



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์

สาขา

สายวิชา

เรื่อง การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย น้ำทิ้ง และกากตะกอนมูลสุกรของฟาร์มสุกร และผลการใช้ของเสียฟาร์มสุกรเป็นปุ๋ยในการปลูกผักต่อการปนเปื้อนโลหะหนักบนต้นผัก

Study on Heavy Metal Content in Waste Water, Effluent and Biogas Digester Sludge of Pig Farms and Effects of Pig Farm Waste Utilization as Fertilizer on Heavy Metal Contamination in Vegetable Production

นามผู้วิจัย นางสาววริศณิศา วิวรรณมงคล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์จรงค์ แก้วประสิทธิ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์อุทัย คันโช, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุกัญญา จิตตพรพงษ์, วท.ม.)

รักษาราชการแทนหัวหน้าสายวิชา

(อาจารย์อนามัย ดำเนตร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย น้ำทิ้ง และกากตะกอนมูลสุกรของฟาร์มสุกร และผลการใช้
ของเสียฟาร์มสุกรเป็นปุ๋ยในการปลูกผักต่อการปนเปื้อนโลหะหนักบนต้นผัก

Study on Heavy Metal Content in Waste Water, Effluent and Biogas Digester Sludge of
Pig Farms and Effects of Pig Farm Waste Utilization as Fertilizer on Heavy Metal
Contamination in Vegetable Production

โดย

นางสาววรัญญิดา วิวรรณมงคล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

วรัญญิตา วิวรรณมงคล 2557: การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย น้ำทิ้ง และกากตะกอนมูลสุกรของฟาร์มสุกร และผลการใช้ของเสียฟาร์มสุกรเป็นปุ๋ยในการปลูกผักต่อการปนเปื้อนโลหะหนักบนต้นผัก. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สายวิชาวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์จรงค์ แก้วประสิทธิ์, Ph.D. 82 หน้า

การทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. ศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของสารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกรที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ และแบบใช้อากาศจำนวน 10 ฟาร์ม โดยเก็บตัวอย่างจาก 3 จุดที่ระบบบำบัดน้ำเสียของแต่ละฟาร์ม และ 2. เปรียบเทียบผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรเป็นปุ๋ยต่อปริมาณการตกค้างของโลหะหนักในดินที่ปลูกผักนึ่งและผักกาดหอม ชนิดละ 2 รอบ มี 4 ตำรับการทดลอง ดังนี้ 1. ปุ๋ยชีวภาพ 2. ปุ๋ยชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี 3. ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร 4. ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร+กากตะกอนมูลสุกร ตำรับละ 4 ซ้ำ ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสูงสุดของสารหนู แคดเมียม ปรอทและตะกั่วในน้ำเสียและน้ำทิ้ง คือ 0.0598 ± 0.0139 , 0.0065 ± 0.0027 , 0.0004 ± 0.0001 และ $0.0472 \pm 0.0127 \text{ mg L}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณนี้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ และไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักกับจุดที่เก็บตัวอย่าง ส่วนในกากตะกอนมูลสุกร ปริมาณสารหนู แคดเมียม ปรอทและตะกั่ว เท่ากับ 3.9658-17.4499, 0.7058-2.6585, 0-0.5054 และ 3.7611-44.9735 mg kg^{-1} ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 จึงสามารถนำน้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรเป็นปุ๋ยได้

สำหรับผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชต่อปริมาณการตกค้างของสารหนู แคดเมียม ปรอท และตะกั่วในดินที่ปลูกผักนึ่งและผักกาดหอม พบว่า มีปริมาณการตกค้างของแคดเมียมและตะกั่วในดินก่อนและหลังปลูกผักนึ่ง แต่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และในผักนึ่งมีตะกั่วตกค้างปริมาณ 0.1398-0.1567 mg kg^{-1} โดยพบในแปลงที่ใช้ น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรมากที่สุด และพบว่ามีปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในดินก่อนและหลังปลูกผักกาดหอมเช่นกันและต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ปริมาณตะกั่วในผักกาดหอมมีค่าระหว่าง 0.0020-0.0035 mg kg^{-1} โดยตกค้างมากที่สุดในแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมี ทั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนักในดินก่อนปลูก หลังปลูก และปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในผักนึ่งและผักกาดหอม โดยปริมาณตะกั่วที่พบในผักทั้งสองชนิด ต่ำกว่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ฉบับที่ 2)

ลายมือชื่อผู้นิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Wareenida Wiwanthamongkon 2013: Study on Heavy Metal Content in Waste Water, Effluent and Biogas Digester Sludge of Pig Farms and Effects of Pig Farm Waste Utilization as Fertilizer on Heavy Metal Contamination in Vegetable Production. Master of Science (Environmental Science and Technology), Major Field: Environmental Science and Technology, Division of Sciences. Thesis Advisor: Associate Professor Chongrak Kaewprasit, Ph.D. 82 pages.

Objectives of this study were 1. to evaluate content of arsenic (As), cadmium (Cd), mercury (Hg) and lead (Pb) in waste water, effluent and sludge from biogas digester of 10 pig farms collected from 3 sites, and 2. to compare effects of using bio-fertilizer, chemical fertilizer, effluent and effluent+sludge from biogas digesters as plant nutrient source on heavy metal residue in cultivated medium, morning glory and lettuce. The vegetables were grown by 4 treatments of fertilizer application 1. bio-fertilizer, 2. bio-fertilizer+chemical fertilizer, 3. effluent+bio-fertilizer and 4. bio-fertilizer+effluent+biogas digester sludge. The study was conducted 4 replication of treatments and for 2 crops of the vegetables production by using completely randomized design (CRD). Result of the first objective showed that content of As, Cd, Hg and Pb in the effluent of biogas digester were 0.0598 ± 0.0139 , 0.0065 ± 0.0027 , 0.0004 ± 0.0001 และ $0.0472 \pm 0.0127 \text{ mg L}^{-1}$, respectively. However, all the heavy metal content are less than the PCD standard, and there were no relationship between the heavy metal content and the collection site of the samples. The content of As, Cd, Hg and Pb in sludge of biogas digester were 3.9658-17.4499, 0.7058-2.6585, 0-0.5054 and $3.7611-44.9735 \text{ mg kg}^{-1}$, respectively. However, the heavy metal content is less than the maximum limits of organic fertilizer standard.

Result of the second objective also showed that there were Cd and Pb in cultivated medium both at before and after the vegetable production. Morning glory grown by using effluent+sludge from biogas digester contains Pb $0.1398-0.1567 \text{ mg kg}^{-1}$ meanwhile lettuce grown by using chemical fertilizer contains Pb $0.0020-0.0035 \text{ mg kg}^{-1}$. There were no relationship between the heavy metal content in soil medium both at before and after vegetable cultivation and the lead content in both morning glory and lettuce is less than the maximum limits of food safety (article 2).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ดิฉันขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จงรักษ์ แก้วประสิทธิ์ ประธานกรรมการ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ทุ่มเทแรงกาย แรงใจในการสอนทั้งเรื่องการเรียนและการดำเนินชีวิต
สอนให้ทำงานอย่างเป็นขั้นตอน มีระบบและมีประสิทธิภาพ เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ดีและมีคุณภาพ
สละเวลาส่วนตัวเพื่อให้ดิฉันได้ความรู้และความเข้าใจในการทำวิทยานิพนธ์และการเขียนวารสาร
 อีกทั้งยังอบรมคุณธรรม และจริยธรรมเพื่อให้เป็นคนดีในสังคมทั้งในปัจจุบันและอนาคต
ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์อุทัย คັນโธ และอาจารย์สุกัญญา จัดตุพรพงษ์ กรรมการ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำและการช่วยเหลือต่าง ๆ ในเรื่องของทุนสนับสนุน
การทำวิทยานิพนธ์และการเขียนวารสาร สอนวิธีการทำงานและการอยู่ร่วมกับผู้อื่น การติดต่อ
ประสานงานอย่างเป็นขั้นตอน ทั้งนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์ทั้ง 3 ท่าน ที่มอบความเป็นอาจารย์ที่มี
จิตวิญญาณของความเป็นครูและเป็นผู้ให้อย่างไม่มีที่สิ้นสุดในการสอนความรู้ทุกอย่างให้กับดิฉัน

