียบผลของความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ทั้งระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่มีค่ามากกว่าของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีความสามารถในการลดความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายออกมาได้ดีกว่า ซึ่งความสามารถในการลดความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายที่ดีกว่าของปุ๋ยอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดเม็ดมูลค้างคาว อาจเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในปุ๋ยทั้งสองชนิด จากตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ พบว่าปริมาณธาตุแคลเซียม ในปุ๋ยอินทรีย์มูลค้างคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ มีค่าเท่ากับ 18.01% และ 2.6% ตามลำดับ เนื่องจากแคลเซียมที่มีอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดซึ่งอยู่ในรูป $CaHPO_4$ เมื่อเรานำปุ๋ยมาปรับเสถียร ทำให้แคลเซียมที่อยู่ในปุ๋ยถูกแทนที่ด้วยแคดเมียม ซึ่งน่าจะทำให้เกิดเป็นสารประกอบ $CdHPO_4$ ซึ่งทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายมีค่าน้อยลง ประสิทธิภาพการปรับเสถียรของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวจึงมากกว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมดังรูปที่ 4.2

การศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยจะได้ค่าดังแสดงในรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิด เทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย แถบความผิดพลาด(error) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยและดินตัวอย่างที่ไม่ได้เติมปุ๋ย พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่เติมปุ๋ยจะมีค่ามากกว่า

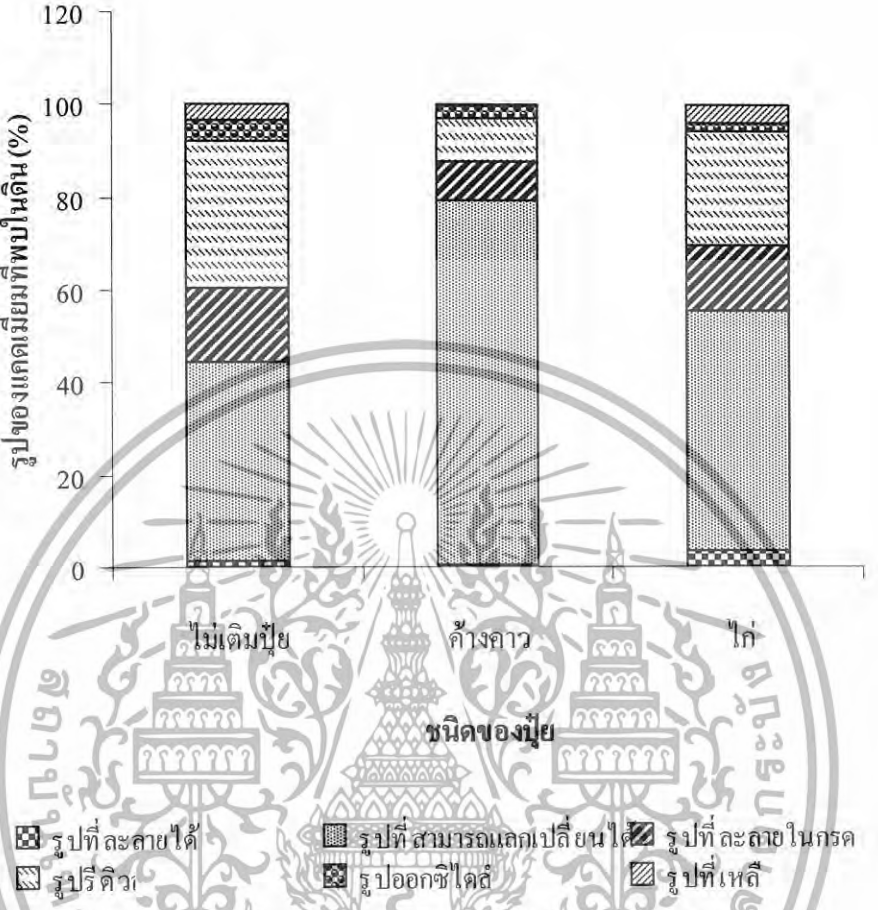
เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย ซึ่งดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย มีค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียม ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ เท่ากับ 1.70±1.47 % ส่วนที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ 23.25±1.07% ซึ่งค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียม ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์มีค่ามากกว่าที่ 2 สัปดาห์ โดยอธิบายได้จากการดูดซับทางธรรมชาติ เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสมากขึ้น การดูดซับของดินกับแคดเมียมก็จะมีเพิ่มขึ้นนั้นเอง ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว มีค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ เท่ากับ 80.24±2.05% ส่วนที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ เท่ากับ 78.14±0.15 % ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่มีค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ เท่ากับ 28.41±1.13% ส่วนที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ เท่ากับ 37.85±6.17 %

เมื่อเปรียบเทียบผลของความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ พบว่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมในดินของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว มีค่ามากกว่าของมูลไก่ ซึ่งอธิบายเช่นเดียวกับเรื่อง ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 และ4 สัปดาห์ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณของแคลเซียมนั่นเอง

จากการศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ยและดินที่เติมปุ๋ย โดยการสกัดแบบลำดับขั้น ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

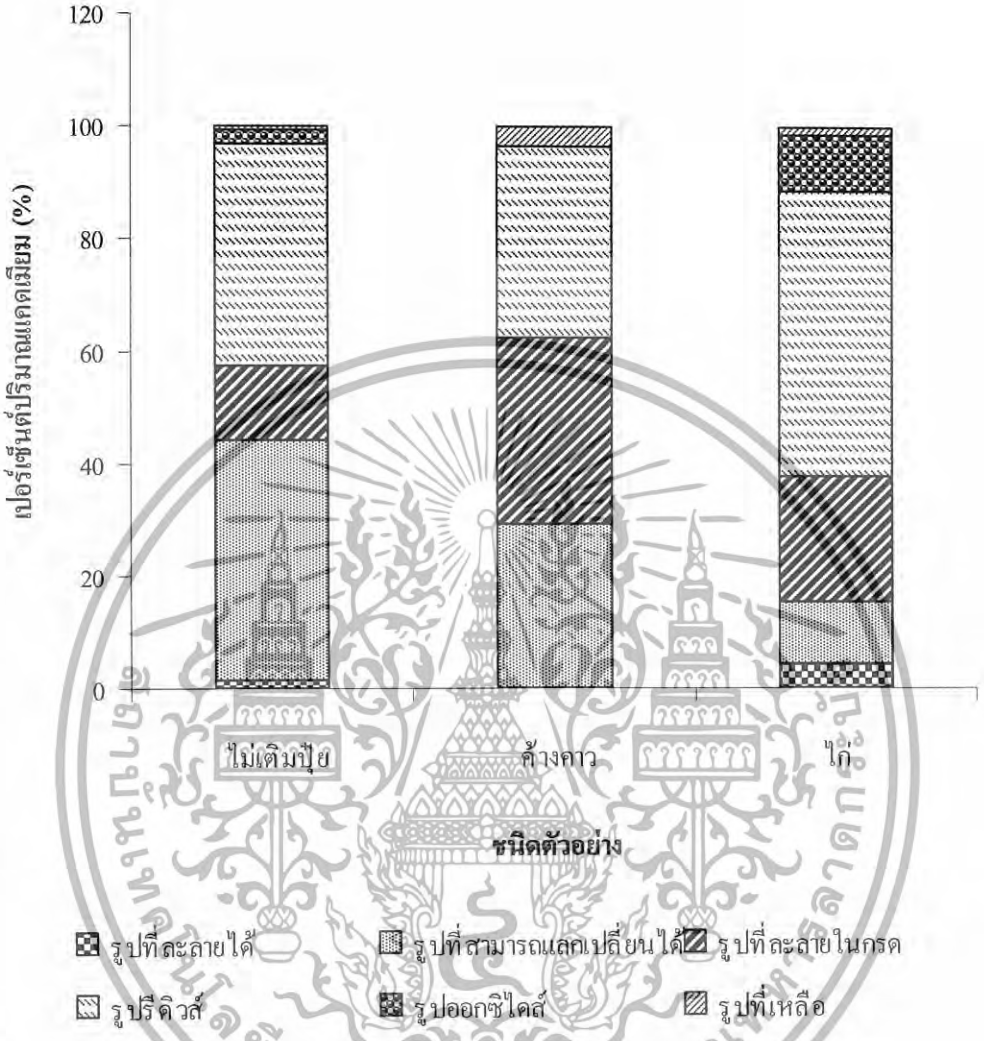


รูปที่ 4.3 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.3 พบว่ารูปของแคดเมียมจากการสกัดแบบลำดับขั้นของการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ย มีสัดส่วนแคดเมียมอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และรูปที่รีดิวซ์ได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.5% และ32.13% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบรูปของแคดเมียมหลังจากการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและมูลไก่ จะพบว่าแคดเมียมในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ มีแนวโน้มมากขึ้น อธิบายได้จากการที่แคดเมียมได้ถูกแลกเปลี่ยนที่บริเวณสารอินทรีย์ในปุ๋ยที่เติมลงมานั้นเอง ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์แคดเมียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย

จากการศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ยและดินที่เติมปุ๋ย โดยการสกัดแบบลำดับขั้น ที่ระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.4 พบว่ารูปของแคดเมียมจากการสกัดแบบลำดับขั้นของการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ย มีสัดส่วนแคดเมียมอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และรูปที่รีดิวซ์ได้เป็นส่วนใหญ่ โดยมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณแคดเมียมในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 42.68% และในรูปที่รีดิวซ์ได้ เท่ากับ 39.35% ส่วนดินที่ปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว พบว่ามีปริมาณแคดเมียมอยู่ในรูปรีดิวซ์มากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 33.73% รองมาคือ รูปที่ละลายในกรด มีค่าเท่ากับ 33.36 % ลำดับต่อมาอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 29.19% ในกรณีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ พบว่ารูปแบบต่าง ๆ ของแคดเมียมที่พบในดินภายหลังการปรับเสถียรส่วนใหญ่อยู่ในรูปรีดิวซ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50.61% รองลงมาคืออยู่ในรูปที่ละลายในกรด มีค่าเท่ากับ 22.65% ถัดลงมาอยู่ในรูปสามารถแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งมาค่าเท่ากับ 11.19%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบของแคดเมียมหลังจากการปรับเสถียรกับดินที่ไม่เติมปุ๋ย พบว่ารูปแบบแคดเมียมของดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีแนวโน้มอยู่ในรูปที่ละลายได้, รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และรูปออกซิไดส์ซึ่งจะมีค่าลดลง อีกทั้งรูปที่ละลายในกรด และรูปที่เหลือ มีแนวโน้มของแคดเมียมเพิ่มขึ้น ส่วนรูปแบบแคดเมียมของดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่มีแนวโน้มของแคดเมียมในรูปต่างๆ ดังนี้ รูปที่ละลายได้, รูปที่ละลายในกรด, รูปรีดิวซ์, รูปออกซิไดส์ และรูปที่เหลือจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนรูปแคดเมียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มีแนวโน้มลดลง

