

อิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดินและความเสี่ยงต่อเชื้อซาลโมเนลลา  
เนื่องจากการนำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร



นางสาว กัลยา สุนทรวงศ์สกุล

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-866-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INFLUENCE OF HEAVY METALS ON SOIL MICROBIAL ACTIVITIES AND RISK OF SALMONELLA AS  
A RESULT OF SEWAGE SLUDGE UTILIZATION IN AGRICULTURE

Miss Kallaya Suntornvongsagul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

For the Degree of Master of Science

Interdepartment of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN 974-584-866-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน และความเสี่ยงต่อเชื้อซาลโมเนลลา เนื่องจากการนำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

โดย นางสาวกัลยา สุนทรวงศ์สกุล  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. ประกิตต์สินี สีहनันทน์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประกิตต์สินี สีहनันทน์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. อาจง ประทัตสุนทรสาร)



กัลยา สุนทรวงศ์สกุล : อิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดินและความเสี่ยงต่อเชื้อซาลโมเนลลา เนื่องจากการนำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร (INFLUENCE OF HEAVY METALS ON SOIL MICROBIAL ACTIVITIES AND RISK OF SALMONELLA AS A RESULT OF SEWAGE SLUDGE UTILIZATION IN AGRICULTURE)  
อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร. ประภคิต์สิน สีนันทน์ 171 หน้า.

ISBN 974-584-866-2

การบำบัดน้ำเสียชุมชนทำให้ได้กากตะกอน ซึ่งมีลักษณะสมบัติที่เป็นประโยชน์ในทางการเกษตร แต่ต้องมีการจัดการที่เหมาะสมเพื่อลดความเสี่ยงจากเชื้อซาลโมเนลลา และลดอิทธิพลของโลหะหนักในกากตะกอนต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ ได้ติดตามปริมาณเชื้อซาลโมเนลลาในกากตะกอน น้ำทิ้งก่อนการบำบัด และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง และติดตามปริมาณเชื้อซาลโมเนลลาในกากตะกอนที่ตากกลางแจ้ง จนมีปริมาณต่ำกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดโรคได้ในคน ( $10^5$ ) จากนั้นศึกษา อิทธิพลของโลหะหนักในกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อกิจกรรมจุลินทรีย์โดยใช้  $CO_2$  เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงกิจกรรมจุลินทรีย์ ด้วยแผนการทดลอง แบบ  $2 \times 4$  factorial incompletely randomized ทำ 3 ซ้ำ ในดิน 2 ประเภทคือ ดินเหนียวและดินร่วนร่วมกับการเติมกากตะกอน 4 ระดับ คือ 20 40 60 และ 80 เมตริกตันต่อเฮกตาร์

ผลการติดตามปริมาณซาลโมเนลลา พบปริมาณซาลโมเนลลาในน้ำทิ้งก่อนการบำบัด น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว และกากตะกอน เท่ากับ 9 เซลล์ต่อ 100 มิลลิลิตร 6 เซลล์ต่อ 100 มิลลิลิตรและ 84 เซลล์ต่อกรัมกากตะกอนแห้งตามลำดับ ระยะเวลาฝังกากตะกอนที่เหมาะสมในที่แจ้งมีแดดจัดคือ 7 วันซึ่งเป็นระยะที่กากตะกอนมีความชื้นประมาณ 2% และไม่พบซาลโมเนลลา ส่วนการศึกษาอิทธิพลของโลหะหนักในกากตะกอนต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน พบว่าการเติมกากตะกอนที่ระดับ 20 และ 40 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (กากตะกอนที่อัตราเติม 20 เมตริกตันต่อเฮกตาร์เทียบกับอัตราใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในพืชผักทั่วไป) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง  $CO_2$  C:N จุลินทรีย์ดิน และ pH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) กับดินทดลองควบคุม ส่วนการเพิ่มกากตะกอนในดินทดลองถึงระดับที่อัตราเติม 80 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ ไม่มีผลทำให้ C:N เกิดการเปลี่ยนแปลงแต่ก่อให้เกิดการลดลงของพีเอช และการเพิ่มขึ้นของ  $CO_2$  และปริมาณสังกะสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์ และพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ  $CO_2$  และพีเอชในดินทดลองที่เติมกากตะกอนและสารละลายโลหะหนัก มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูงและมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นมากที่สุดที่ประมาณ 4 สัปดาห์แรก แล้วค่อนข้างคงที่ จนถึงสัปดาห์ที่ 16 ซึ่งเป็นระยะเวลาหนึ่งฤดูกาลเพาะปลูกพืชผัก ทั้งนี้ปรากฏในดินทั้ง 2 ประเภท

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ก่อนการใช้ประโยชน์กากตะกอนทางการเกษตรนั้น สามารถลดความเสี่ยงจากเชื้อซาลโมเนลลาได้โดยฝังแดดจัดเป็นเวลา 7 วัน และหลังจากเติมกากตะกอนลงในดินทดลอง 2 ประเภทคือ ดินเหนียวและ ดินร่วนที่อัตรา 20 และ 40 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ไม่มีผลกระทบต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาควิชา.....สหสาขา.....