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์นาถ นาทวรรณันต์ ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร. ลีติยา แซ่ปั้ง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้ไขและ
ให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณศูนย์คั้นคว่ำและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจ
เพื่อการคั้นคว่ำและผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัด
นครปฐม ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยคาว์สด์ /อุปกรณ์ สารเคมี ค่าบริการในการใช้เครื่องมือ และ
อนุญาตให้ใช้เครื่อง Inductively-coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES)
สำหรับการวิเคราะห์โลหะหนัก

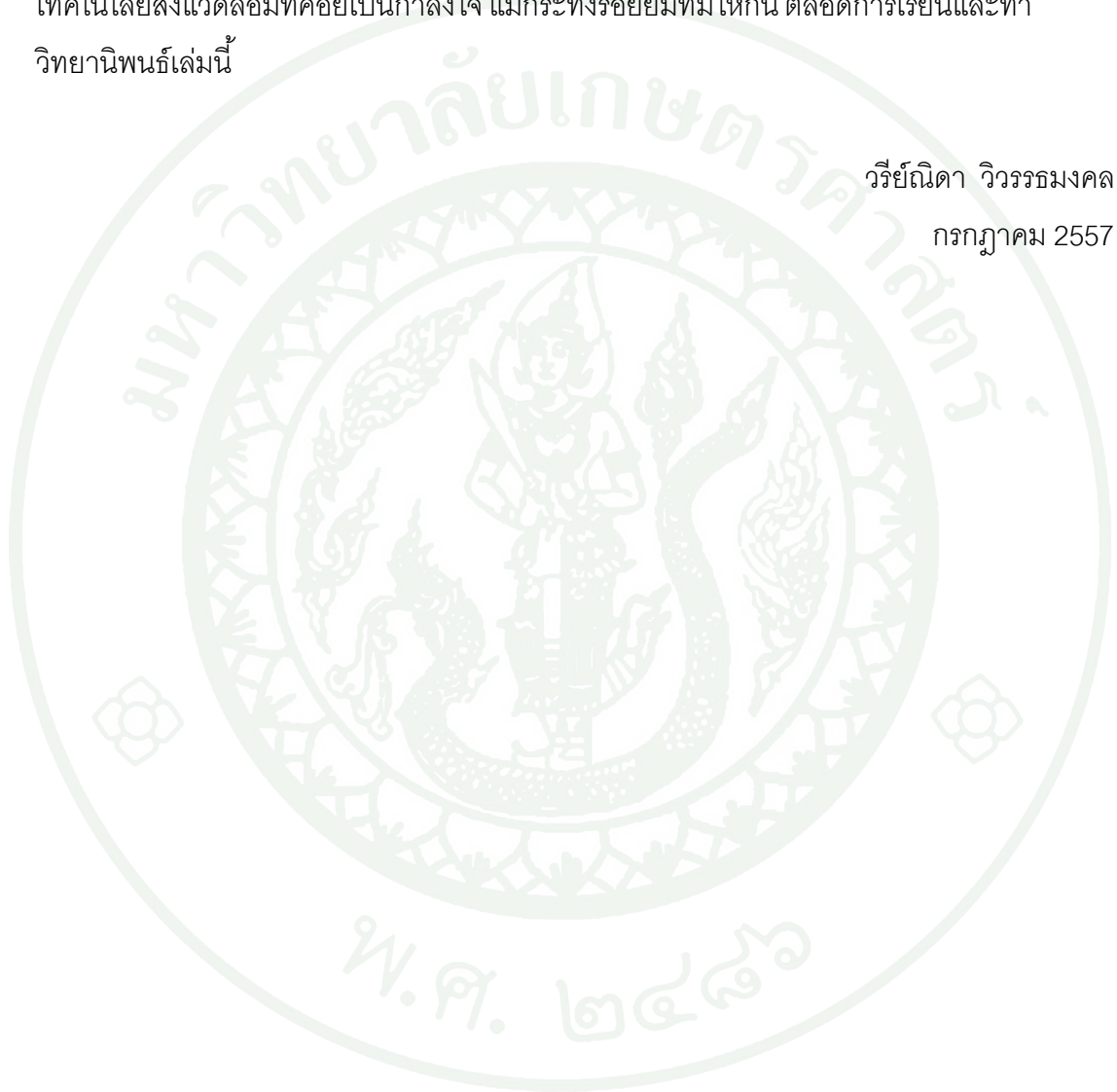
ขอขอบคุณสาขาวิชาชีวเคมีที่ให้สถานที่ในการเก็บตัวอย่างในการวิจัย และเจ้าหน้าที่
สาขาวิชาเคมี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ที่ช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วและ
เครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่างโลหะหนัก ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่งานทดสอบ ดิน ปุ๋ยและ
การประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน
และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยคั้นคว่ำและพัฒนาอาหารสัตว์ที่แนะนำการวิเคราะห์

ตัวอย่าง CEC และการย่อยตัวอย่างดินและพืช รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการทำการทดลอง
และวิเคราะห์ตัวอย่าง

สุดท้ายขอขอบคุณบิดามารดา พี่น้อง และเพื่อน พี่ ๆ น้อง ๆ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมที่คอยเป็นกำลังใจ แม้กระทั่งรอยยิ้มที่มีให้กัน ตลอดการเรียนและทำ
วิทยานิพนธ์เล่มนี้

วริย์ณิดา วิวรรณมงคล

กรกฎาคม 2557



สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	42
สรุปผลการทดลอง	71
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	80
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	82

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	จำนวนสุกรแต่ละภาคของประเทศ ปี 2546 - 2555 (หน่วย: ตัว)	6
2	จังหวัดที่มีจำนวนสุกรในปี 2555 มากที่สุด 10 อันดับแรก (หน่วย: ตัว)	7
3	ปริมาณสิ่งขับถ่ายจากสุกร	8
4	ปริมาณและลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำแนกตามฟาร์ม	9
5	มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	10
6	ปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยสำหรับพืชที่มีในมูลสัตว์แห่งชนิดต่างๆ	11
7	ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในน้ำล้างคอกสุกรซึ่งเก็บตัวอย่างจากบ่อพักน้ำในฟาร์มสุกร	12
8	ฟาร์มสุกรและสถานที่ตั้ง	30
9	สมบัติทางกายภาพของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	42
10	ความเป็นกรด-เบส ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	44
11	ปริมาณสารหนูในน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	46
12	ปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียและน้ำทิ้งของฟาร์มสุกร	47
13	ปริมาณปรอทในน้ำเสียและน้ำทิ้งของฟาร์มสุกร	48
14	ปริมาณตะกั่วในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	50
15	สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนมูลสุกร	51
16	ความเป็นกรด-เบสของกากตะกอนมูลสุกร	52
17	ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนมูลสุกร	54
18	ความเป็นกรด-เบส (pH), CEC, ปริมาณโลหะหนักในดินและผักนึ่ง รอบการปลูกที่ 1	57
19	ความเป็นกรด-เบส (pH), CEC, ปริมาณโลหะหนักในดินและผักนึ่ง รอบการปลูกที่ 2	59
20	ความเป็นกรด-เบส (pH), CEC, ปริมาณโลหะหนักในดินและผักกาดหอม รอบการปลูกที่ 1	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	ความเป็นกรด-เบส (pH), CEC, ปริมาณโลหะหนักในดินและผักกาดหอม รอบการปลูกที่ 2	64
22	ปริมาณตะกั่วในผักบุ้งรอบการปลูกที่ 1 และ 2	66
23	ปริมาณตะกั่วในผักกาดหอมรอบการปลูกที่ 1 และ 2	67
24	ประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วสู่ผักบุ้ง	69
25	ประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วสู่ผักกาดหอม	70
ตารางผนวกที่		
1	สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	81

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ fixed dome digester, covered lagoon digester และ channel digester	14
2	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ponding system	15
3	แผนผังจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ fixed dome digester, covered lagoon digester, channel digester	32
4	แผนผังจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ponding system	32

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย น้ำทิ้ง และกากตะกอนมูลสุกรของฟาร์มสุกร และผลการใช้ของเสียฟาร์มสุกรเป็นปุ๋ยในการปลูกผักต่อการปนเปื้อนโลหะหนักบนต้นผัก

Study on Heavy Metal Content in Waste Water, Effluent and Biogas Digester Sludge of Pig Farms and Effects of Pig Farm Waste Utilization as Fertilizer on Heavy Metal Contamination in Vegetable Production