จากการศึกษาค่าพีเอชของดินที่ไม่เติมปุ๋ยและดินที่เติมปุ๋ยหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเป็น 1:1 มีผลดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอชในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเป็น 1:1

ชนิดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	pH	
	2 สัปดาห์	4 สัปดาห์
ค้างคาว	7.26 ± 0.01	7.01 ± 0.05
ไก่	7.25 ± 0.01	6.77 ± 0.07

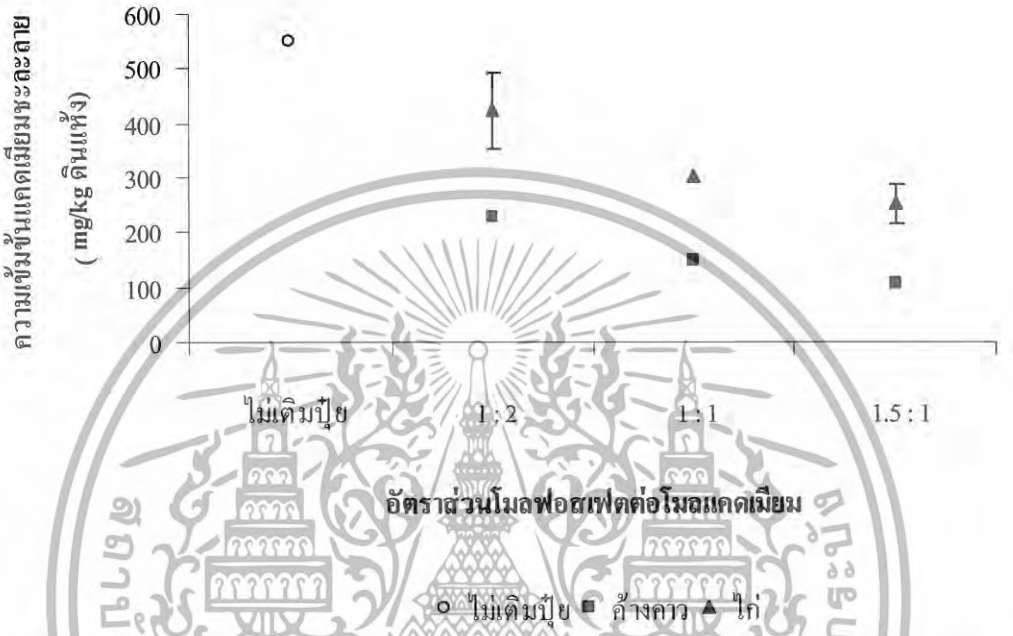
จากตารางที่ 4-4 พบว่า ดินภายหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและมูลไก่ ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ มีค่าพีเอช อยู่ในช่วงที่เป็นกลางค่อนไปทางด่าง โดยที่ระยะเวลาสัมผัส 2 สัปดาห์ ดินมีค่าพีเอช เท่ากับ 7.26 ±0.01 และ7.25 ± 0.01 ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาสัมผัสเป็น 4 สัปดาห์ ดินมีค่าพีเอช เท่ากับ 7.01 ± 0.05 และ 6.77 ± 0.07 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดไม่ทำให้พีเอชของดินเปลี่ยนไป จนเกิดสภาพปัญหาดินเปรี้ยว โดยค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นจากดินก่อนปรับเสถียรที่มีค่าเพียง 6.72 อาจเกิดจากแคลเซียมในปุ๋ยถูกแทนที่ด้วยแคดเมียม ทำให้แคลเซียมถูกชะออกมาโดยที่แคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอเนต ทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นนั่นเอง

4.3 ศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร

ในการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร ทำการทดลองโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปของแคดเมียมที่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ และทำการแปรค่าสัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1:2, 1:1 และ1.5:1 ตามลำดับ และใช้ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.5 ปริมาณแคดเมียมชะละลายในดินตัวอย่างที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นตัวปรับเสถียรที่ระยะ เวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยมูลอัดเม็ดมูลไก่ แถบความ ผิดพลาด (error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.5 พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายในดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ยจะมีค่าสูงกว่าดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทั้งสองชนิด โดยดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว จะมีปริมาณแคดเมียมชะละลายเท่ากับ 227.25, 148.46 และ 105.64 mg/kg ดินแห้ง ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่จะมีปริมาณแคดเมียมชะละลายเท่ากับ 424.22, 302.95 และ 252.82 mg/kg ดินแห้ง ที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:2, 1:1 และ1.5:1 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายของดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวกับมูลไก่ พบว่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวในทุกอัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ในสัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม ดังแสดงในรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ โดยใช้ปุ๋ยอัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอัดเม็ดมูลไก่ ในสัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียมที่แตกต่างกัน แถบความผิดพลาด (error) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่าน้อยมาก

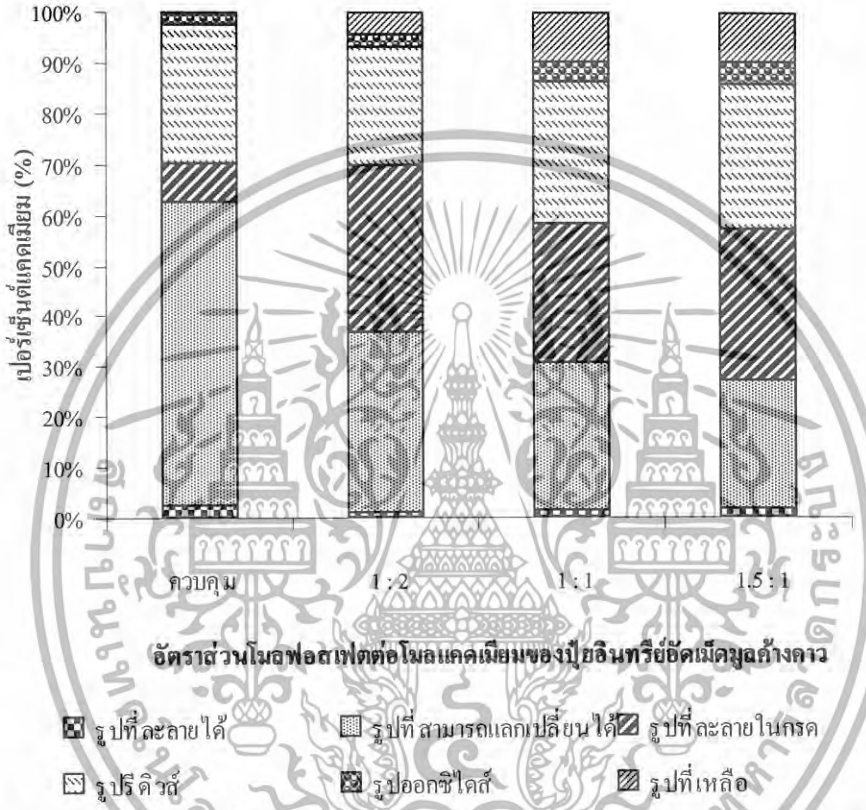
จากรูปที่ 4.6 พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ยมีค่าต่ำกว่าดินที่เติมปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.55 % ซึ่งอธิบายได้ว่า ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นน่าจะเกิดจากการดูดซับตามธรรมชาติ ในดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว จะมีค่าเท่ากับ 58.62 %, 72.97 % และ 80.76 % ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่จะมีค่า เท่ากับ 22.75 %, 44.84% และ 53.96 % ที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:2, 1:1 และ1.5:1 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินของดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวกับมูลไก่ พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว ในทุกอัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม มีค่ามากกว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ แสดงว่าปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีประสิทธิภาพดีที่สุด และปริมาณที่ดีที่สุด คือ ที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม เท่ากับ 1.5:1