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม.....

ปีการศึกษา.....2537.....

ลายมือชื่อนิสิต.....กัลยา สุนทรวงศ์สกุล.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....อ.ประภคิต์สิน.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....อ.สิน.....

## C426196 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: SEWAGE SLUDGE / SOIL MICROBE / HEAVY METAL / SALMONELLA

KALLAYA SUNTORNVONGSAGUL: INFLUENCE OF METALS ON SOIL MICROBIAL ACTIVITIES AND RISK OF SALMONELLA AS A RESULT OF SEWAGE SLUDGE UTILIZATION IN AGRICULTURE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. ORAWAN SIRIRATPIRIYA, D.Sc., THESIS CO-ADVISOR: ASSO. PROF. PRAKITSIN SIHANONTH, Ph.D., 171 pp. ISBN 974-584-866-2

The sewage sludge can be used in agriculture within acceptable risk of salmonella and heavy metals by appropriated management. This study had 2 parts. Firstly, the number of days to dry the sludge in the sunlight until the number of salmonellas dropped to less than the infection dose ( $10^5$ ) was assessed. The influent and the effluent of Huay Kwang treatment plant were also tested for the amount of salmonella. Secondly, the sludge was applied into siltyclay and siltyloam at 20, 40, 60, and 80 tonnes/ha in order to test the influence of heavy metals on soil microbial activities for 16 weeks, using  $CO_2$  concentration as an index of the activities. The experimental design was 2x4 factorial incompletely randomized with 3 replications.

The results showed that the amount of salmonella in the influent, the effluent, and the sludge of Huay Kwang treatment plant were 9 cells/100 ml, 6 cells/100 ml, and 84 cells/g of sludge respectively. After the sludge has been exposed to the sunlight for 7 days moisture content decreased to 2%, and salmonella were not detected. The sludge application at 20 and 40 tonnes/ha, (The rate of sludge application at 20 tonnes/ha is equaled to organical fertilizer used rate in vegetable crop) resulted in nonsignificant difference ( $P \leq 0.05$ ) in all parameters measured when compared with the control soils. Increased the sludge application rate up to 80 tonnes/ha into two soil types did not change C:N ratio significantly, but decreased the pH value and increased the  $CO_2$  concentrations, and Zn concentration significantly. For both soil types, the  $CO_2$  concentration, and pH value of the sludge-amended soil and the heavy metal-amended soil seem to be highly correlated. During the first 4 weeks, the  $CO_2$  concentration, the pH value were fluctuated after the sludge was applied into both soil types, after that they appeared to be consistent until the end of the experiment.

Hence, application of sewage sludge into siltyclay and siltyloam at the rate of 20 and 40 tonnes/ha does not affect to microbial activities, and exposure to the sunlight for 7 days tended to make the sludge safe from the risk of salmonella.

ภาควิชา ..... สาขาวิชา .....

สาขาวิชา ..... วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม .....

ปีการศึกษา ..... 2537 .....

ลายมือชื่อนิติกร ..... ทัศนวิมล .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... อ. อรวาน .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... อ. ประสิทธิ์ .....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความสามารถ ความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย ข้าพเจ้าใคร่กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ตลอดจนแนะนำเทคนิคต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ และกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประภิตต์สิน สีहनนท์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและรับเชิญเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อีกทั้งกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. กรรณิการ์ กัลยวงส์ ที่ท่านได้กรุณาแนะนำความรู้ต่างๆ เพิ่มเติมเกี่ยวกับซาลโมเนลลา นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้จะเริ่มขึ้นไม่ได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ดินจาก คุณ สุชัย กุลอนุสถาพร และความอนุเคราะห์จากตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง รวมทั้งภาควิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งคุณธีระพล คังคะเกตุ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่และการวิเคราะห์ทางเคมี จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ในการนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ โชคชัย ยะชูศรี พุทธิสาร ชัยพันธ์ุ ศักดิ์อินัน ปลาทอง อภิสสิทธิ์ ปัจฉิมพัทธพงษ์ ศรินทร์ ตันติพุกนนท์ พัชรินทร์ จิตรเอื้อใจสุข จำรูญศรี พุ่มเทียน บุญลักษณะ เชิญศิริดำรงกุล และทุกๆ คนที่ได้มอบกำลังใจและกำลังกาย จนกระทั่งประกอบเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบุคคลในครอบครัวที่ช่วยสร้างโอกาสที่ดีแก่ข้าพเจ้า



## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ซ
บทที่ 1	
1 บทนำ .....	1
2 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	6
3 วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินงานวิจัย .....	28
4 ผลการทดลอง .....	35
5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	91
6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	126
รายการอ้างอิง .....	128
ภาคผนวก .....	140
ประวัติผู้เขียน .....	171

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ลักษณะของน้ำเสียจากกิจกรรมประจำวัน .....	2
2.1 สัดส่วนของอินทรีย์วัตถุโดยน้ำหนักแห้งและจำนวนจุลินทรีย์ดิน ในพื้นที่ 1 เฮกตาร์ ที่ความลึกของดิน 15 เซนติเมตรในบริเวณเขตร้อนชื้น .....	8
2.2 การแพร่กระจายของจุลินทรีย์ในดิน ณ.ระดับความลึกต่าง ๆ .....	14
3.1 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษา .....	33
4.1 ปริมาณซาลโมเนลลา พีเอช ในน้ำทิ้งก่อนการบำบัด และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว .....	35
4.2 ปริมาณซาลโมเนลลา พีเอช และเปอร์เซ็นต์ความชื้นในกากตะกอนเมื่อทำการตากกลางแจ้ง .....	36
4.3 ลักษณะสมบัติของดิน และสิ่งทดลองที่ใช้ทดลอง .....	38
4.4 ปริมาณโลหะหนัก (พีพีเอ็ม) จากดิน และสิ่งทดลองที่ใช้ทดลอง.....	39
4.5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม) ซึ่งเกิดจากกิจกรรมจุลินทรีย์ดินเป็น ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เติบโตจากดินตัวอย่างที่ผสมปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ กากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้องและเก็บทุกๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 16 สัปดาห์.....	44
4.6 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม) ที่แต่ละเวลาเก็บ ตัวอย่างของแต่ละตำรับทดลองซึ่งสร้างขึ้นจากกิจกรรมจุลินทรีย์ดินในเวลา 96 ชั่วโมง ในดิน ตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินเหนียวที่ผสม ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ กากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 สัปดาห์.....	45
4.7 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม) ที่แต่ละเวลาเก็บ ตัวอย่างของแต่ละตำรับทดลองซึ่งสร้างขึ้นจากกิจกรรมจุลินทรีย์ดินในเวลา 96 ชั่วโมง ในดิน ตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินร่วนที่ผสม ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ กากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 สัปดาห์.....	46
4.8 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม) ระหว่างตำรับทดลอง ซึ่งเก็บดินทุก 2 สัปดาห์ เพื่อวัดกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน ในเวลา 96 ชั่วโมง ในดินเหนียวที่ผสม ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ กากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ ซึ่งบ่มที่ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 สัปดาห์.....	47



สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม) ระหว่างตำรับทดลอง ซึ่งเก็บดินทุก 2 สัปดาห์ เพื่อวัดกิจกรรมจุลินทรีย์ดินในเวลา 96 ชั่วโมง ในดินร่วนที่ผสม ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ กากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ ซึ่งบ่มที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 สัปดาห์.....	48
4.10 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม) ซึ่งเกิดจากกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน 96 ชั่วโมง เฉลี่ยจากดินเหนียวและดินร่วนที่ผสมกากตะกอน 4 ระดับ และสารละลาย โลหะหนักเทียบเท่าในกากตะกอน 4 ระดับ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้องและเก็บทุกๆ 2 สัปดาห์เป็น ระยะเวลา 16 สัปดาห์.....	50
4.11 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม) ซึ่งเกิดจากกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง เฉลี่ยจากดินเหนียวและดินร่วนที่ผสมกากตะกอน 4 ระดับซึ่งบ่มที่ อุณหภูมิห้องและเก็บทุกๆ 2 สัปดาห์เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์.....	51
4.12 ค่าพีเอชเฉลี่ยจากดินเหนียวและดินร่วนที่ผสมปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ กากตะกอน 4 ระดับ และ สารละลายโลหะหนักในปริมาณเทียบเท่าที่มีในกากตะกอน 4 ระดับ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 สัปดาห์.....	58
4.13 ค่าพีเอชเฉลี่ยในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมกากตะกอนอัตรา 20 40 60 และ 80 เมตริกตันต่อเฮกตาร์และสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าที่มีในกากตะกอน 4 ระดับ ซึ่งบ่มที่ อุณหภูมิห้องในระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	59
4.14 ค่าพีเอชเฉลี่ยในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมกากตะกอนอัตรา 20 40 60 และ 80 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลา 16 สัปดาห์.....	59
4.15 ปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยในดินเหนียวและดินร่วนที่ผสมปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ กากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 สัปดาห์.....	65
4.16 ปริมาณจุลินทรีย์เฉลี่ยในดินเหนียวและดินร่วนที่ผสมกากตะกอนอัตรา 20 40 60 และ 80 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 สัปดาห์.....	67
4.17 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในดินเหนียว .....	75
4.18 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในดินร่วน .....	76
5.1 ปริมาณเชื้อราลมเนลลาจากกระบวนการบำบัดของโรงงานบำบัดน้ำเสีย 8 แห่ง .....	92
5.2 โลหะหนักที่สกัดได้จากดินซึ่งเป็นผลจากการเติมสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ .....	123
5.3 โลหะหนักที่สกัดได้จากดินซึ่งเป็นผลจากการเติมกากตะกอน 4 ระดับ .....	124