คำนำ

การเลี้ยงสุกรเป็นอาชีพหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย และสุกรเป็นสินค้าเกษตรกรรมที่มีบทบาทสำคัญ ทั้งทางด้านการผลิตและการบริโภคของประชาชนในประเทศไทย ปัจจุบันกิจการฟาร์มเลี้ยงสุกรเพื่อการค้าในประเทศไทยได้ขยายตัวเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะจังหวัดในภาคกลางและภาคตะวันออกของประเทศ ทั้งนี้ผู้เลี้ยงสุกรได้พัฒนาและปรับปรุงการผลิตสุกรให้สามารถแข่งขันและตอบสนองของความต้องการของตลาดได้มากขึ้น โดยได้มีการขยายตัวการเลี้ยงสุกรมาอย่างยาวนานและต่อเนื่อง จึงส่งผลให้เกิดของเสียจากการเลี้ยงสุกรเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งมีทั้งมูลสุกรและน้ำเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสุกร แต่ฟาร์มสุกรทั่วไปยังมีปัญหาด้านการจัดการมูลสุกรและการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยเฉพาะฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากไม่มีที่ดินและเงินลงทุนเพียงพอสำหรับการสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย (อดิศร, 2549) ดังนั้นจึงมักก่อให้เกิดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมภายในฟาร์มและชุมชนใกล้เคียง รวมทั้งการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์มีนโยบายให้ฟาร์มสุกรมีการพัฒนาการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรให้ได้รับการรับรองมาตรฐานน้ำทิ้งจากกรมควบคุมมลพิษด้วย จึงทำให้ผู้ผลิตสุกรต้องพัฒนาและปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ อีกทั้งส่งเสริมให้มีการใช้ประโยชน์ของเสียจากฟาร์มสุกรมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารในการปลูกพืช

ฟาร์มสุกรในประเทศไทยโดยทั่วไปมักมีการเก็บกวาดมูลสัตว์ ส่วนที่เป็นของแข็ง (solid) ได้แก่ มูลสุกรและเศษอาหาร นำไปฝังแดดแห้งและจำหน่ายให้กับเกษตรกรผู้ปลูกพืช ส่วนของเสีย

ที่เป็นของเหลว ได้แก่ บั๊สสวะ น้ำล้างคอกและน้ำหลังทำความสะอาดตัวสุกร จะถูกบำบัดโดยการผ่านบ่อกัก (ponding system) หรือการผ่านบ่อบำบัดไร้อากาศ (anaerobic digester) แบบต่าง ๆ ได้แก่ ระบบบำบัด fixed dome digester, covered lagoon digester และ channel digester เพื่อการผลิตก๊าซมีเทน (methane) สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในฟาร์ม และเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้เหมาะสมตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ผลที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดต่าง ๆ คือ น้ำเสียจากระบบบ่อกักก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และกากตะกอนที่นำไปตากแห้ง ซึ่งส่วนมากจะถูกนำไปใช้ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์สำหรับปลูกพืช โดยใช้เป็นปุ๋ยใส่ทางดินและเป็นปุ๋ยน้ำสำหรับฉีดพ่นทางใบให้กับพืช ทั้งนี้เนื่องจากในของเสียเหล่านี้มีธาตุอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะแร่ธาตุรองและจุลธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) ซัลเฟอร์ (S) โซเดียม (Na) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) ฯลฯ เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากธาตุอาหารเหล่านี้มีการเสริมในอาหารสัตว์ แต่สัตว์มักไม่สามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ได้หมด จึงเหลือขับถ่ายออกมาในมูลสัตว์ ซึ่งธาตุเหล่านี้มีประโยชน์ช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ส่งผลให้พืชได้ผลผลิตมากขึ้นและมีคุณภาพดีขึ้นอีก ทั้งเป็นการทำการเกษตรอินทรีย์ที่ลดการใช้ปุ๋ยเคมีลง ช่วยลดปัญหาของเสียในฟาร์มและทำให้ผู้เลี้ยงสุกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการขายมูลสัตว์เพื่อใช้เป็นปุ๋ยให้แก่พืช (สุกัญญา และคณะ, 2555) ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำมูลสุกรมาใช้ในทางเกษตรกรรมอย่างต่อเนื่อง แต่การนำมูลสุกรมาใช้ประโยชน์ในเชิงเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชยังไม่ได้รับการสนับสนุนอย่างดีเท่าที่ควร ถึงแม้ว่าในระยะที่ผ่านมาจะไม่มีรายงานความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมในการนำของเสียจากฟาร์มสุกรมาใช้เป็นปุ๋ยให้แก่พืชแต่ประการใด แต่ยังคงมีความกังวลถึงความปลอดภัยของการปนเปื้อนโลหะหนักในของเสียฟาร์มสุกรที่อาจจะเป็นอันตรายต่อคนได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในของเสียฟาร์มสุกรอย่างเป็นรูปธรรม เพื่อยืนยันความปลอดภัย การยอมรับ และการขยายตัวในการใช้มูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารในการเพิ่มผลผลิตพืชอย่างกว้างขวางต่อไป

ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) ในน้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกร รวมทั้งศึกษาผลการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมาใช้ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชต่อปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักดังกล่าวในดินและพืชที่

ปลูก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำของเสียจากฟาร์มสุกรใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้
อย่างปลอดภัยและเพิ่มความมั่นใจให้กับผู้บริโภค



วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของสารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกร
2. เปรียบเทียบผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชต่อปริมาณการตกค้างของสารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) ในดินที่ปลูก ผักบุ้ง และผักกาดหอม
3. เปรียบเทียบปริมาณการตกค้างของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในผักบุ้งและผักกาดหอม

การตรวจเอกสาร

1. ฟาร์มสุกรและของเสียจากฟาร์มสุกร

1.1 ระบบการเลี้ยงสุกร (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2550)

ปัจจุบันระบบการเลี้ยงสุกรของไทยแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามจำนวนสุกรที่เลี้ยง ดังนี้

1.1.1 ผู้เลี้ยงรายย่อย หมายถึง ผู้เลี้ยงสุกรที่มีจำนวนสุกรไม่เกินรายละ 50 ตัว นิยมเลี้ยงสุกรเป็นอาชีพเสริม ผู้เลี้ยงสุกรรายย่อยไม่ค่อยมีการพัฒนาหรือปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตให้เป็นแบบการค้าอย่างแท้จริง และไม่มีการควบคุมหรือป้องกันโรคสุกรที่ดี

1.1.2 ผู้เลี้ยงเชิงการค้า หมายถึง ผู้เลี้ยงสุกรมีจำนวนสุกรตั้งแต่ 50 ตัวขึ้นไป มีการลงทุนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกรเลี้ยงแบบรายย่อยการเลี้ยงสุกรเป็นการค้า อาจเรียกว่า ฟาร์มเลี้ยงสุกร ซึ่งมีการพัฒนาและปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอยู่เสมอ

การเลี้ยงสุกรของไทยเป็นระบบการผลิตแบบเสรี ผู้เลี้ยงสุกรสามารถเข้ามาทำการผลิตหรือเลิกการผลิตได้ง่าย ทำให้จำนวนผู้เลี้ยงสุกรและจำนวนสุกรมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามภาวะการเปลี่ยนแปลงของตลาดและราคาสุกร สถิติจำนวนสุกรรวมทั้งประเทศของกรมปศุสัตว์ในระหว่างปี พ.ศ. 2546 - 2555 แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนสุกรแต่ละภาคของประเทศไทย ปี 2546 - 2555 (หน่วย: ตัว)

ปี พ.ศ.	ภาคกลาง	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคเหนือ	ภาคใต้	รวมทั้งประเทศ
2546	4,554,870	1,366,171	1,230,600	663,893	7,815,534
2547	3,947,659	1,028,625	826,357	482,962	6,285,603
2548	4,836,277	1,505,338	1,249,358	583,553	8,174,526
2549	4,235,903	1,367,743	997,873	552,265	7,153,784
2550	5,038,136	1,693,707	1,780,029	788,201	9,300,073
2551	4,145,834	1,689,436	1,233,716	671,589	7,740,575
2552	4,669,535	1,482,117	1,363,970	1,022,081	8,537,703
2553	4,517,561	1,520,591	1,491,595	817,270	8,347,017
2554	5,173,452	1,668,460	1,734,275	1,105,587	9,681,774
2555	5,836,092	1,914,338	2,008,552	1,219,852	10,978,834

ที่มา: กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์ (2556 ก)