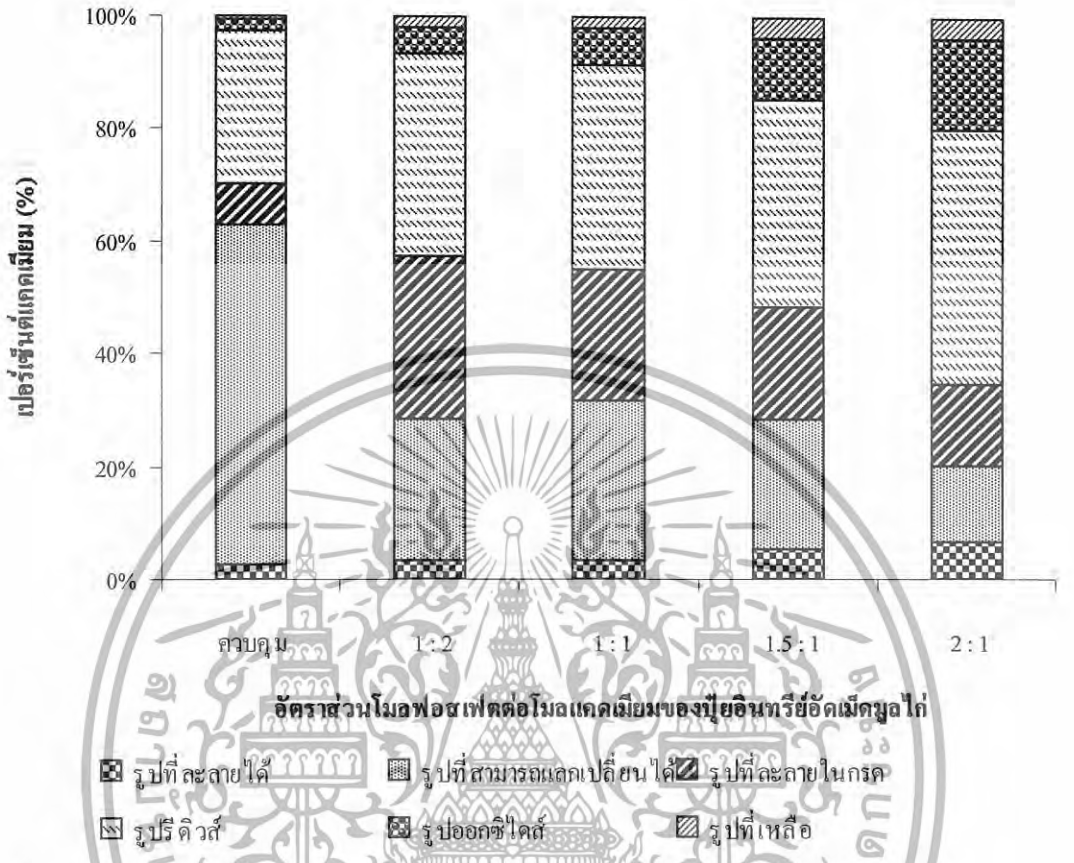
จากการศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.7 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.7 พบว่ารูปของแคดเมียมจากการสกัดแบบลำดับขั้นของการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ย มีสัดส่วนแคดเมียมอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณแคดเมียมในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 60.31 % รองลงมาคือ รูปรีดิวซ์มีค่าเท่ากับ 27.30 % ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวในอัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:2, 1:1 และ 1.5:1 ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่พบว่าสามารถลดปริมาณแคดเมียมที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ให้มีปริมาณน้อยลงได้มาก แต่จะเพิ่มปริมาณแคดเมียมให้อยู่ในรูปรีดิวซ์, รูปออกซิไดส์ และรูปที่เหลือมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 รูปของแคดเมียมที่พบในดินหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์

จากรูป 4.8 พบว่ารูปของแคดเมียมจากการสกัดแบบลำดับขั้นของการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ไม่เติมปุ๋ย มีสัดส่วนแคดเมียมอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณแคดเมียมในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 60.31 % รองลงมาคือ รูปรีดิวซ์มีค่าเท่ากับ 27.30 % ส่วนดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ในอัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:2, 1:1 และ 1.5:1 โดยส่วนใหญ่พบว่าสามารถลดปริมาณแคดเมียมที่อยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ให้มีปริมาณน้อยลงได้มาก ซึ่งจะเปลี่ยนรูปแคดเมียมไปอยู่ในรูปรีดิวส์, รูปออกซิไดส์ และรูปที่เหลือมากขึ้น

จากการศึกษาค่าพีเอช ในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินระยะเวลา 3 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 4-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินระยะเวลา 3 สัปดาห์

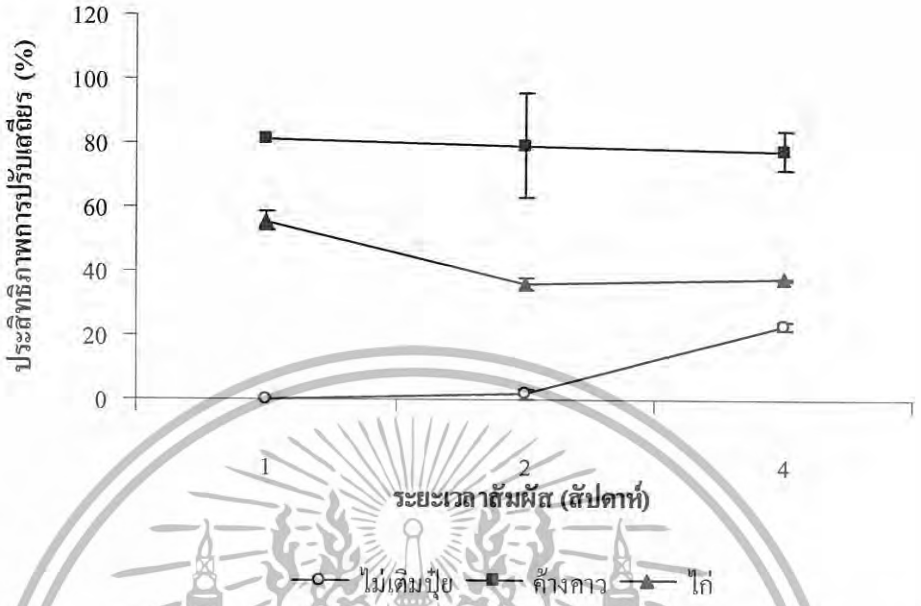
ชนิดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม	pH
ไม่เติมปุ๋ย	-	6.56 ± 0.08
ค้างคาว	1:2	7.28 ± 0.05
	1:1	7.43 ± 0.14
	1:1.5	7.56 ± 0.05
	2:1	7.13 ± 0.01
ไก่	1:2	7.27 ± 0.08
	1:1	7.48 ± 0.06
	1:1.5	7.31 ± 0.06
	2:1	7.23 ± 0.05

จากตารางที่ 4-5 พบว่า ค่าพีเอชของดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ยหลังจากการปรับเสถียร มีค่าเท่ากับ 6.56±0.08 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าดินก่อนปรับเสถียรที่มีค่าเท่ากับ 6.72±0.06 เนื่องจากอินทรียวัตถุที่อยู่ในดินเกิดการสลายตัว ทำให้มีการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งกรดอินทรีย์นี้มีค่าพีเอชเป็นกรดอ่อน(คมสรร, 2547) ส่วนค่าพีเอชของดินภายหลังการปรับเสถียรที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น อาจเป็นเพราะแคลเซียมที่อยู่ในปุ๋ยถูกแทนที่ด้วยแคดเมียม ทำให้แคลเซียมถูกชะออกมาแล้วเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอเนต ส่งผลให้ค่าพีเอชในดินมีค่าสูงขึ้นนั่นเอง

4.4 ผลของระยะเวลาในการสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

ศึกษาระยะเวลาในการสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินและรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่สัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1:1 โดยแปรค่าระยะเวลาสัมผัสเป็น 1, 2 และ 4 สัปดาห์ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 2 และ4 สัปดาห์ เมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มูลไก่ และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว เป็นตัวปรับเสถียรที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1:1 แถบความผิดพลาด (error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่า น้อยมาก

จากรูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1:1 พบว่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่เติมปุ๋ยแล้วมีค่ามากกว่าดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย ซึ่งค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ยที่ระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ เท่ากับ 1.7 %±1.47 และ 23.25 %±1.07 ตามลำดับ แต่ที่ระยะเวลาสัมผัสที่ 1 สัปดาห์ ไม่มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียร ส่วนค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่เติมปุ๋ยค้างคาวที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 2 และ 4 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดิน เท่ากับ 81.24%±2.84 ,79.63 %±2.11และ 78.14 %±0.15 ตามลำดับ ส่วนดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 2 และ 4 สัปดาห์ มีค่าประสิทธิภาพการการปรับเสถียร เท่ากับ 55.61 % ±0.014, 36.24%±16.72 และ 37.85 %±6.17 ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่าค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพดีที่สุด ส่วนค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพดีที่สุด ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินหลังการปรับเสถียรที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ของปุ๋ยอินทรีย์มูลค้างคาวมีประสิทธิภาพดีที่สุด อาจเกี่ยวข้องมาจากปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการปรับเสถียรมีปริมาณมาก เพราะว่าในการศึกษาครั้งนี้คณะผู้ทำการทดลองได้คำนวณเทียบเป็นโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม โดยจากการทดลองจะได้ว่าปริมาณฟอสเฟตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีค่าน้อย จึงทำให้ต้องใช้ปริมาณปุ๋ยเป็นจำนวนมากในการทดลอง ทำให้แคดเมียมสามารถดูดซับกับเนื้อปุ๋ยได้ดี ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินมีค่าสูงตั้งแต่สัปดาห์แรก ส่วนค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ยอาจมาจากการดูดซับตามธรรมชาติ ในระยะเวลาสัมผัส 4 สัปดาห์

จากการศึกษาค่าพีเอช ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่สัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเป็น 1:1 แสดงดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการศึกษาระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่สัดส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเป็น 1: 1

ระยะเวลาสัมผัส (สัปดาห์)	pH	
	มูลค้างคาว	มูลไก่
1	7.09 ± 0.01	7.38 ± 0.02
2	7.26 ± 0.01	7.25 ± 0.01
4	7.01 ± 0.05	6.77 ± 0.07

จากตารางที่ 4-6 พบว่าค่าพีเอชของดินภายหลังการปรับเสถียรมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะแคลเซียมที่อยู่ในปุ๋ยถูกแทนที่ด้วยแคดเมียม ทำให้แคลเซียมถูกชะออกมาแล้วเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอเนต ส่งผลให้ค่าพีเอชในดินมีค่าสูงขึ้นนั่นเอง ส่วนค่าพีเอชของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจาก 1 สัปดาห์ เป็น 2 และ 4 สัปดาห์ เนื่องจากอินทรียวัตถุที่อยู่ในดินเกิดการสลายตัว ทำให้มีการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งกรดอินทรีย์นี้มีค่าพีเอชเป็นกรดอ่อน(คมสรร, 2547) จึงทำให้ค่าพีเอชลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิด คือ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตัวอย่าง ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และระยะเวลาสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร นอกจากนี้ยังทำการศึกษารูปแบบต่าง ๆ ของแคดเมียมที่พบในดินทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียร ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มีลักษณะทางกายภาพและเคมี ดังนี้ มีค่าพีเอช 6.72±0.06 ความเป็นกรดของดินเท่ากับ 0.06±0.03 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัมดินแห้ง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 54.20±1.04 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำหนักดินแห้ง 100 กรัม มีความชื้น 3.00±0.03 % ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) มีปริมาณอินทรียวัตถุ 2.71±0.05% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าเท่ากับ 3.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง และมีความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 9.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง

จากการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมในดินและรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเป็นตัวปรับเสถียร ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ พบว่าดินตัวอย่างที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวเป็นตัวปรับเสถียรมีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรมากที่สุด เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวมีค่ามากกว่าค่าของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ที่ระยะเวลาสัมผัส 2 และ 4 สัปดาห์ และจากการสกัดแบบลำดับขั้นพบว่ารูปของแคดเมียมในดิน ส่วนใหญ่อยู่ในรูปรีดิวซ์, รูปที่ละลายได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และมีแนวโน้มหลังการปรับเสถียรดังนี้ คือ รูปของแคดเมียมที่ละลายได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้จะลดลง เมื่อเทียบกับรูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินชุดควบคุม (ไม่เติมปุ๋ย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรในดิน และรูปของแคดเมียมที่พบในดิน โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 ชนิดเป็นตัวปรับเสถียร ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ ที่ระยะเวลาในการสัมผัส 3 สัปดาห์ พบว่าดินตัวอย่างที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวในอัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 1.5:1 เป็นตัวปรับเสถียรที่มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรมากที่สุด ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการบำบัด เท่ากับ 80.76 ±1.67% และจากการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่ารูปของแคดเมียมที่พบในดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวสามารถเปลี่ยนรูปแคดเมียมที่อยู่ในรูปละลายได้ และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ให้มีค่าที่ลดลง อีกทั้งยังพบว่าแคดเมียมอยู่ในรูปละลายได้ในกรด, รูปรีดิวซ์, รูปออกซิไดส์ และรูปที่เหลือ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นแทน เมื่อเทียบกับรูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินชุดควบคุม(ไม่เติมปุ๋ย)

จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการสัมผัสของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร ซึ่งทำการศึกษาที่ระยะเวลาสัมผัส เท่ากับ 1, 2 และ 4 สัปดาห์ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม เท่ากับ 1:1 พบว่าค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว และมูลไก่ ที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพดีกว่าที่ระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ โดยมีค่าเท่ากับ 81.24±2.84 % และ 55.61±0.014 % ตามลำดับ

จากการรวบรวมผลที่ได้ทำการศึกษา สามารถสรุปได้ว่า ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาว ที่อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม เท่ากับ 1.5:1 ที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์ มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาหาค่าการละลายของปุ๋ยอินทรีย์ และควรกรองเอาเฉพาะสารละลายปุ๋ยเพื่อให้ได้ปริมาณฟอสเฟตที่ละลายได้ที่แน่นอน ในการนำมาปรับเสถียรและเป็นการควบคุมเปอร์เซ็นต์ recovery หรือเปลี่ยนจากปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เป็นปุ๋ยน้ำแทน
2. ศึกษาถึงการปรับเสถียรโลหะชนิดอื่น และอิทธิพลของโลหะผสมที่มีผลต่อการปรับเสถียร
3. ควรทำการวิเคราะห์ติดตามค่าแคลเซียมในดินก่อนและหลังการปรับเสถียร ว่าแคลเซียมมีผลอย่างไรต่อการปรับเสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ.2535.**มาตรฐานคุณภาพดิน.** [Online]. Availble ://www.pcd.go.th/info_serv /reg_std_soil01.html.

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

กรมพัฒนาที่ดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.2548. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อนตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1**. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร.2544. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. กรุงเทพฯ: ชุมชนการเกษตรแห่งประเทศไทย.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม.2548. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 7. กรุงเทพฯ.

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และกลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์.2547.**คู่มือปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2** .ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กิตติวรรณ กิจปกรณ์สันติ, ภาวิไล ส่งแสง และอรวรรณ บุญเพชรแก้ว.2547. **การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยฟอสเฟต**. วิทยาพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เกศิณี พกุลานนท์.2547.**การทำให้โลหะหนักจำนวนมากที่ปนเปื้อนในดินเสถียร.**เอกสารประกอบการเรียนวิชาสัมมนา สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา.2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คมสรร ศิริติกุล.2547. **การล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ**. โครงงานพิเศษสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปภานีย์ ศรีวิริยานุภาพ. 2545. **การล้างดินกากตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะแคดเมียมโดยใช้สารละลายการผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์กับโซเดียมอีดีทีเอ**. วิทยาพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิชชาภา บุญญคง, สกุลรัตน์ รัตนายน และหนึ่งฤทัย บริรักษ์.2548. **การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยฟอสเฟต**. โครงงานพิเศษสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ไพบูรณ์ วิวัฒน์วงศ์วนา.2546. **เคมีของดิน (Soil chemistry)** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา.2538. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา.2549.[Online]. Availble ://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_21_001c.asp?info_id=258.

สุธิลา ตุลยะเสถียร,โกศล วงศ์สวรรค์ และสถิต วงศ์สวรรค์. 2544. **มลพิษสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทรวมสาส์น

Bradley S.C., T.Taler E., James E.K., J. Dykstra E. Jr., Elisabeth L.S., and Carl A.F.2001. Heavy metal speciation and leaching behaviors in cement base solidified/stabilized waste materials. **Journal of Hazardous Material.** A82: 215-230.

Carter. M.R. **Soil Sampling and Methods of Analysis**, USA, Lewis Publishers, Florida, 1993.

Jimmy J, Street, W.L.Lindsay, and B.R. Sabey1977. Solubility and plant uptake of cadmium in soils amends with cadmium and sewage sludge. **Environmental Quality**. 6(1):72-77

Ricardo, M., Xinde, C., Ming, C.2003. Field assessment of lead immobilization in a contaminated soil after phosphate application .**The Science of The Total Environment**, 305: 117-127.

T. Taylor Eighmy, Bradley S. Crannell, James E. Krzanowski, Leslie G. Butler, Frank K. Cartledge, Earl F. Emery, J. Dykstra Eusden Jr, Elisabeth L. Shaw and Carl A. Francis.Characterization and phosphate stabilization of dusts from the vitrification of MSW combustion residues. **Waste Management,** 18(1998) 513-524.

Tessier. A., Campbell. P.G.C., Bisson. M. "Sequential extraction procedure for speciation of particulate trace metals." Anal.Chem., 51, 844-851.1979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. การวัดค่าพีเอช

1. ชั่งดินแห้ง 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไป 5 มล. พร้อมบันทึกหมายเลขตัวอย่างดิน
2. กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ขณะที่ตั้งสารละลายทิ้งไว้ ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดพีเอช กับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 จุ่มอิเลคโทรดลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลากวน โดยใช้การหมุนอิเลคโทรดเบาๆ จากนั้นอ่านค่าพีเอช

2. การวิเคราะห์ความเป็นกรดของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

1. ชั่งดิน 5-10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล.
2. เติม(สารละลายแบเรียมคลอไรด์ 0.5 นอร์มอลและไตรเอทานอลามีน 0.055 นอร์มอล) 50 มล. ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน
3. กรองแบบลดความดันและล้างดินด้วยแบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน 2-3 ครั้ง เทสารละลายที่กรองได้ใส่ขวดวัดปริมาตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มล. ด้วยสารละลายแบเรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน
4. เทสารละลายดินที่กรองได้ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล. ล้างขวดด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เติมอินดิเคเตอร์ผสม 4-5 หยด จะได้สารละลายสีเขียว
5. ทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริคก่อน (ให้ได้ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ถ้าไม่ใกล้เคียงกับ 0.2 นอร์มอล ต้องเตรียมใหม่
6. ทำแบลงค์ เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน บันทึกปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐาน 0.2 นอร์มอล ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลายดินและแบลงค์ (สารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูม่วงที่จุดยุติ)
7. คำนวณหาความเป็นกรดของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{ความเป็นกรดของดิน} = \frac{(B-S)\times N\times 100}{X} \text{ meq/g dry soil} \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มอล)

B = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับแบลงค์ (มล.)

S = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างดิน(มล.)

X = น้ำหนักของดิน (กรัม)

3. การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (กรองแก้ว และกลิ่นสุคนธ์, 2547)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 5-10 กรัม (ละเอียดสองตำแหน่งทศนิยม) ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล. เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 นอร์มอล ลงไป 60 มล. ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน
2. เขย่าสารละลายดิน 30 นาที โดยใช้เครื่องเขย่า จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงนาน 5 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง
3. ล้างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 นอร์มอล ครั้งละ 30 มล. นำไปปั่นเหวี่ยงแยกเอาส่วนใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (การทดสอบแคลเซียมทำได้โดยนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้ง ประมาณ 10 มล. ใส่หลอดทดลอง หยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 นอร์มอล, แอมโมเนียมออกซาเลต 10 % และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50 % อย่างละ 2-3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าตะกอนหรือสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่ต้องล้างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตตต่อไปอีก)
4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 นอร์มอล อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 7 ครั้ง ๆ ละ 30 มล. โดยในการล้างแต่ละครั้งให้นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงนาน 3-5 นาที เพื่อแยกส่วนใสออกจนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ในดิน ใช้หลอดหยดดูดเฉพาะส่วนที่ใสมาใส่ภาชนะอื่นเพื่อทดสอบคลอไรด์ การทดสอบคลอไรด์ทำโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.1 นอร์มอล 2-3 หยดลงในสารละลายส่วนที่ใสจากการปั่นเหวี่ยง ถ้ามีตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) เกิดแสดงว่ายังมีคลอไรด์เหลืออยู่ ต้องล้างดินด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์ต่อไป
5. นำสารละลายที่ได้จากข้างต้นทิ้งไป นำดินที่ได้มาล้างต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10 % เพื่อไล่แอมโมเนียมไอออนในดิน โดยล้างครั้งละ 30 มล. ซ้ำ 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยง (เก็บส่วนใสไว้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำส่วนใสที่ได้จากสารละลายดินมาใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรรวมด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มล.
7. นำสารละลายที่ได้ไปกลั่น เพื่อไล่แอมโมเนียออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงไป 25 มล. ใส่ในขวดกลั่นเจห์ดาลโดยใช้ปลายคอนเดนเซอร์จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริค 3 % จำนวน 50 มล. ซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2-3 หยด กลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วง เป็นสีเขียว ขณะกลั่นควรตรวจสอบว่าน้ำหล่อเย็นที่เข้าและออก ช่วยดักให้ก๊าซแอมโมเนียกลั่นตัวได้ดีหรือไม่ ถ้าอุณหภูมิน้ำออกและที่ใช้ภาชนะที่ใส่สารละลายกรดบอริคสูงมากจะไม่สามารถจับก๊าซแอมโมเนียด้วยกรดบอริคได้สมบูรณ์ ควรใช้น้ำแข็งหล่อเย็นรอบ ๆ ภาชนะที่ใส่สารละลายกรดบอริคด้วย
8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
9. กลั่นแบลงค์ และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$CEC = \frac{[(A-B)N \times 100]}{X} \text{ มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน} \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มล.)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐาน (นอร์มอล)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

