การวิเคราะห์ความเสี่ยงจากเชื้อซาลโมเนลลาเมื่อนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้ทางการเกษตร

นางสาว วรรณวิมล เศาณานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-166-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 4 มี.ค. 2544
T 156251 1

RISK ANALYSIS OF SALMONELLA AFTER APPLYING DOMESTIC SEWAGE SLUDGE FOR AGRICULTURAL USE

Miss Wanwimol Saonanon

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of Requirement

for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Interdepartment of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-166-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ความเสี่ยงจากเชื้อซาลโมเนลลาเมื่อนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้ทางการเกษตร
โดย	นางสาว วรรณวิมล เศาณานนท์
สหสาขา	วิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กีระนันทน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

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

..... กรรมการ
(นางอรุณ บ่างตระกูลนนท์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

วรรณวิมล เศาณานนท์ : การวิเคราะห์ความเสี่ยงจากเชื้อซาลโมเนลลา เมื่อนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้ทางการเกษตร (RISK ANALYSIS OF SALMONELLA AFTER APPLYING DOMESTIC SEWAGE SLUDGE FOR AGRICULTURAL USE) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ คิริรัตน์พิริยะ : 192 หน้า
ISBN 974-333-166-2

การนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้ทางการเกษตร เป็นการจัดการกากตะกอนที่เน้นการนำเอาประโยชน์จากองค์ประกอบของกากตะกอนในส่วนที่เป็นธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม) และความเป็นอินทรีย์สารของกากตะกอน แต่องค์ประกอบของกากตะกอนยังมีส่วนที่เป็นข้อจำกัดของการใช้ประโยชน์ ได้แก่ จุลินทรีย์ก่อโรค และโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกากตะกอน ซาลโมเนลลาเป็นจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม เช่น ในดิน น้ำ ของเสียจากมนุษย์และสัตว์ โดยเฉพาะในกากตะกอนจะพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนมาก การปนเปื้อนของซาลโมเนลลาในกากตะกอนน่าจะบ่งชี้ถึงความเสี่ยงในการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนได้ ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การติดตามการปนเปื้อนของซาลโมเนลลาในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย การลดปริมาณซาลโมเนลลาในกากตะกอนด้วยแสงแดด และติดตามการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลาในดินเมื่อเติมกากตะกอนในพื้นที่การเกษตร ใช้ชุดดินสระบุรีและชุดดินกำแพงแสน ทำการศึกษาในเรือนกระจก ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยวางแผนการทดลองแบบ 3x6 Factorial in Randomized Complete Block Design ทำ 3 ซ้ำ มี 6 ตำรับทดลองของอัตราการเติมกากตะกอน และ 3 ระยะเวลาในการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สอง สำหรับการตรวจสอบซาลโมเนลลาในครั้งนี้ใช้วิธี Modified Semi-solid Rappaport Vasiliadis (MSRV)

ผลการติดตามซาลโมเนลลาในน้ำและกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่สามารถกำจัดการปนเปื้อนของซาลโมเนลลาในน้ำทิ้ง กล่าวคือทุกขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชน แม้กระทั่งน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดยังตรวจพบการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลา ซีโรวาร์ที่ตรวจพบในน้ำได้แก่ *S.* Agona *S.* Anatum *S.* Enteritidis *S.* Orion *S.* Panama และ *S.* Rissen ส่วนซีโรวาร์ที่ตรวจพบในกากตะกอน ได้แก่ *S.* Agona *S.* Anatum และ *S.* Rissen ทั้งนี้ซีโรวาร์ที่ตรวจพบได้บ่อยในน้ำและกากตะกอน ได้แก่ *S.* Agona และ *S.* Rissen ปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนเริ่มต้นที่ 170 MPN/100 ml. การผึ่งแดดกากตะกอนติดต่อกันเป็นเวลา 8 วัน ได้ลดปริมาณซาลโมเนลลาให้เหลือน้อยกว่า 2 MPN/100 ml. ซึ่งต่ำกว่าปริมาณที่จะก่อให้เกิดอันตราย (10^5 เซลล์/น้ำหนักแห้ง 1 กิโลกรัม) เมื่อใช้กระบวนการฆ่าเชื้อเพื่อตรวจสอบยืนยันผลจากการใช้แสงแดด พบว่าตรวจไม่พบการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลาในดินที่เติมกากตะกอนซึ่งผ่านการผึ่งแดดแล้ว เมื่อนำกากตะกอนที่ผ่านการผึ่งแดด 8 วัน ไปใช้ประโยชน์ในการปลูกผักคะน้า (Brassica oleracea L. Var. alboglabra Bailey) แม้จะตรวจพบการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลาในบางช่วงของการเพาะปลูก แต่การปนเปื้อนนั้นพบได้ทั้งดินที่เติมกากตะกอนและไม่เติมกากตะกอน นอกจากนั้นยังตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในดินก่อนที่จะนำมาทำการทดลองอีกด้วย ซึ่งแสดงว่าการเติมกากตะกอนไม่เพิ่มความเสี่ยงจากซาลโมเนลลา และผักคะน้าก็ยังเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.5$) แม้ว่าจะทิ้งช่วงในเติมกากตะกอนครั้งที่สองห่างจากครั้งแรกนาน 50 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนของซาลโมเนลลาไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า

ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้แสงแดดช่วยลดปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอน ก่อนที่จะนำไปใช้ในการเกษตร เพื่อลดความเสี่ยงจากซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอน และสามารถนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวางในอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ไปใช้แทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้

ภาควิชา สหสาขา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวเพียงแผ่นเดียว

3971553023 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD: SEWAGE SLUDGE / SALMONELLA / PATHOGENIC MICROORGANISMS / RISK ANALYSIS

WANWIMOL SAONANON : RISK ANALYSIS OF SALMONELLA AFTER APPLYING DOMESTIC SEWAGE SLUDGE FOR AGRICULTURAL USE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ORAWAN SIRIRATPIRIYA, Ph. D. 192 pp. ISBN 974-333-166-2

The application of domestic sewage sludge for agriculture use is one of management options in expedient nutrients source (nitrogen phosphorus potassium) and as soil amendment from organic materials in the sludge. The limitation of the sludge utilization in agriculture is pathogenic microorganisms and heavy metals contaminated within the sludge. *Salmonella* is generally found in environment such as soil, water and waste, especially, in the sludge. Therefore, *Salmonella* itself ought to be indicated the risk of the sludge utilization. This study focused on monitoring *Salmonella* in process of Wastewater Treatment Plant, minimizing *Salmonella* in the sludge by sunlight exposure. Only sun-dried sludge applied into agriculture soil was conducted in Saraburi and Kamphangsaen soil series at greenhouse glass of Department of Botany, Faculty of Science, Chulalongkorn University. The experimental designed was 3x6 Factorial in Randomized Complete Block with 3 replications, 6 sludge application rates and 3 difference times interval for second crop. The Modified Semi-solid Rappaport Vasiliadis (MSRV) is *Salmonella* detection technique.

The results of monitor *Salmonella* in both wastewater and the sludge indicated that process of Wastewater Treatment Plant could not eliminated the *Salmonella*. *Salmonella* contaminated not only in all process of Wastewater Treatment Plant, but also in the effluent. *S.* Agona *S.* Anatum *S.* Enteritidis *S.* Orion *S.* Panama and *S.* Rissen were found in wastewater, while the sludge found *S.* Agona *S.* Anatum and *S.* Rissen. The serovare frequency detected in both wastewater and the sludge were *S.* Agona and *S.* Rissen. Initial number of *Salmonella* in the sludge was 170 MPN/100 ml. and were decreased to less than 2 MPN/100 ml. after exposed to the sunlight 8 days. This detectable number was below the infection dose that may be harmful (10^5 cells/dried weight 1 kg.). By using disinfection confirmed efficiency of the sunlight in reducing *Salmonella* contaminated in the sludge. After applied sun-dried sludge to agriculture, the result showed that *Salmonella* occationally detected in both soil with and without application of the sludge. This implied the risk of *Salmonella* did not result from the application of the sludge. The growth of Chines kale (Brassica oleracea L. Var. alboglabra Bailey) with the time interval of 50 days for the second crop was not significant difference from that of chemical fertilizer ($p \leq 0.5$). Thus, contamination of *Salmonella* in the sludge could not effect on growth.

That is to say, sunlight effectively enough in both reduce and prevent hazard from *Salmonella* contaminated in domestic sewage sludge before applied to agricultural soils. Fertilizing value of the sludge from Huay Kwang Wastewater Treatment Plant at the rate of 20 tonnes/ha equal to chemical fertilizer.