1.2 ประเภทการเลี้ยงสุกร

ประเภทการเลี้ยงสุกรตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.2.1 ประเภท ก (ขนาดใหญ่) หมายถึง ฟาร์มที่มีการเลี้ยงสุกรน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ (นปส.) มากกว่า 600 นปส. หรือเท่ากับจำนวนสุกรขุนมากกว่า 5,000 ตัว

1.2.2 ประเภท ข (ขนาดกลาง) หมายถึง ฟาร์มที่มีการเลี้ยงสุกรน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ตั้งแต่ 60 - 600 นปส. หรือเท่ากับจำนวนสุกรขุนตั้งแต่ 500 - 5,000 ตัว

1.2.3 ประเภท ค (ขนาดเล็ก) หมายถึง ฟาร์มที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ตั้งแต่ 6 - น้อยกว่า 60 นปส. หรือเท่ากับจำนวนสุกรขุนตั้งแต่ 50 ตัว - น้อยกว่า 500 ตัว

จำนวนสุกรแต่ละจังหวัดในประเทศไทยของ เมื่อปี พ.ศ. 2555 ซึ่งจังหวัดที่เลี้ยงสุกรมากที่สุด 10 อันดับแรก แสดงในตารางที่ 2 โดยจังหวัดที่มีการเลี้ยงสุกรมากที่สุด คือ ราชบุรี รองลงมา คือ ชลบุรีและนครปฐม ตามลำดับ

ตารางที่ 2 จังหวัดที่มีจำนวนสุกรในปี 2555 มากที่สุด 10 อันดับแรก (หน่วย: ตัว)

ลำดับ	จังหวัด	จำนวนสุกร			สุกรทั้งหมด
		พื้นเมือง	สุกรพันธุ์	สุกรขุน	
1	ราชบุรี	1,685	622,890	1,165,004	1,789,579
2	ชลบุรี	5,206	308,406	637,363	950,975
3	นครปฐม	41,113	142,468	331,787	515,368
4	ลพบุรี	7,636	108,176	382,626	498,438
5	นครราชสีมา	18,980	106,941	283,032	408,953
6	เชียงใหม่	65,360	145,050	169,404	379,814
7	ฉะเชิงเทรา	1,678	93,354	283,080	378,112
8	พัทลุง	13,635	107,601	240,742	361,978
9	นครศรีธรรมราช	24,697	101,250	178,789	304,736
10	สุพรรณบุรี	16,249	50,366	192,169	258,784

ที่มา: กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์ (2556ข)

1.3 ของเสียจากฟาร์มสุกร

1.3.1 มูลสุกร (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2550)

มูลสุกรเป็นส่วนเหลือของอาหารที่ย่อยไม่ได้ มีทั้งส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลว หรือส่วนที่ย่อยได้แต่ไม่ถูกดูดซึม และสิ่งที่ขับถ่ายออกมา โดยเฉพาะจากทางเดินอาหาร เช่น เยื่อบุผนังลำไส้ แบคทีเรีย เป็นต้น ในมูลสุกรจะประกอบด้วยน้ำประมาณ 65-85 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เป็นของแข็งอีกประมาณ 15-35 เปอร์เซ็นต์

การขับถ่ายของสุกรจะผันแปรตามเพศ อายุ ขนาด ชนิดและปริมาณอาหารที่สุกรกิน และปริมาณน้ำที่สุกรได้รับ ปริมาณสิ่งขับถ่ายเฉลี่ยของสุกร 1 ตัว ในแต่ละวันที่ระยะต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณสิ่งขับถ่ายจากสุกร

สุกร	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ปริมาณสิ่งขับถ่าย (กิโลกรัม/วัน)
สุกรเล็ก	15	1.04
สุกรหย่านม	30	1.90
สุกรขุน	70	4.60
สุกรขุน	90	5.80
แม่สุกรไม่อุ้มท้อง	125	4.03
แม่สุกรอุ้มท้อง	170	14.90
แม่สุกรเลี้ยงลูก	160	4.90

ที่มา: มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2550)

1.3.2 น้ำเสียจากฟาร์มสุกร

น้ำเสียจากฟาร์มสุกร หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมายจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่สามารถนำมาใช้อุปโภคหรือบริโภคได้ และเป็นสาเหตุสำคัญให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรมหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

จากโครงสร้างการผลิตภาคปศุสัตว์พบว่า การเลี้ยงสุกรทำให้เกิดน้ำเสียที่มีปริมาณความสกปรกสูงและระบายลงสู่แหล่งน้ำมากที่สุด (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) และผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าการเลี้ยงสุกรจะทำให้เกิดปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย 10, 15 และ 20 ลิตร/ตัว/วัน สำหรับฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็กตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณและลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำแนกตามฟาร์ม

ขนาดฟาร์ม	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)	ลักษณะของน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร)				
		บีโอดี	ซีโอดี	สารแขวนลอย	ทีเคเอ็น	ฟอสฟอรัสทั้งหมด
ขนาดใหญ่	10	3,000	7,000	4,800	540	8.0
ขนาดกลาง	15	2,500	6,800	3,000	540	9.5
ขนาดเล็ก	20	1,500	4,000	2,000	400	17.0

หมายเหตุ :

บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) เป็นการวัดค่าความสกปรกของน้ำที่แสดงปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ถ้าค่าบีโอดีสูงแสดงว่าน้ำมีความสกปรกสูง

ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, BOD) เป็นค่าความต้องการออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำด้วยวิธีการทางเคมี

ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl nitrogen, TKN) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณไนโตรเจนที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ซึ่งเป็นผลรวมของไนโตรเจนอินทรีย์ และแอมโมเนียไนโตรเจน ถ้าทีเคเอ็นมีค่าสูง จะทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตมากเกินไป และส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2552)

ปริมาณน้ำเสียที่แตกต่างกันออกไปในตารางที่ 4 ขึ้นอยู่กับการทำความสะอาดคอก เช่น ถ้ามีการเก็บกวาดมูลสุกรออกจากพื้นคอกก่อนให้น้ำชีดล้าง จะมีค่าแตกต่างไปจากไม่มีการเก็บกวาดมูลก่อนการชีดน้ำพื้นคอก หรือ ประเภทของสุกรที่เลี้ยง เช่น ผู้เลี้ยงเน้นทำความสะอาดสุกรพ่อพันธุ์ - แม่พันธุ์มากกว่าสุกรขุน ทำให้ปริมาณน้ำเสียสูงกว่าฟาร์มสุกรขุน แต่จะมีกากเศษอาหารและมูลน้อยกว่าน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขุน นอกจากนี้ปริมาณน้ำเสียยังขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้น้ำและอุปกรณ์ชีดล้างพื้นคอกของแต่ละฟาร์ม

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรต้องได้รับการบำบัดก่อนที่จะระบายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะเรียกว่า น้ำทิ้ง ซึ่งฟาร์มสุกรต้องมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้ง ตามค่าดัชนีคุณภาพน้ำให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 มาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ดัชนีคุณภาพน้ำ	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด	
	มาตรฐาน ก	มาตรฐาน ข
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5 - 9	5.5 - 9
2. บีโอดี (BOD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	60	100
3. ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	300	400
4. สารแขวนลอย (SS) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	150	200
5. ไนโตรเจนรวม (TKN) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	120	200

หมายเหตุ: *มาตรฐาน ก หมายถึง ฟาร์มประเภท ก ในข้อ 1.2.1

*มาตรฐาน ข หมายถึง ฟาร์มประเภท ข และ ค ในข้อ 1.2.2-1.2.3

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2555)

1.4 ปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ โดย สุกัญญาและคณะ (2555) พบว่า มูลสัตว์แต่ละชนิด มีปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหารในปริมาณที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยสำหรับพืชที่มีในมูลสัตว์แห่งชนิดต่างๆ

ธาตุ	มูลสัตว์						
	มูลสุกร	กากตะกอน (สุกร)	มูลไก่ไข่	มูลโคเนื้อ	มูลโคนม	มูลแพะ	มูลแกะ
เปอร์เซ็นต์							
ไนโตรเจน	2.69	2.23	2.59	1.36	1.27	1.03	0.94
ฟอสฟอรัส	3.24	6.84	1.96	0.51	0.48	0.66	0.54
โพแทสเซียม	1.12	0.23	2.29	1.71	1.42	0.64	1.07
แคลเซียม	3.85	11.70	8.09	1.76	0.98	1.49	1.23
แมกนีเซียม	1.18	1.09	0.74	0.50	0.43	0.37	0.34
ซัลเฟอร์	0.19	1.16	0.54	0.33	0.31	0.37	0.19
โซเดียม	0.27	0.07	0.32	0.73	0.23	0.13	0.20
เหล็ก	0.44	0.63	0.31	0.45	0.34	0.14	0.11
มก./กก.							
ทองแดง	611.07	1001.73	75.51	40.63	29.92	27.78	21.01
แมงกานีส	1030.13	2060.29	591.87	375.86	416.10	210.88	205.28
สังกะสี	975.5	2791.1	396.54	134.62	121.60	125.64	103.53
โบรอน	-	32.09	27.85	-	-	-	-