4. การหาค่าความชื้น (Carter, 1993)

1. ชั่งกระจกนาฬิกาที่สะอาด
2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 กรัม ลงบนกระจกนาฬิกาจดบันทึกน้ำหนักเปียก
3. นำไปเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

   % ความชื้น = [(น้ำหนักเปียก-น้ำหนักแห้ง) x 100] / น้ำหนักเปียก .....(3)
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การหาลักษณะเนื้อดิน (กรองแก้ว และกลิ่นสุคนธ์, 2547)

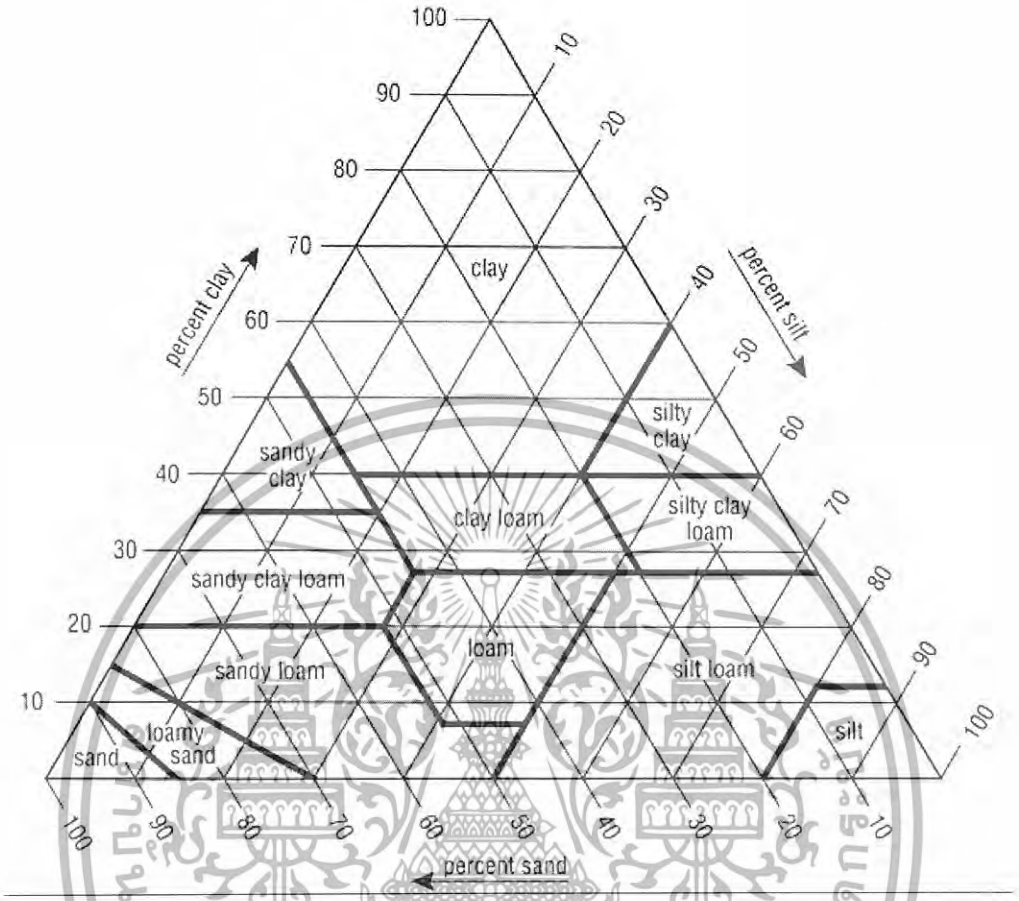
<u>การปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์</u>

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

<u>การอ่านค่าจากสารแขวนลอย</u>

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสของดิน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การคำนวณ

$$\% \text{ Sand} = [(W - R_{40s}) \times 100] / W \quad \text{.....(4)}$$

$$\% \text{ Clay} = [(R_{2hr}) \times 100] / W \quad \text{.....(5)}$$

$$\% \text{ Silt} = 100 - (\%\text{Sand} + \%\text{Clay}) \quad \text{.....(6)}$$

กำหนดให้

W = น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

R_{40s} = ค่าจากไฮโดรมิเตอร์ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่ 40 วินาที

R_{2hr} = ค่าจากไฮโดรมิเตอร์ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่ 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การหาปริมาณอนุภาคต่าง ๆ

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

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

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

% Silt = 100-(34-36) = 30 %

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

7. การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในดินและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

วิธี Walkley and Black

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

การคำนวณ

$$\% \text{ Organic carbon} = \left[\frac{(B-T)N}{B}\right] \times \left[\frac{100}{77}\right] \times 0.003 \times \left[\frac{100}{X}\right] \times 10 \quad \text{..... (7)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอนโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์

T = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน

X = น้ำหนักดิน (กรัม)

% Organic matter = % Organic carbon × 1.724 .....(8)

หรือ $$\% \text{ Organic matter} = \left[\frac{(B-T)N}{B}\right] \times \left[\frac{100}{77}\right] \times \left[\frac{100}{58}\right] \times 0.003 \times \left[\frac{100}{X}\right] \times 10$$ .....(9)

8. การหาความหนาแน่นรวม (Carter, 1993)

วิธี Core method

1. ชั่งน้ำหนักดิน core และบันทึกน้ำหนัก
2. เตรียมพื้นที่ที่จะขุดเอาตัวอย่าง
3. กดแท่งทรงกระบอก (Cylindrical cores) ลงไปตามระดับที่ต้องการให้ดินเต็ม core แล้วขุดรอบ ๆ Cylindrical cores เพื่อนำขึ้นมา
4. ใช้มีดตัดดินส่วนที่เกิน Cylindrical cores ออก แล้ววางบนกระจกนาฬิกาที่ทราบน้ำหนักแล้ว
5. นำไปใช้ชั่งน้ำหนัก จะได้ Wet soil + core (กรัม)
6. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์
7. นำไปชั่งน้ำหนัก จะได้ Dry soil + core (กรัม)
8. นำไปคำนวณหาความหนาแน่นรวม (Bulk density)

การคำนวณ

$D_0 = m/v$ ..... (10)

เมื่อ D_0 = ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

m = น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

v = ปริมาตรของ Cylindrical cores ($v = \pi d^2 h/4000$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

(กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

วิธีสารละลายสกัด Bray II

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1.0 กรัมใส่ในขวดชมพู่ ขนาด 50 มล.
2. เติมสารละลายสกัด Bray II (0.03 N NH_4F, 0.1 N HCl) 10 มล. เขย่า 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง No. 5 ขนาด 11.0 เซนติเมตร
3. ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ในข้อ 2 อัตราส่วน 1 ส่วน ต่อ working solution (สารละลายกรดแอสคอบิก) 16 ส่วน (เท่ากับ 17 เท่า โดยใช้ Auto-dilutor) ลงในหลอดแก้ว ทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง นำไปอ่านค่าความเข้มข้น (concentration) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร
4. ทำแบลงค์ และชุดของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, 10และ 15 mg/l เตรียมจาก สารโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต) เช่นเดียวกับข้อ 3

การคำนวณ

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช} = \frac{B \times df(sample) \times R}{A \times df(s\tan dard)} \text{ mg/kg} \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)

B = สารละลายสกัด (มล.)

R = ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set

df = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

ดังนั้น ถ้าไม่มีการทำเจือจาง

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (P)} = \frac{B \times R}{A} \text{ mg/kg} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

10. การหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมด

วิธี Microwave digester

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ถ้าตัวอย่างไม่ครบทุก vessel ให้วาง vessel ที่มีสารให้สมดุลหรือใช้ vessel เปล่าวางแทน

5. ไขให้แน่นด้วย tension wrench (ด้ามสีดำ) เมื่อแน่นจะได้ยินเสียง "คลิก"
6. วาง polypropylene rotor body ใน microwave unit โดยสวมให้ตรงกับแกน
7. กำหนดค่าของ time, power, pressure, temp ตามที่กำหนดใน program ที่เลือกไว้
8. กด start เครื่องจะ check และทำตาม program
9. เมื่อสิ้นสุดการ digest ตาม program เครื่องจะแสดง switch off microwave unit และ exhaust Module
10. เปิดเครื่อง microwave unit และยก rotor body ทำให้เย็นโดยใส่ใน cooling bath ประมาณ 10 นาที
11. นำ vessel ออก แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกรอง
12. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะแคดเมียมด้วยเครื่อง AAS

โปรแกรมการย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟ

Stop	time	power	press	Temp1	Temp2
1	00:05:00	250	0	0	0
2	00:01:00	0	0	0	0
3	00:10:00	250	0	0	0
4	00:05:00	450	0	0	0
5	00:00:00	0	0	0	0
6	00:00:00	0	0	0	0
7	00:00:00	0	0	0	0
8	00:00:00	0	0	0	0
9	00:00:00	0	0	0	0
10	00:00:00	0	0	0	0

Vent 00:05:00 Rotor ctrl on Twist on

สารเคมีที่ใช้ในการย่อยดินด้วยเครื่องไมโครเวฟ

1. HNO_3 65 % 6 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. HCl 3 มล.
3. H_2O_2 30% 0.25 มล.

11. การหาปริมาณแคดเมียมชะละลาย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

วิธี Waste Extraction Test (WET)

1. นำ 2.5 กรัมของตัวอย่างดินใส่ลงในภาชนะ
2. เติม 25 มล. ของน้ำสกัดสกัด(สารละลาย 0.2 M sodium citrate ที่ pH 5.0 ± 0.1 โดยเตรียมจากการนำสารละลาย citric acid ในปริมาณที่เหมาะสม มาปรับ pH ให้เป็น 5.0 ด้วย สารละลาย 4.0 นอร์มอล NaOH) ลงในตัวอย่าง จากนั้นนำของผสมไปไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน เป็นเวลา 15 นาที เมื่อเสร็จแล้วให้ทำการปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็ว และนำไปเขย่าโดยใช้ เครื่องเขย่าแนวนอนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
3. จากนั้นนำเอาของผสมไปปั่นด้วยแรงเหวี่ยง (centrifuged) แล้วมากรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน โดยใช้ การกรองแบบลดความดัน
4. ให้ถ่ายสารละลายที่กรองได้จาก ข้อ 3 ลงในขวดโพลีเอทธิลีน และปรับสภาพให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริก 2 %

12. วิธีการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน

การเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน 800 ppm

1. ชั่ง $CdN_2O_6.4H_2O$ มา 2.1952 กรัม ละลายในน้ำ 1000 มิลลิลิตร
2. พ่นสารละลายที่ได้ใส่ลงไปในดินน้ำหนัก 1000 กรัม
3. ตั้งดินทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ โดยทำการกลับดินให้เข้ากันทุกวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction) (ปภานีย์, 2545)

เทคนิคการสกัดแบบลำดับขั้น สามารถใช้ในการหาปริมาณโลหะหนักได้ เนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้ โดยศึกษาสมบัติทางเคมีของโลหะและแร่ธาตุในดิน ซึ่งในการศึกษานี้จะทำให้เข้าใจเคมีของดินที่สัมพันธ์ระหว่างโลหะและชนิดของดิน การเลือกสารเคมีที่มีความเหมาะสมในการสกัด จึงมีความเกี่ยวข้องกับแต่ละลำดับขั้นของการสกัด (เพ็ญใจ, 2532)

การวิจัยนี้ได้นำวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น 6 ขั้นมาใช้ในการแยกโลหะที่สนใจออกเป็นส่วน ๆ ตามการใช้สารละลายสกัดที่มีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ปริมาณของโลหะที่ออกมาในแต่ละส่วนสามารถทำนายพฤติกรรมที่เป็นพิษของโลหะในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ การเคลื่อนที่ของโลหะหนักขึ้นกับค่า pH และการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ ดังนั้นการสกัดแบบลำดับขั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาทางสิ่งแวดล้อม การสกัดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณามาจากงานวิจัยหลายท่านซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 Water soluble

1. นำตัวอย่างดิน 1 กรัม มาผสมกับน้ำ DI 25 มล. ใส่ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 2 Exchangeable

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 1 มาเติม 1.0 M CH_3COONH_4 pH 7 ปริมาตร 25 มล.ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนแข็งที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มล. แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 Acid soluble

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 2 มาเติม 0.11 M CH_3COOH pH 3 ปริมาตร 25 มล. ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนแข็งที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มล. แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 4 Reducible

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 3 มาเติม 0.1 M $NH_2OH{\cdot}HCl$ pH 2 (ใน 25 % v/v CH_3COOH) ปริมาตร 25 มล. ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนแข็งที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มล. แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 5 Oxidizable

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 4 มาเติม H_2O_2 30% pH 2 ด้วย HNO_3 ปริมาตร 20 มล.ในขวดรูปชมพู่
2. นำไปเขย่าด้วย Water bath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติม 1.0 M CH_3COONH_4 pH 2 ปริมาตร 20 มล.
4. นำไปเขย่าด้วย Water bath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
6. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
7. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 6 Residual

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 5 ไปทำให้แห้ง โดยนำไปอบที่ 103-105 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
2. ชั่งน้ำหนักให้ได้ที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ใน crucible
3. นำไปย่อยด้วย HNO_3 6 มล., HCL 3 มล. และ H_2O_2 30 % 0.25 มล. ด้วยเครื่องไมโครเวฟ จนได้สารละลายใส
4. กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
5. ปรับปริมาตรเป็น 25 มล. ด้วยน้ำ DI
6. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค-1 พีเอชของดินตัวอย่าง

ครั้งที่	pH
1	6.66
2	6.75
3	6.76

ตารางที่ ค-2 การวิเคราะห์ความเป็นกรดของดินตัวอย่าง

ตัวอย่าง	น้ำหนักดิน (กรัม)	น้ำหนักโซเดียมเตตระบอเรต (กรัม)	ปริมาตร 0.02 N HCl ที่ใช้ในการไทเทรต (มล.)	ความเข้มข้น HCl (นอร์มัล)
แบลงค์	-	0.0000	25.30	0.00
1	5.0247	0.4359	24.55	0.20
2	5.0248	0.4069	23.82	0.20
3	5.0245	0.4061	23.15	0.21
		เฉลี่ย		0.20

ตารางที่ ค-3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ปัจจัยที่ศึกษา		ความเข้มข้นที่แน่นอนของ HCl (นอร์มัล)
	น้ำหนักโซเดียมเตตระบอเรต (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
1	0.2023	10.5	0.1010
2	0.2139	11.1	0.1012
3	0.2122	10.9	0.1021
เฉลี่ย			0.1014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	ปัจจัยที่ศึกษา		ความเข้มข้น HCl (นอร์มัล)
	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาตร HCl (มล.)	
แบลงค์	-	0.00	0.00
1	5.0294	24.10	48.59*
2	5.0023	27.10	54.93
3	5.0263	26.50	53.46

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

ตารางที่ ค-4 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดินเปียก (กรัม)	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)
ตัวอย่างดินก่อนเพิ่มปริมาณแคดเมียม	1	10.0045	9.7073
	2	10.0088	9.7094
	3	10.0008	9.6974
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม ครั้งที่ 1	1	5.0012	4.9097
	2	5.0009	4.9203
	3	5.0013	4.9133
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม ครั้งที่ 2	1	4.9935	4.9384
	2	4.9934	4.9396
	3	4.9908	4.9602

ตารางที่ ค-5 การกระจายตัวของอนุภาค

ตัวอย่าง	น้ำหนักดิน (กรัม)	ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ (กรัม/ลิตร)			
		อุณหภูมิ (°C)	40 วินาที	อุณหภูมิ (°C)	2 ชั่วโมง
สารละลายคัลกอน	0.0000	30.0	3.0	30.0	3.0
1	40.03	30.0	20.6	31.0	12.1
2	40.18	30.0	20.6	31.0	12.1
3	40.10	30.5	21.35	31.0	12.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-6 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินตัวอย่าง

ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	ปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (มล.)
แบลงค์	-	21.50
1	1.0003	12.70
2	1.0006	12.80
3	1.0011	13.00

ตารางที่ ค-7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินตัวอย่าง

ตัวอย่าง	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง	Calibration curve ของ standard
1	1.0883	0.148	Y = 0.0121X + 0.0612
2	1.0050	0.060	
3	1.0060	0.037	

Calibration curve ของ standard คือ Y = 0.0121X + 0.0612

เมื่อ Y = ค่า Absorbance

X = ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ต่อกิโลกรัม)

ตารางที่ ค-8 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของดินตัวอย่างหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่คำนวณได้ (มก./กก.)
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาแคดเมียมครั้งที่ 1	1	0.5025	0.147	0.806
	2	0.5051	0.136	0.741
	3	0.5023	0.153	0.842
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาแคดเมียมครั้งที่ 2	1	0.5005	0.147	1.084
	2	0.5009	0.165	1.225
	3	0.5009	0.142	1.047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ เนื่องจากการวิเคราะห์ดินที่ทำการเก็บตัวอย่างมา การหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดได้ทำการส่งไปวิเคราะห์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ จึงไม่มีผลการทดลองแสดง

ตารางที่ ค-9 ปริมาณแคดเมียมชะละลายของดินตัวอย่างหลังการเพิ่มปริมาณแคดเมียม

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาแคดเมียมครั้งที่ 1	1	2.5105	0.598
	2	2.5151	0.606
	3	2.5016	0.585
ตัวอย่างดินหลังการเพิ่มปริมาแคดเมียมครั้งที่ 2	1	2.5020	0.3055*
	2	2.5246	0.2559
	3	2.5064	0.2441

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

ตารางที่ ค-10 ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ชนิดปุ๋ย	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	ปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไทเทรต (มล.)
ปุ๋ยมูลค้างคาว	ควบคุม	0.0000	21.50
	1	1.0010	18.65
	2	1.0023	18.70
	3	1.0007	18.65
ปุ๋ยมูลไก่	ควบคุม	0.0000	21.50
	1	0.1005	18.30
	2	0.1006	18.30
	3	0.1003	18.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-11 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ชนิดปุ๋ย	ครั้งที่	น้ำหนักปุ๋ย (กรัม)	Abs	อัตราส่วนการเจือจาง
ปุ๋ยมูลค้างคาว	1	1.0036	0.036	20
	2	1.0047	0.044	20
	3	1.0225	0.082	20
ปุ๋ยมูลไก่	1	1.0088	0.123	50
	2	1.0417	0.120	50
	3	1.0148	0.120	50

Calibration curve ของ standard คือ $Y = 0.0121X + 0.0612$

เมื่อ Y = ค่า Absorbance

X = ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ต่อกิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลจากการศึกษาชนิดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

การได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมในการเสถียร จะต้องมีข้อมูลซึ่งจะนำมาแปรค่าโดยการคำนวณ ซึ่งจะแสดงได้ ดังตาราง

ตาราง ง-1 ข้อมูลการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน โดยใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อแคดเมียม 1:1 ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์

ชนิดปุ๋ย	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะสะลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	% ประสิทธิภาพการปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5105	0.598	690.03	0.66
	2	2.5151	0.606	699.16*	0.00*
	3	2.5016	0.585	675.59	2.74
ปุ๋ยมูลค้างคาว	1	2.5034	0.126	131.50	80.74
	2	2.5000	0.140	150.36	77.98
	3	2.5028	0.119	123.07	81.99
ปุ๋ยมูลไก่	1	2.5088	0.388	494.25	27.61
	2	2.5026	0.244	296.16*	56.63*
	3	2.5013	0.380	483.36	29.21

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

<u>การคำนวณ</u>

<u>ตัวอย่าง</u> ปุ๋ยมูลค้างคาว ครั้งที่ 1

% ประสิทธิภาพการปรับเสถียร = 100-(ความเข้มข้นแคดเมียมครั้งที่ 1 / ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียม ชุดไม่เติมปุ๋ย) x 100

= 100-(131.50/682.81)x100

= 80.74 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-2 ข้อมูลการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน โดยใช้อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม 1:1 ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