ภาควิชา INTER-DEPARTMENT ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ENVIRONMENTAL SCIENCE ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 1999 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่องการจัดการกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำเทคนิคต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์และคณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคุณอรุณ บ่างตระกูลนนท์ คุณนพรัตน์ หมานริม และคุณศรีรัตน์ พรเรืองวงศ์ และเจ้าหน้าที่ WHO National *Salmonella* and *Shigella* Center กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ทุกท่านที่แนะนำเทคนิคและช่วยตรวจยืนยันซาลโมเนลลา คุณศุทธิมน เกศสมบูรณ์ คุณสมบูรณ์ ประทีปะจิตติ และเจ้าหน้าที่โรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวางทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและอนุเคราะห์กากตะกอน คุณลายพาน สุขสมเกียรติ และคุณตรีเนตร รอดโพธิ์ทอง ที่อนุเคราะห์ดินสำหรับการวิจัย คุณสุรชัย เที่ยงอรุณ คุณอนุวัฒน์ บุญญาธนานุรัตน์ และคุณวัฒนา คุ้มครอง เจ้าหน้าที่เกษตรอำเภอ จ.นครปฐม ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับพื้นที่และดินในเขตอำเภอเมือง จ.นครปฐม

รองศาสตราจารย์ นสพ. ดร. เกรียงศักดิ์ สายธนู และสพ.ญ. วารี นิยมธรรม คณะสัตวแพทย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่แนะนำเกี่ยวกับการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ MSRV หัวหน้าภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อเรือนกระจกสำหรับปลูกคะน้า ห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และฝ่ายวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ กรมควบคุมมลพิษที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการศึกษาวิจัย รวมถึงคุณวัชรไชย ขมินทกูลและเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทุกท่านที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการวิเคราะห์ทางเคมี

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์โชคชัย ยะชูศรีที่กรุณาแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ คุณชัยนาม เปรมปรีชากุล คุณชัยวุฒิ ตระการฐานณรงค์และทุกๆคนที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวทุกๆคนที่คอยช่วยเหลือ เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนด้วยดีเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่

1. บทนำ 1
2. การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
3. วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินงานวิจัย 34
4. ผลการทดลอง 44
5. วิจารณ์ผลการทดลอง 115
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 150

รายการอ้างอิง 153

ภาคผนวก 162

ประวัติผู้เขียน 192

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างซีโรวาร์ของซาลโมเนลลา..... 7
2.2 ซาลโมเนลลาที่พบบ่อยในอาหารคน สัตว์ อาหารสัตว์และสิ่งแวดล้อม..... 19
3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์สิ่งทดลอง..... 37
3.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง..... 38
3.3 ตำรับทดลองที่ใช้ในการทดลอง..... 40
4.1 ซาลโมเนลลา พีเอช ในน้ำจากขั้นตอนต่างๆของกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง..... 46
4.2 พีเอช เปอร์เซ็นต์ความชื้น และซาลโมเนลลาในกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง..... 48
4.3 พีเอช เปอร์เซ็นต์ความชื้น และปริมาณซาลโมเนลลาในกากตะกอนที่ผ่านการผึ่งแดด..... 50
4.4 การตรวจซาลโมเนลลา วันที่ 1 ของชุดดินสระบุรีที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์..... 52
4.5 การตรวจซาลโมเนลลา วันที่ 30 ของชุดดินสระบุรีที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ 53
4.6 การตรวจซาลโมเนลลา วันที่ 50 ของชุดดินสระบุรีที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์..... 54
4.7 การตรวจซาลโมเนลลา วันที่ 1 ของชุดดินกำแพงแสนที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์..... 55
4.8 การตรวจซาลโมเนลลา วันที่ 30 ของชุดดินกำแพงแสนที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์..... 56
4.9 การตรวจซาลโมเนลลา วันที่ 50 ของชุดดินกำแพงแสนที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 20 และ 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์..... 57
4.10 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ดินและสิ่งทดลองขั้นต้น..... 61
4.11 พีเอชของชุดดินสระบุรี ตามตำรับทดลองที่ฤดูกาลเพาะปลูกแรก..... 65
4.12 พีเอชของชุดดินกำแพงแสน ตามตำรับทดลองที่ฤดูกาลเพาะปลูกแรก..... 66

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.13 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 1 ในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของ ชุดดินสระบุรี..... 70

4.14 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 30 ในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของ ชุดดินสระบุรี..... 71

4.15 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 50 ในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของ ชุดดินสระบุรี..... 72

4.16 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 1 ในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของ ชุดดินกำแพงแสน..... 73

4.17 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 30 ในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของ ชุดดินกำแพงแสน..... 74

4.18 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 50 ในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของ ชุดดินกำแพงแสน..... 75

4.19 การเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของชุดดินสระบุรี..... 77

4.20 การเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของชุดดินกำแพงแสน..... 78

4.21 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 1 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของ ชุดดินสระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองทันที..... 82

4.22 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 30 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของ ชุดดินสระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองทันที..... 83

4.23 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 50 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของ ชุดดินสระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองทันที..... 84

4.24 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 1 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของ ชุดดินกำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองทันที..... 85

4.25 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 30 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของ ชุดดินกำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองทันที..... 86

4.26 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 50 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของ ชุดดินกำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองทันที..... 87

ตารางที่ หน้า

4.27 การเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดินสระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองทันที..... 90
4.28 การเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดินกำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองทันที..... 91
4.29 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 1 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของ ชุดดินสระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 25 วัน..... 94
4.30 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 30 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของ ชุดดินสระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 25 วัน..... 95
4.31 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 50 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของ ชุดดินสระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 25 วัน..... 96
4.32 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 1 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดิน กำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 25 วัน..... 97
4.33 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 30 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดิน กำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรก สิ้นสุด 25 วัน..... 98
4.34 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 50 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดิน กำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 25 วัน..... 99
4.35 การเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดินสระบุรี โดยการเติม สิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 25 วัน..... 102
4.36 การเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดินกำแพงแสน โดยการ เติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 25 วัน..... 103
4.37 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 1 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดิน สระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 50 วัน..... 106
4.38 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 30 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดิน สระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 50 วัน..... 107
4.39 การตรวจชาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 50 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดิน ลระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 50 วัน..... 108

ตารางที่ หน้า

4.40 การตรวจซาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 1 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดินกำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 50 วัน..... 109

4.41 การตรวจซาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 30 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดินกำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 50 วัน..... 110

4.42 การตรวจซาลโมเนลลาตามตำรับทดลอง วันที่ 50 ในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดินกำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 50 วัน..... 111

4.43 การเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดินสระบุรี โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 50 วัน..... 113

4.44 การเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองของชุดดินกำแพงแสน โดยการเติมสิ่งทดลองครั้งที่สองหลังการเก็บเกี่ยวครั้งแรกสิ้นสุด 50 วัน..... 114

5.1 ปริมาณซาลโมเนลลาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย 8 แห่ง..... 118

5.2 การรอดชีวิตของจุลินทรีย์ก่อโรคในดินและพืช..... 139

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อซาลโมเนลลา เปอร์เซ็นต์ความชื้นและพีเอช ในกากตะกอนที่นำไปผึ่งแดด..... 121

5.2 เปรียบเทียบพีเอชในตำรับทดลองของชุดดินสระบุรีและชุดดินกำแพงแสนในฤดูกาล เพาะปลูกแรก..... 131

5.3 เปรียบเทียบพีเอชจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนของชุดดินสระบุรีและ ชุดดินกำแพงแสน..... 132

5.4 เปรียบเทียบพีเอชจากการเติมสารละลายโลหะหนักแคดเมียมและสังกะสีของชุดดินสระบุรี และชุดดินกำแพงแสน..... 133

5.5 เปรียบเทียบพีเอชจากการเติมสิ่งทดลองอัตรา 20 เมตริกตัน/เฮกแตร์ของชุดดินสระบุรีและ ชุดดินกำแพงแสน..... 134

5.6 เปรียบเทียบพีเอชจากการเติมสิ่งทดลองอัตรา 80 เมตริกตัน/เฮกแตร์ของชุดดินสระบุรีและ ชุดดินกำแพงแสน..... 135

5.7 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของชุดดินสระบุรี..... 142

5.8 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกแรกของชุดดินกำแพงแสน. 143

5.9 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกาก ตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองทันทีของชุดดินสระบุรี..... 144

5.10 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกาก ตะกอนน้ำเสียชุมชนครั้งที่สองทันทีของชุดกำแพงแสน..... 145

5.11 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกาก ตะกอนน้ำเสียชุมชนหลังการทิ้งช่วง 25 วันของชุดดินสระบุรี..... 146

5.12 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกาก ตะกอนน้ำเสียชุมชนหลังการทิ้งช่วง 25 วันของชุดดินกำแพงแสน..... 147

5.13 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกาก ตะกอนน้ำเสียชุมชนหลังการทิ้งช่วง 50 วันของชุดดินสระบุรี..... 148

รูปที่ หน้า

5.14 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในฤดูกาลเพาะปลูกที่สองจากการเติมกาก
ตะกอนน้ำเสียชุมชนหลังการทิ้งช่วง 50 วันของชุดดินกำแพงแสน..... 149