หมายเหตุ: - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ที่มา: สุกัญญา และคณะ (2555)

1.5 ปริมาณธาตุอาหารในน้ำล้างคอก

น้ำล้างคอก ปัสสาวะ เศษอาหารและมูลสุกรที่ไม่สามารถเก็บกวาดได้ ก็จะไหลรวมกันไปตามร่องระบายน้ำสู่บ่อพักน้ำเสียหรือเข้าสู่ระบบบำบัดต่อไป ซึ่งในส่วน้ำก็ยังมีธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ ละลายอยู่บ้าง จึงสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำที่ให้ทางดินหรือเป็นปุ๋ยที่ฉีดให้ทางใบกับพืชได้เช่นกัน แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในน้ำล้างคอกสุกรซึ่งเก็บตัวอย่างจากบ่อพักน้ำในฟาร์มสุกร

ธาตุ	น้ำล้างคอกบ่อที่ 1	น้ำล้างคอกบ่อที่ 2	น้ำบ่อก๊าซชีวภาพ
เปอร์เซ็นต์			
ไนโตรเจน	0.15	0.02	0.023
ฟอสฟอรัส	0.12	0	0.005
โพแทสเซียม	0.04	0.02	0.011
แคลเซียม	0.21	0.01	0.004
แมกนีเซียม	0.03	0.01	0.003
ซัลเฟอร์	0.01	0	-
มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม			
เหล็ก	684.93	0.44	-
ทองแดง	88.89	6.44	-
แมงกานีส	76.50	2.70	-
โซเดียม	203.26	154.61	-
สังกะสี	382.68	0.04	-

หมายเหตุ: - ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ บ่อที่ 1 คือ บ่อบำบัดบ่อแรกที่รวบรวมน้ำทิ้งจากฟาร์ม น้ำสีดำและมีเศษมูลสุกรแขวนลอยอยู่บ้าง บ่อที่ 2 คือ บ่อบำบัดบ่อสุดท้าย น้ำมีสีเขียวของแพลงก์ตอนพืชมีลักษณะใส

ที่มา: สุกัญญา และคณะ (2555)

2. แนวทางการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกร

กรมปศุสัตว์ (ม.ป.ป.) มีแนวคิดในการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มสุกร คือ การลดของเสียที่แหล่งกำเนิด การใช้ซ้ำ/ใช้หมุนเวียน การบำบัดของเสีย และการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวทำให้ประหยัดต้นทุนการผลิต ได้ใช้ทรัพยากรอย่างประหยัดและคุ้มค่า รวมถึงการผลิตสุกรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การลดปริมาณของเสียจากฟาร์มสุกร

โดยการเก็บกวาดมูลสุกรภายในโรงเรือนให้มากที่สุด ก่อนทำความสะอาดโรงเรือน และอาจนำมูลสุกรไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆ เช่น นำไปใส่บ่อหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพหรือนำไปตากแห้งแล้วนำไปทำเป็นปุ๋ยคอก

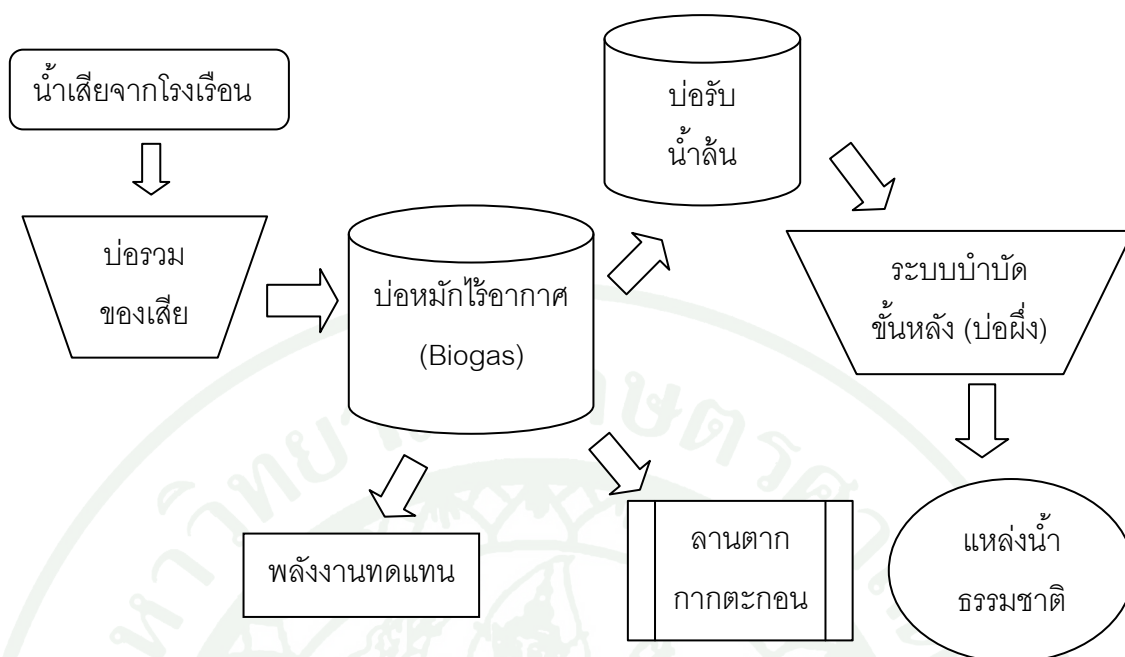
2.2 การใช้หมุนเวียน หรือการใช้ซ้ำ

การนำของเสียและน้ำเสียที่เกิดขึ้น ไปผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสีย และนำกลับมาใช้ภายในฟาร์ม เช่น การล้างโรงเรือน การนำไปรดต้นไม้ในฟาร์ม นำไปใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช เป็นต้น

2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546ข)

การบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกรมี 2 วิธีคือ แบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ การบำบัดแบบใช้อากาศอาศัยแบคทีเรียที่หายใจด้วยออกซิเจนในอากาศ ส่วนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศอาศัยแบคทีเรียที่หายใจด้วยสารอื่นที่ไม่ใช้อากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 แบบไม่ใช้อากาศ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ใช้กันมากในฟาร์มสุกรคือ ได้แก่ แบบ fixed dome digester เหมาะกับฟาร์มสุกรไม่เกิน 500 ตัว ส่วน covered lagoon digester เหมาะกับฟาร์มสุกร 500-5,000 ตัวและ channel digester เหมาะกับฟาร์มสุกรมากกว่า 5,000 ตัว) ซึ่งมีรูปแบบของระบบดังภาพที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

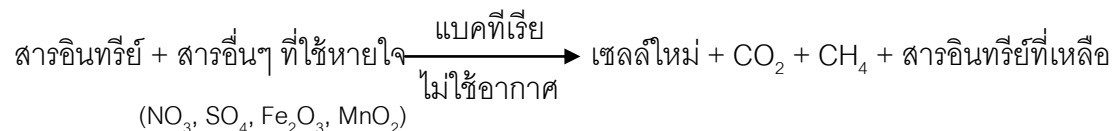


ภาพที่ 1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ fixed dome digester, cover lagoon digester และ channel digester