ชนิดปุ๋ย	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	%ประสิทธิภาพการปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5105	0.450	540.20	22.23
	2	2.5151	0.441	533.72	23.16
	3	2.5016	0.439	525.31	24.37
ปุ๋ยมูลค้างคาว	1	2.5003	0.110	115.63	78.31
	2	2.5015	0.111	117.13	78.03
	3	2.5086	0.111	116.80	78.09
ปุ๋ยมูลไก่	1	2.5001	0.243	296.88	44.31
	2	2.5032	0.271	334.61	37.23
	3	2.5050	0.291	362.44	32.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์

อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	% การปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5105	0.598	690.03	0.00
	2	2.5151	0.606	699.16	0.00
	3	2.5016	0.585	675.59	0.00
1 : 2	1	2.5019	0.006	7.13*	98.94*
	2	2.5008	0.167	206.35	69.39
	3	2.5030	0.181	224.57	66.68
1 : 1	1	2.5019	0.114	138.43	79.46
	2	2.5044	0.113	136.55	79.74
	3	2.5056	0.086	104.40	84.51
1.5: 1	1	2.5012	0.071	86.06	87.23
	2	2.5065	0.089	108.61	83.89
	3	2.5089	0.051	61.92	90.81

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-4 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์

อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	% การปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5022	0.450	551.83	18.14
	2	2.5016	0.449	546.29	18.96
	3	2.5023	0.450	549.44	18.49
1 : 2	1	2.5007	0.173	210.58	61.66
	2	2.5010	0.187	226.87	58.69
	3	2.5013	0.201	244.32	55.51
1 : 1	1	2.5004	0.121	147.22	73.19
	2	2.5030	0.125	152.12	72.30
	3	2.5042	0.120	146.02	73.41
1.5: 1	1	2.5044	0.082	99.83	81.82
	2	2.5034	0.083	100.85	81.64
	3	2.5004	0.095	116.23	78.84

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-5 ข้อมูลการศึกษาปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 1 สัปดาห์

อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	% การปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5105	0.598	690.03	0.00
	2	2.5151	0.606	699.16	0.00
	3	2.5016	0.585	675.59	0.00
1 : 2	1	2.5030	0.321	382.90	43.20
	2	2.5013	0.254	302.86	55.07
	3	2.5023	0.329	392.76	41.73
1 : 1	1	2.5021	0.286	344.09*	48.95*
	2	2.5014	0.249	299.17	55.62
	3	2.5037	0.249	299.28	55.60
1.5: 1	1	2.5032	0.139	167.39	75.17
	2	2.5028	0.180	217.63	67.71
	3	2.5047	0.193	232.51	65.51

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-6 ข้อมูลการศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์

อัตราส่วน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	Abs	ความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	% การปรับเสถียร
ไม่เติมปุ๋ย	1	2.5022	0.450	551.83	18.14
	2	2.5016	0.449	546.29	18.96
	3	2.5023	0.450	549.44	18.49
1 : 2	1	2.5015	0.351	421.25	23.30
	2	2.5039	0.370	443.06	19.33
	3	2.5041	0.341	408.32	25.64
1 : 1	1	2.5015	0.290	349.00	36.45
	2	2.5003	0.184	221.86	59.60
	3	2.5003	0.281	337.99	38.46
1.5: 1	1	2.5032	0.225	249.75	54.52
	2	2.5036	0.228	253.80	53.79
	3	2.5049	0.229	254.91	53.58

หมายเหตุ * คือ ค่าที่ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์

ลำดับขั้น	ชนิดของปุ๋ย	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			เฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 1 รูปที่ละลายน้ำได้	ไม่เติมปุ๋ย	8.98	7.69	20.04	12.23	1.24
	มูลค้างคาว	3.918	3.30	2.76	3.32	0.32
	มูลไก่	45.84	40.73	48.36	44.98	4.40
ขั้นที่ 2 รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ไม่เติมปุ๋ย	436.76	432.85	420.57	430.06	43.50
	มูลค้างคาว	441.28	461.84	438.44	439.86	42.82
	มูลไก่	655.67	614.75	655.53	655.60	64.16
ขั้นที่ 3 รูปที่ละลายได้ในกรด	ไม่เติมปุ๋ย	170.89	150.21	156.22	153.22	15.50
	มูลค้างคาว	46.77	47.52	43.28	45.86	4.46
	มูลไก่	201.21	170.18	187.94	179.06	17.52
ขั้นที่ 4 รูปรีดิวซ์	ไม่เติมปุ๋ย	342.02	321.92	313.43	317.68	32.13
	มูลค้างคาว	50.20	50.22	55.16	51.86	5.05
	มูลไก่	309.74	277.38	317.80	313.77	30.71
ขั้นที่ 5 รูปออกซิไดส์	ไม่เติมปุ๋ย	36.56	40.23	49.36	42.05	4.25
	มูลค้างคาว	15.72	12.83	17.63	15.40	1.50
	มูลไก่	23.28	21.87	23.21	22.78	2.23
ขั้นที่ 6 รูปที่เหลือ	ไม่เติมปุ๋ย	153.27	33.52	-	33.52	3.39
	มูลค้างคาว	0.66	0.06	1.14	0.62	0.06
	มูลไก่	49.83	42.34	50.03	47.40	4.64

<u>การคำนวณ</u>

ขั้นที่ 1 รูปที่ละลายได้ ของดินที่ไม่เติมปุ๋ย

% แคดเมียม = 100 x ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียมในขั้นที่ 1 ของดินชุดไม่เติมปุ๋ย / ผลรวมค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียมของดินชุดไม่เติมปุ๋ย 6 ขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 100 x 12.23/988.75

= 1.24 %

ตารางที่ จ-2 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

ลำดับขั้น	ชนิดของปุ๋ย	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 1 รูปที่ละลายน้ำได้	ไม่เติมปุ๋ย	10.63	11.27	9.49	10.46	1.45
	มูลค้างคาว	ND	ND	ND	ND	ND
	มูลไก่	24.44	21.60	22.88	22.97	4.13
ขั้นที่ 2 รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ไม่เติมปุ๋ย	ND*	277.88	339.69	308.78	42.68
	มูลค้างคาว	44.87	47.15	45.44	45.82	29.20
	มูลไก่	61.17	63.29	62.28	32.24	11.19
ขั้นที่ 3 รูปที่ละลายได้ในกรด	ไม่เติมปุ๋ย	67.27*	96.11	97.86	96.98	13.40
	มูลค้างคาว	47.43	53.27	56.36	52.35	33.36
	มูลไก่	132.78	124.84	120.32	125.98	22.65
ขั้นที่ 4 รูปรีดิวซ์	ไม่เติมปุ๋ย	269.55	309.02	275.51	284.69	39.35
	มูลค้างคาว	50.50	52.10	56.19	52.93	33.73
	มูลไก่	282.39	280.71	9.87*	281.55	50.61
ขั้นที่ 5 รูปออกซิไดส์	ไม่เติมปุ๋ย	15.16	22.43	13.03	16.87	2.33
	มูลค้างคาว	ND	ND	ND	ND	ND
	มูลไก่	60.62	56.04	51.06	55.91	10.05
ขั้นที่ 6 รูปที่เหลือ	ไม่เติมปุ๋ย	5.88	5.02	6.29	5.73	0.79
	มูลค้างคาว	5.04	7.23	5.25	5.84	3.72
	มูลไก่	7.72	7.41	7.84	7.66	1.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-3 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์

ลำดับขั้น	อัตราส่วน	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 1 รูปที่ละลายน้ำได้	ไม่เติมปุ๋ย	16.42	22.92	22.38	20.57	2.53
	1 : 2	3.30	3.38	3.35	3.34	1.13
	1 : 1	2.39	2.22	2.71	2.44	1.58
	1.5 : 1	2.35	1.84	1.71	1.97	1.63
ขั้นที่ 2 รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ไม่เติมปุ๋ย	475.90	495.59	496.89	489.46	60.31
	1 : 2	104.40	107.72	104.52	105.55	35.81
	1 : 1	40.60	47.72	46.36	44.90	29.11
	1.5 : 1	31.61	30.98	30.09	30.89	25.62
ขั้นที่ 3 รูปที่ละลายได้ในกรด	ไม่เติมปุ๋ย	52.27	60.51	66.42	59.73	7.36
	1 : 2	93.41	102.68	93.74	96.61	32.78
	1 : 1	36.63	42.31	48.92	42.63	27.64
	1.5 : 1	34.59	38.60	35.76	36.32	30.12
ขั้นที่ 4 รูปรีดิวซ์	ไม่เติมปุ๋ย	214.33	239.38	210.91	221.54	27.30
	1 : 2	68.3	73.48	65.45	69.06	23.43
	1 : 1	40.12	40.11	50.31	43.51	28.21
	1.5 : 1	31.37	37.18	35.18	34.58	28.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้น	อัตราส่วน	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 5 รูปออกซิไดส์	ไม่เติมปุ๋ย	15.59	14.55	18.25	16.13	1.99
	1 : 2	6.79	7.01	7.59	7.13	2.42
	1 : 1	4.87	6.19	6.36	5.81	3.76
	1.5 : 1	5.23	4.69	6.19	5.37	4.45
ขั้นที่ 6 รูปที่เหลือ	ไม่เติมปุ๋ย	7.41	0.87	-	4.14	0.51
	1 : 2	15.06	10.80	13.33	13.06	4.43
	1 : 1	16.54	13.36	-	14.95	9.69
	1.5 : 1	12.79	11.51	10.11	11.47	9.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-4 ข้อมูลจากการศึกษาการสกัดแบบลำดับขั้นในการศึกษาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่ที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์