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การจัดการกากตะกอนในประเทศสหรัฐอเมริกา .....	18
4.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม) จากดิน เมื่อเติมสิ่งทดลองที่อัตราเติม 20 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ .....	41
4.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ยในดินเหนียว และดินร่วน ภายหลังเติมปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และกากตะกอน .....	53
4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคดเมียมในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ .....	53
4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ .....	76
4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ .....	77
4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมงกานีสในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมสารละลายโลหะ หนัก 4 ระดับ .....	78
4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณนิเกิลในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ .....	79
4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกั่วในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ .....	80
4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสังกะสีในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมสารละลายโลหะหนัก 4 ระดับ .....	81
4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคดเมียมในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมกากตะกอน 4 ระดับ ..	82
4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมกากตะกอน 4 ระดับ ...	83
4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมกากตะกอน 4 ระดับ .....	84
4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมงกานีสในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมกากตะกอน 4 ระดับ ...	85
4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณนิเกิลในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมกากตะกอน 4 ระดับ .....	86
4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกั่วในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมกากตะกอน 4 ระดับ .....	87
4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสังกะสีในดินเหนียวและดินร่วนภายหลังเติมกากตะกอน 4 ระดับ .....	88
5.1 ปริมาณซาลโมเนลลา พีเชช และเปอร์เซ็นต์ความชื้นในกากตะกอน เมื่อทำการตากกลางแจ้ง ...	94

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมจลนทรียดิน 96 ชั่วโมง ในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินเหนียวภายหลังเติมกากตะกอน 4 ระดับและสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าที่มีในกากตะกอน 4 ระดับซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	100
5.3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมจลนทรียดิน 96 ชั่วโมง ในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินร่วนภายหลังเติมกากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าที่มีในกากตะกอน 4 ระดับซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	100
5.4 ค่าพีเอชเฉลี่ยจากดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ ในดินเหนียวและดินร่วนที่ผสมสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าที่มีในกากตะกอน 4 ระดับ คือ 20 40 60 และ 80 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	103
5.5 ค่าพีเอชเฉลี่ยจากดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ ในดินเหนียวและดินร่วนที่ผสม ปุ๋ยอินทรีย์กากตะกอน 4 ระดับ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	104
5.6 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินเหนียวที่ผสมกากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าในกากตะกอน 4 ระดับซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	106
5.7 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินร่วนที่ผสมกากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าในกากตะกอน 4 ระดับซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	106
5.8 ปริมาณแบคทีเรียในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินเหนียวที่ผสมกากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าในกากตะกอน 4 ระดับซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	112
5.9 ปริมาณแบคทีเรียในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินร่วนที่ผสมกากตะกอน 4 ระดับ และสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าในกากตะกอน 4 ระดับซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	113
5.10 ปริมาณราในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินเหนียวที่ผสมกากตะกอน 4 ระดับและสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าในกากตะกอน 4 ระดับซึ่งบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	114

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.11 ปริมาณราในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินร่วนที่ผสมกากตะกอน 4 ระดับและ สารละลายโลหะหนักเทียบเท่าในกากตะกอน 4 ระดับซึ่งปมที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	115
5.12 ปริมาณแอกติโนมัยซีทในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินเหนียวที่ผสมกากตะกอน 4 ระดับและสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าในกากตะกอน 4 ระดับซึ่งปมที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะ เวลา 16 สัปดาห์ .....	116
5.13 ปริมาณแอกติโนมัยซีทในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากดินร่วนที่ผสมกากตะกอน 4 ระดับและสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าในกากตะกอน 4 ระดับซึ่งปมที่อุณหภูมิห้อง เป็น ระยะเวลา 16 สัปดาห์ ในดินเหนียวหลังเติมกากตะกอนและสารละลายโลหะหนัก .....	117
5.14 ปริมาณจุลินทรีย์ในดินตัวอย่างที่เก็บทุก 2 สัปดาห์ จากเหนียวและดินร่วนหลังเติมกากตะกอน ซึ่งปมที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ .....	118