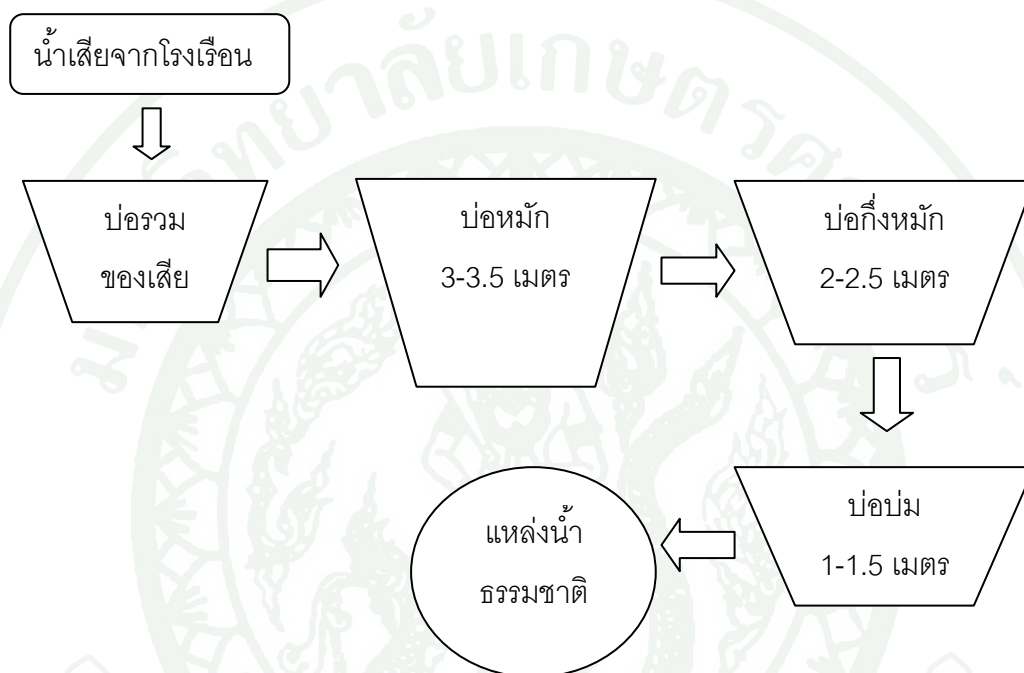
หมายเหตุ : จำนวนบ่อของระบบบำบัดขั้นหลังขึ้นอยู่กับจำนวนสุกร พื้นที่ภายในฟาร์มและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น โดยตามมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษควรมีบ่อพักน้ำ 3 บ่อก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือนำไปใช้ประโยชน์

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2556)

ฟาร์มสุกรส่วนใหญ่ที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะไม่มีก๊อบกวดมูลสุกรจากคอกสุกร แต่บางฟาร์มมีการเก็บกวดมูลสุกรขึ้นก่อน เพื่อให้ น้ำเสียมีความสกปรกน้อยลง โดยของเสียทั้งหมดจะถูกนำเข้าสู่บ่อบำบัดน้ำเสียที่ไม่ใช้อากาศในแบบต่างๆ ระบบนี้อาศัยแบคทีเรียที่หายใจด้วยสารอื่นที่ไม่ใช้อากาศเป็นผู้ทำลายสารอินทรีย์ แบคทีเรียชนิดนี้จึงไม่เหมือนกับแบคทีเรียที่หายใจด้วยอากาศ ซึ่งสิ่งที่เหลือจากระบบ คือ น้ำทิ้งและกากตะกอนที่สามารถนำมาทำปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้ ดังสมการต่อไปนี้



2.3.2 แบบใช้อากาศ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศที่ใช้กันมากในฟาร์มสุกรคือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝิ่ง (ponding system) ซึ่งในระบบนี้เหมาะกับฟาร์มเลี้ยงสุกรทุกขนาด มีการเก็บกวาดมูลสุกรในโรงเรือนไปจำหน่ายให้แก่เกษตรกรแล้วจึงล้างคอกสุกรเพื่อให้ของเสียที่เหลืออยู่และน้ำเสียทั้งหมดเข้าสู่ระบบบำบัด ดังภาพที่ 4

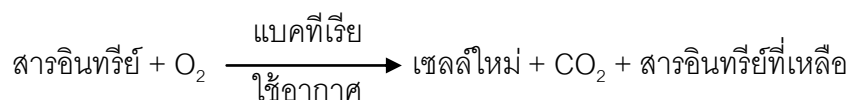


ภาพที่ 2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ponding system (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

หมายเหตุ : จำนวนบ่อของระบบบำบัดอาจมีมากกว่า 3 บ่อ ขึ้นอยู่กับจำนวนสุกร พื้นที่ภายในฟาร์มและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2556)

ponding system เป็นการบำบัดน้ำเสียที่กำจัดสารอินทรีย์ (บีโอดีและซีโอดี) ที่อยู่ในน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศอาศัยแบคทีเรียที่หายใจด้วยออกซิเจน(ในอากาศ) เป็นผู้ทำลายหรือกินสารอินทรีย์ ซึ่งสิ่งที่เหลือจากระบบ คือ น้ำทิ้งที่สามารถนำมาทำปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้ ดังสมการต่อไปนี้



2.4 การนำไปใช้ประโยชน์ ของเสียที่ผ่านการบำบัดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่าสูงสุด คือ การนำกากตะกอนมูลสุกรจากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืช ส่วนน้ำทิ้งจากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งในบ่อสุดท้ายก่อนปล่อยออกจากฟาร์ม ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชและนำไปเลี้ยงปลา (กรมปศุสัตว์, ม.ป.ป.)

3. โลหะหนัก (Heavy metal)

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุโลหะที่มีน้ำหนักอะตอมระหว่าง 53.5 - 200.6 และมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 5 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (Srivasta and Majumder, 2008) เป็นธาตุที่มีความคงตัวอยู่ได้นานและอาจพบได้ในปริมาณต่ำในธรรมชาติ แต่มีโลหะหนักบางชนิด เช่น สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) เป็นต้น ที่อาจพบในปริมาณความเข้มข้นสูง เนื่องจากการปนเปื้อนที่ส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมและกิจกรรมทางการเกษตรที่ปล่อยของเสียที่มีโลหะหนักดังกล่าวเป็นองค์ประกอบออกสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักดังกล่าวในอากาศ ในดิน ในต้นพืช และอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งได้รับพิษของโลหะหนักดังกล่าวโดยการสูดดม การบริโภคและการดูดซึมทางผิวหนัง ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน และเกิดความผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร (United Nations Environment Programme: UNEP, 2012)

สำนักทะเบียนการติดเชื้อและสารที่เป็นพิษ (The Agency for Toxic Substances and Disease Registry ; ATSDR) จัดอันดับสารอันตราย 275 รายการ ซึ่งสารที่มีความเป็นพิษมากที่สุด 10 อันดับแรกทั้งในปี 2007 และ 2011 คือ โลหะหนัก-ประกอบด้วย สารหนู เป็นลำดับที่ 1 ตะกั่ว เป็นลำดับที่ 2 ปรอท เป็นลำดับที่ 3 และแคดเมียม เป็นลำดับที่ 7 (The Agency for Toxic Substances and Disease Registry ; ATSDR, 2011)

3.1 สารหนู (Arsenic, As)

3.1.1 ลักษณะทั่วไป

สารหนูเป็นธาตุอโลหะ น้ำหนักอะตอม 74.9 กรัม/มวล เลขอะตอม 33 อยู่ในหมู่ 5A (World Health Organization, 2001) เป็นโลหะที่มีสีเทาละลายน้ำได้ดี รูปที่มักพบบ่อยได้แก่ อาร์ซีนีไนด์ (As^{3+}) และอาร์ซีนีเตต (As^{5+}) และรูปที่เป็นพิษสูงซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบต่าง ๆ เช่น แก๊ส อาร์ซีน (AsH_3) อาร์ซีนิกไดรอกไซด์ (As_2O_3) อาร์ซีนิกเอซิด (H_3AsO_4) เป็นต้น สารหนูเป็นสารเคมีที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ การทำแก้ว ผลิตภัณฑ์ฆ่าแมลง และหากมีการกำจัดไม่ดี จะทำให้ปนเปื้อนสารหนูในดินและน้ำ (ณัฐ และศิริพันธ์, 2550)

3.1.2 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

สารหนูเคลื่อนที่ในดินได้ค่อนข้างจำกัด เนื่องจากถูกตรึงโดยแร่ดินเหนียว ไฮดรอกไซด์ และอินทรีย์วัตถุในดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ pH ดินและปริมาณออกไซด์ของเหล็กและของอะลูมิเนียม ปริมาณสารหนูในพืชที่ปลูกโดยใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ พบว่ามีปริมาณแตกต่างกันไปตั้งแต่ 0.1-5.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และมีปริมาณสูงในรากพืช (ศุภมาศ, 2545)