ลำดับขั้น	อัตราส่วน	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 1 รูปที่ละลายน้ำได้	ไม่เติมปุ๋ย	16.42	22.92	22.38	20.57	2.53
	1 : 2	19.82	22.25	17.78	19.95	3.36
	1 : 1	19.71	19.28	21.12	20.07	3.34
	1.5 : 1	26.46	23.33	24.63	24.80	5.38
ขั้นที่ 2 รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ไม่เติมปุ๋ย	475.90	495.59	496.89	489.46	60.31
	1 : 2	138.12	164.03	142.79	148.32	24.97
	1 : 1	164.97	166.11	183.39	171.49	28.53
	1.5 : 1	111.20	110.59	96.32	106.04	22.99
ขั้นที่ 3 รูปที่ละลายได้ในกรด	ไม่เติมปุ๋ย	52.27	60.51	66.42	59.73	7.36
	1 : 2	158.16	209.12	150.46	172.58	29.05
	1 : 1	147.68	137.26	133.57	139.50	23.21
	1.5 : 1	81.68	99.55	96.60	92.45	20.04
ขั้นที่ 4 รูปรีดิวซ์	ไม่เติมปุ๋ย	214.33	239.38	210.91	221.54	27.30
	1 : 2	188.94	254.91	199.81	214.55	36.12
	1 : 1	207.47	190.39	254.04	217.30	36.15
	1.5 : 1	127.41	183.21	202.88	171.17	37.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้น	อัตราส่วน	ความเข้มข้นของแคดเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย	% แคดเมียม
		1	2	3		
ขั้นที่ 5 รูปออกซิไดส์	ไม่เติมปุ๋ย	15.59	14.55	18.25	16.13	1.99
	1 : 2	21.76	31.20	24.87	25.94	4.37
	1 : 1	38.76	35.34	50.62	41.57	6.92
	1.5 : 1	52.34	45.74	51.17	49.75	10.79
ขั้นที่ 6 รูปที่เหลือ	ไม่เติมปุ๋ย	7.41	0.87	-	4.14	0.51
	1 : 2	-	12.06	13.37	12.72	2.14
	1 : 1	12.68	-	9.55	11.11	1.85
	1.5 : 1	-	14.87	19.18	17.03	3.69

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ฉ-1 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์

ชนิดปุ๋ย	ตัวอย่างที่	ค่า pH	เฉลี่ย	SD
มูลไก่	1	7.26	7.253	0.01
	2	7.25		
	3	7.25		
มูลค้างคาว	1	7.27	7.257	0.01
	2	7.25		
	3	7.25		

ตารางที่ ฉ-2 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการศึกษาชนิดของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

ชนิดปุ๋ย	ตัวอย่างที่	ค่า pH	เฉลี่ย	SD
ไม่เติมปุ๋ย	1	6.33	6.40	0.06
	2	6.43		
	3	6.44		
มูลไก่	1	6.70	6.77	0.07
	2	6.77		
	3	6.84		
มูลค้างคาว	1	6.97	7.01	0.05
	2	7.00		
	3	7.07		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-3 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์

ชนิดของปุ๋ย	อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	ค่า pH	เฉลี่ย	SD
มูลไก่	1 : 2	1	7.32	7.30	0.03
		2	7.27		
		3	7.30		
	1 : 1	1	7.36	7.38	0.02
		2	7.38		
		3	7.40		
	1.5 : 1	1	7.44	7.43	0.05
		2	7.38		
		3	7.47		
	2 : 1	1	7.45	7.53	0.08
		2	7.54		
		3	7.60		
มูลค้างคาว	1 : 2	1	6.94	7.04	0.10
		2	7.14		
		3	7.04		
	1 : 1	1	7.09	7.09	0.01
		2	7.10		
		3	7.09		
	1.5 : 1	1	7.18	7.17	0.01
		2	7.16		
		3	7.17		
	2 : 1	1	7.62	7.64	0.02
		2	7.65		
		3	7.65		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ฉ-4 ข้อมูลจากการศึกษาค่าพีเอช ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์

ชนิดของปุ๋ย	อัตราส่วน	ตัวอย่างที่	pH	เฉลี่ย	SD
ดิน (control)	-	1	6.61	6.56	0.08
		2	6.60		
		3	6.47		
มูลไก่	1 : 2	1	7.34	7.27	0.08
		2	7.28		
		3	7.19		
	1 : 1	1	7.41	7.48	0.06
		2	7.50		
		3	7.52		
	1.5 : 1	1	7.24	7.31	0.06
		2	7.34		
		3	7.35		
	2 : 1	1	7.28	7.23	0.05
		2	7.19		
		3	7.21		
มูลค้างคาว	1 : 2	1	7.23	7.28	0.05
		2	7.33		
		3	7.27		
	1 : 1	1	7.27	7.43	0.14
		2	7.47		
		3	7.54		
	1.5 : 1	1	7.51	7.56	0.05
		2	7.59		
		3	7.59		
	2 : 1	1	7.13	7.12	0.01
		2	7.11		
		3	7.13		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

ตารางที่ ช-1 ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในการหาชนิด ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 2 สัปดาห์

ชนิดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่	น้ำหนักดิน	ค่า Abs	ค่าความเข้มข้น	dilute	[P] ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช µg/kg	เฉลี่ย µg P / kg	SD
มูลไก่	1	1.0154	0.216	5.822	50	0.17	0.16	0.01
	2	1.0261	0.209	5.633	50	0.16		
	3	1.0299	0.206	5.553	50	0.16		
มูลค้างคาว	1	1.0282	0.061	1.644	20	0.02	0.04	0.02
	2	1.0047	0.193	5.202	20	0.06		
	3	1.0047	0.174	4.690	20	0.05		

y=0.0371x เป็นสมการ calibration cure

ตารางที่ ช-2 ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในการหาชนิด ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดิน ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

ชนิดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่	น้ำหนักดิน	ค่า Abs	ค่าความเข้มข้น	dilute	[P] ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช µg/kg	เฉลี่ย µg P / kg	SD
มูลไก่	1	1.0121	0.214	28.6714	50	0.03	0.03	0.0001
	2	1.0174	0.236	28.8215	50	0.03		
	3	1.0107	0.223	28.6317	50	0.03		
มูลค้างคาว	1	1.0048	0.024	28.4646	20	0.03	0.03	0.00003
	2	1.0052	0.017	28.4759	20	0.03		
	3	1.0034	0.017	28.4249	20	0.03		

y=0.0353x เป็นสมการ calibration cure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-3 ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ (y=0.0353x เป็นสมการ calibration cure)

ชนิดของปุ๋ย	อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักดิน	dilute	ค่า Abs	ค่าความเข้มข้น	[P] ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช µg/kg	เฉลี่ย µg P / kg	SD
มูลไก่	1:2	1	1.0030	50	0.135	3.824	0.112	0.107	0.004
		2	1.0050	50	0.128	3.626	0.106		
		3	1.0075	50	0.125	3.541	0.103		
	1:1	1	1.0068	50	0.226	6.402	0.187	0.185	0.032
		2	1.0066	50	0.185	5.241	0.153		
		3	1.0018	50	0.260	7.365	0.216		
	1.5:1	1	1.0028	50	0.252	7.139	0.209	0.216	0.026
		2	1.0014	50	0.294	8.329	0.245		
		3	1.0020	50	0.233	6.601	0.194		
	2:1	1	1.0031	50	0.381	10.793	0.316	0.257	0.055
		2	1.0083	50	0.300	8.499	0.248		
		3	1.0042	50	0.249	7.054	0.207		
มูลค้างคาว	1:2	1	1.0011	20	0.143	4.051	0.048	0.044	0.003
		2	1.0094	20	0.127	3.598	0.042		
		3	1.0032	20	0.132	3.739	0.044		
	1:1	1	1.0018	20	0.117	3.314	0.039	0.046	0.006
		2	1.0027	20	0.147	4.164	0.049		
		3	1.0056	20	0.153	4.334	0.051		
	1.5:1	1	1.0078	20	0.187	5.297	0.062	0.054	0.008
		2	1.0034	20	0.138	3.909	0.046		
		3	1.0041	20	0.162	4.589	0.054		
	2:1	1	1.0074	20	0.140	3.966	0.046	0.051	0.008
		2	1.0043	20	0.182	5.156	0.060		
		3	1.0081	20	0.142	4.023	0.047		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช-4 ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในการหาปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลไก่และมูลค้างคาวที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์

ชนิดของปุ๋ย	อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักดิน	dilute	Abs	ค่าความเข้มข้น	[P] ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช µg/kg	เฉลี่ย µg P / kg	SD
ไม่เติมปุ๋ย	-	1	1.0067	1	0.037	0.9069	0.001	0.001	0.00
		2	1.0003	1	-0.010	-0.2451	0.000		
		3	1.0005	1	-0.033	-0.8088	0.000		
มูลไก่	1 : 2	1	1.0027	50	0.056	1.3725	0.040	0.042	0.01
		2	1.0013	50	0.077	1.8873	0.055		
		3	1.0012	50	0.043	1.0539	0.031		
	1 : 1	1	1.0019	50	0.063	1.5441	0.045	0.057	0.03
		2	1.006	50	0.042	1.0294	0.030		
		3	1.0035	50	0.131	3.2108	0.094		
	1.5 : 1	1	1.0026	50	0.162	3.9706	0.116	0.090	0.02
		2	1.0012	50	0.117	2.8676	0.084		
		3	1.0036	50	0.098	2.4020	0.070		
	2 : 1	1	1.0015	50	0.123	3.0147	0.089	0.100	0.02
		2	1.0028	50	0.120	2.9412	0.086		
		3	1.0015	50	0.172	4.2157	0.124		
มูลค้างคาว	1 : 2	1	1.0013	20	0.124	3.0392	0.036	0.029	0.01
		2	1.0079	20	0.095	2.3284	0.027		
		3	1.0113	20	0.080	1.9608	0.023		
	1 : 1	1	1.007	20	0.109	2.6716	0.031	0.031	0.00
		2	1.0109	20	0.106	2.5980	0.030		
		3	1.0084	20	0.114	2.7941	0.033		
	1.5 : 1	1	1.0068	20	0.100	2.4510	0.029	0.037	0.01
		2	1.0067	20	0.133	3.2598	0.038		
		3	1.0062	20	0.157	3.8480	0.045		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของปุ๋ย	อัตราส่วนโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักดิน	dilute	Abs	ค่าความเข้มข้น	[P] ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช µg/kg	เฉลี่ย µg P / kg	SD
มูลค้างคาว	2 : 1	1	1.0144	20	0.084	2.188	0.025	0.027	0.005
		2	1.0036	20	0.105	2.734	0.032		
		3	1.0057	20	0.076	1.979	0.023		

y=0.0408x เป็นสมการcalibration curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้