3.1.3 ความเป็นพิษต่อมนุษย์

ความเป็นพิษเฉียบพลันเกิดจากการสูดหายใจหรือการรับประทานที่ปนเปื้อนสารหนูเข้าสู่ร่างกายที่ความเข้มข้น 3-10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทำให้เกิดภาวะเลือดจางและไตวายเฉียบพลัน การรับประทานอาหารหรือน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนสารหนูในรูปอาร์ซีนิกไดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 70-180 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักตัว เป็นอันตรายถึงชีวิตได้ภายใน 12-48 ชั่วโมง (มธุรส และจุฑามาศ, 2549)

3.2 แคดเมียม (Cadmium, Cd)

3.2.1 ลักษณะทั่วไป

แคดเมียมมีลักษณะทางเคมีใกล้เคียงกับสังกะสี (Zn) แคดเมียมจะไม่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ แต่จะอยู่ในรูปของเกลือต่าง ๆ ที่มีการละลายน้ำต่างกัน เช่น แคดเมียมไนเตรต ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) แคดเมียมซัลเฟต (CdSO_4) จะละลายน้ำได้ดี เป็นต้น ส่วนแคดเมียมออกไซด์ (CdO) มีความดันไอสูง ระเหยได้ดีและเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย (มลิวรรณ, 2549)

3.2.2 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

แคดเมียมในธรรมชาติจะอยู่ร่วมกับแร่ตะกั่วและสังกะสี ดังนั้นมักพบแคดเมียมปริมาณสูงในเมืองที่ถลุงแร่สังกะสี แคดเมียมใช้เป็นสารให้สีของเซรามิก อุตสาหกรรมเคลือบโลหะ โลหะผสมและแบตเตอรี่ (มธุรสและจุฑามาศ, 2549) ส่วนแคดเมียมที่พบในการเกษตร เช่น ปุ๋ยฟอสเฟต, ยาฆ่าแมลงและผงซักฟอก เป็นต้น

ปริมาณแคดเมียมในพืชทั่วไปมีค่าต่ำ แต่จะมีค่าสูงในพืชกินใบหรือพืชหัวบางชนิด เมื่อดินที่ปลูกมีการปนเปื้อนแคดเมียม จะมีการสะสมแคดเมียมมากที่สุดในรากพืช รองลงมาคือ ใบ แต่เคลื่อนย้ายได้น้อยสู่เมล็ด (ศุภมาศ, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Pendias (2001) และปริมาณของแคดเมียมขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูกอีกด้วย

3.2.3 ความเป็นพิษต่อมนุษย์

แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจจากอากาศที่ปนเปื้อนแคดเมียมเข้าไปในร่างกาย ซึ่งมีความเป็นพิษรุนแรงมากกว่าการรับประทาน จะทำให้ระคายเคืองเยื่อบุทางเดินหายใจอย่างรุนแรง แขนงหน้าอก ในระยะเรื้อรังทำให้เกิดถุงลมโป่งพอง ความดันโลหิตสูง (ณัฐและศิริพันธ์, 2550) ทำให้เกิดโรคอิตา-อิตา คือ ท่อไตถูกทำลาย และมีความผิดปกติที่กระดูก อีกทั้งเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งต่อมลูกหมาก (อนามัย, 2554)

3.3 ปรอท (Mercury, Hg)

3.3.1 ลักษณะทั่วไป

ปรอทมีน้ำหนักอะตอม 200.6 กรัม/มวลเลขอะตอม 80 มีจุดเดือด 357 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว -13.6 องศาเซลเซียส เป็นธาตุเดี่ยวที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง รูปของปรอทอนินทรีย์ ได้แก่ เมอร์คิวริก (Hg^{2+}), เมอร์คิวรัส (Hg_2^{2+}) และเมอร์คิวรี (Smith, 1995) โดยปรอทในรูป Hg^{2+} มีพิษรุนแรงมากที่สุด (ณัฐและศิรินันท์, 2550) ส่วนรูปของปรอทอนินทรีย์ ได้แก่ เมทิลเมอร์คิวรี (CH_3Hg) และเอทิลเมอร์คิวรี ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Hg}$) (Smith, 1995) ซึ่งพบว่า เมทิลเมอร์คิวรี เป็นพิษมากที่สุด

3.3.2 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ปรอทสามารถปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้จากกิจกรรมหรือการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ การทำเผาถ่านหิน การทำปูนซีเมนต์และการผลิตฟอสเฟต อุตสาหกรรมผลิตคลอรีนและด่าง การทำเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมเครื่องไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนปรอทถูกนำมาใช้ในทางการเกษตรโดยเป็นสารกำจัดเชื้อราในธัญพืช (มธุรส และจุฑามาศ, 2549)

ปรอทในดินสามารถเปลี่ยนรูปได้จาก Hg เป็น Hg^{2+} โดยปฏิกิริยารีดอกซ์ ปรอทในดินถูกตรึงไว้ในรูปต่าง ๆ ด้วยปัจจัยที่ต่างกัน พื้นดินที่มีน้ำขังซึ่งมี pH 4-5 ทำให้ปรอทอยู่ในรูปเมอร์คิวริซัลไฟด์ (HgS) นอกจากนี้การตรึงปรอทในดินยังขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์วัตถุและการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity ; CEC) ในดิน ซึ่งกล่าวได้ว่าดินอินทรีย์จะมีปริมาณปรอทในดินสูงกว่าดินอนินทรีย์ เนื่องจากดินอินทรีย์มีฮิวมัสส่วนที่ยังไม่สลาย ซึ่งจับปรอทได้มากกว่า (ศุภมาศ, 2545) ปริมาณปรอทในพืชสูงเมื่อพืชนั้นเจริญเติบโตในดินที่มีปริมาณปรอทสูง โดยจะสะสมในรากพืช ใบ และเมล็ดจะสะสมปรอทมากที่สุด (Pendias, 2001)

3.3.3 ความเป็นพิษ

ประชากรในประเทศญี่ปุ่นบริเวณปลาที่มีการปนเปื้อนเมทิลเมอร์คิวรีทำให้เกิดโรคประสาทอย่างรุนแรง เรียกว่า โรคมินามาตะ (Minamata disease) อาการที่พบคือ ประสาทสัมผัสผิดปกติ การมองเห็นได้ในมุมแคบ ๆ พูดตะกุกตะกัก หูหนวก และตายในที่สุด (มธุรสและจุฑามาศ, 2549) เมื่อปรอทเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมผ่านกระแสเลือดกระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และสะสมไปที่เนื้อเยื่อของอวัยวะ เช่น สมอง ทางเดินหายใจ อ่อนเพลียและมีไข้ เป็นต้น (อนามัย, 2554)

3.4 ตะกั่ว (Lead, Pb)

3.4.1 ลักษณะทั่วไป

ตะกั่วมีน้ำหนักอะตอม 207.2 กรัม/มวล เลขอะตอม 82 มีจุดหลอมเหลว 327.4 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,725 องศาเซลเซียส (Pendias, 2001) ตะกั่วในธรรมชาติมี 2 รูป คือ รูปสารอนินทรีย์ ได้แก่ รูปของเกลือหรือออกไซด์ของตะกั่ว ส่วนรูปสารอินทรีย์ที่พบมาก ได้แก่ เตรตะเอทิลเลด (tetraethyl lead) และเตรตะเมทิลเลด (tetraethyl lead) (มลิวรรณ, 2549)

3.4.2 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำเหมืองตะกั่ว การหลอมตะกั่วและใช้ตะกั่วในอุตสาหกรรม การทำแบตเตอรี่และสายเคเบิล ตะกั่วมีการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินประมาณ 1-6 ไมโครกรัม/ลิตร ปริมาณตะกั่วในดินอยู่ระหว่าง 5-25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มธุรสและจุฑามาศ, 2549) ความเป็นพิษของตะกั่วจะขึ้นอยู่กับ pH ดิน ความกระด้างของน้ำ สารอินทรีย์ และโลหะหนักอื่น ๆ (เกรียงศักดิ์, 2546) โดยรากของพืชสามารถดูดตะกั่วในรูปที่ละลายน้ำได้ในดินมากที่สุด (Pendias, 2001)

3.4.3 ความเป็นพิษต่อมนุษย์

ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ โดยการหายใจ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และความสามารถในการละลายน้ำของอนุภาคตะกั่ว โดยการกินทางปาก จากการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนตะกั่ว และโดยทางผิวหนัง (อนามัย, 2549)

4. มาตรฐานโลหะหนักที่เกี่ยวข้อง

4.1 มาตรฐานโลหะหนักในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) นิคมอุตสาหกรรม หมายถึง ตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรม หรือโครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการจัดระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมร่วมกัน ซึ่งฟาร์มสุกรก็จัดเป็นโครงการหนึ่งที่มีการบำบัดน้ำเสียและระบายน้ำทิ้งเช่นเดียวกัน จึงกำหนดให้ใช้มาตรฐาน ดังต่อไปนี้

สารหนู	ไม่เกิน	0.25	มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียม	ไม่เกิน	0.03	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปรอท	ไม่เกิน	0.005	มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว	ไม่เกิน	0.20	มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 มาตรฐานโลหะหนักในกากตะกอนมูลสุกรของฟาร์มสุกร

เนื่องจากการนำกากตะกอนมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชในรูปของปุ๋ยต่าง ๆ จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ซึ่งปัจจุบันมีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ตลอดจนมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพื่อเพิ่มธาตุอาหารพืชทำให้มีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตรจึงกำหนดมาตรฐานโลหะหนักในปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ดังนี้

pH	5.5- 8.5		
สารหนู	ไม่เกิน	50	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียม	ไม่เกิน	5	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ปรอท	ไม่เกิน	2	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตะกั่ว	ไม่เกิน	500	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4.3 มาตรฐานโลหะหนักในดิน

มาตรฐานคุณภาพดิน หมายถึง มาตรฐานการปนเปื้อนของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในดินโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่ได้สัมผัสดินทั้งทางตรงและทางอ้อม จึงกำหนดมาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) ดังนี้

สารหนู	ไม่เกิน	3.9	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม	ไม่เกิน	37	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ปรอทและสารประกอบปรอท	ไม่เกิน	23	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตะกั่ว	ไม่เกิน	400	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4.4 มาตรฐานโลหะหนักในผัก

สารที่ปนเปื้อนกับอาหารซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต กรรมวิธีการผลิต โรงงานหรือสถานที่ผลิต การดูแลรักษา การบรรจุ การขนส่งหรือการเก็บรักษา หรือเกิดเนื่องจากการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม อาหารที่มีสารปนเปื้อนต้องมีมาตรฐาน โดยตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 273 (พ.ศ. 2546) เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ฉบับที่ 2) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2554) ดังต่อไปนี้

สารหนู	ไม่เกิน	2	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียม	ต้องไม่มีการปนเปื้อนในอาหาร		
ปรอท	ไม่เกิน	0.02	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตะกั่ว	ไม่เกิน	1	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

5. ปุ๋ย

5.1 ปุ๋ยชีวภาพหรือน้ำสกัดชีวภาพ (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ปุ๋ยชีวภาพหรือน้ำสกัดชีวภาพ เป็นวิธีการสกัดน้ำเลี้ยงจากเซลล์พืช/สัตว์ ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ โดยการใช้การใช้น้ำตาลกากน้ำตาล ซึ่งทำหน้าที่เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อและช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเซลล์พืช/สัตว์มากขึ้น น้ำเลี้ยงที่ได้จะถูกจุลินทรีย์ในธรรมชาติและที่ติดกับวัสดุที่นำมาหมัก ช่วยย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ให้มีโมเลกุลเล็กของเหลวหรือน้ำสกัดที่ได้จะมีสารประกอบต่าง ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน และฮอร์โมน เป็นต้น ปริมาณของของเหลวที่ได้ขึ้นอยู่กับน้ำเลี้ยงในพืช/สัตว์และระยะเวลาในการหมัก การเตรียมปุ๋ยน้ำชีวภาพทำได้โดยผสมผักทุกอย่างที่หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ กับน้ำตาลหรือกากน้ำตาลลงในภาชนะที่มีฝาปิด ทั้งนี้ให้แบ่งส่วนของน้ำตาลหรือกากน้ำตาลไว้เพื่อโรยปิดทับหน้าส่วนผสมดังกล่าว จากนั้นคลุกเคล้าของผสมให้เข้ากันแล้วจึงโรยปิดทับหน้าด้วยน้ำตาลหรือกากน้ำตาลที่เก็บไว้ปิดฝาทิ้งไว้ประมาณ 7-10 วัน ตั้งไว้ในที่ร่ม เมื่อของเหลวที่เกิดขึ้นมีสีน้ำตาลให้กรองและกรอกใส่ขวดแล้วนำไปเจือจางเพื่อรดดินและฉีดพ่นให้กับต้นพืช ประโยชน์ของปุ๋ยน้ำชีวภาพ คือ ในปุ๋ยน้ำชีวภาพหรือน้ำสกัดชีวภาพมีทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่พืชต้องการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต มีเอนไซม์บางชนิดที่ทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้เป็นสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์เองและเป็นอาหารของต้นพืช ทำให้ดินมีช่องว่างเพิ่มมากขึ้น มีการถ่ายเทอากาศและระบายน้ำในดินได้ดีขึ้น

5.2 ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี หมายถึง ปุ๋ยที่มีแหล่งที่มาจากสารประกอบอนินทรีย์ต่าง ๆ หรือเป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการทางเคมี ที่ให้ธาตุอาหารพืชในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที เกษตรกรมักใช้ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารหลัก เช่น สูตร 46-0-0 สูตร 25-7-7 เป็นต้น (มุกดา, 2547)

5.3 น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร (สุกัญญาและคณะ, 2555)

น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร คือ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกร นำมากรองเศษตะกอนออกให้เหลือเพียงน้ำใส ๆ จากนั้นนำมาผสมน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อฉีดพ่นทางใบให้แก่ต้นพืชในช่วงเช้าหรือเย็น

5.4 กากตะกอนมูลสุกร

กากตะกอนมูลสุกร คือ กากที่เหลือจากระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกรที่ตากแห้งและ บดละเอียดแล้ว ใช้โรยบาง ๆ บนดินหรือคลุกเคล้ากับดินก่อนปลูกพืชเพื่อปรับปรุงดิน และสามารถเพิ่มเติมให้หลังจากพืชโตแล้ว ก่อนการเก็บเกี่ยวจะทำให้พืชเก็บเกี่ยวได้เร็วขึ้น

6. ผักบั้งจิ้น (swamp morning glory หรือ water morning glory)

ผักบั้งจิ้น มีชื่อสามัญที่ใช้เรียกแตกต่างกันไป ในภาษาอังกฤษใช้คำว่า water convolvulus เป็นพืชในตระกูล Convolvulaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatic Forsk. Var. reptan* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อน พบได้ทั่วไปในทวีปแอฟริกาและเอเชียเขตร้อน จนถึงมาเลเซีย และ ออสเตรเลีย สามารถปลูกได้ทั้งบนบกและในน้ำ ปลูกได้ในดินแทบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมควร เป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ผักบั้งจิ้นชอบขึ้นในดินที่ชื้นและต้องการความชื้นในดินสูงมาก อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงที่สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ต้องการแสงแดด เต็มที่ ซึ่งในประเทศไทยสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี นิยมปลูกแบบหวานเมล็ดบนแปลงปลูก อัตรา 13-15 กิโลกรัม/ไร่ และใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 หรือ 25-7-7 อัตรา 30-50 กิโลกรัม/ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง หลังจากหวานเมล็ด 7 วันและ 15 วัน เก็บเกี่ยวหลังจากหวานเมล็ดพันธุ์ผักบั้งจิ้นลงแปลงปลูกได้ 20-25 วัน ส่วนโรคที่พบ ได้แก่ โรคราสนิมขาวและโรคใบไหม้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

7. ผักกาดหอม หรือผักสลัด (Lettuce)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lactuca sativa L.* ลักษณะทั่วไป หรือผักกาดหอม เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดใน ทวีปเอเชีย และยุโรป เป็นพืชฤดูเดียว มีลำต้นอวบสั้น ลักษณะรูปร่างและสีแตกต่างกันไป ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีเขียวเข้ม สีน้ำตาลปนแดง และสีน้ำตาล เป็นต้น

ตัวอย่างเช่น ผักกาดแก้ว ใบจะห่อหุ้มซ้อนกันเป็นหัวกลม ใบบาง กรอบ ขอบใบหยักสีเขียวอ่อน ผักกาดหอมมีระบบรากแก้วที่เหมาะสมสามารถเจริญลงไปในดินอย่างรวดเร็ว เป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10-24 องศาเซลเซียส ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกควรร่วนซุย มีความอุดมสมบูรณ์ และมีอินทรีย์วัตถุสูง หน้าดินลึก และอุ้มน้ำได้ดีปานกลาง สภาพความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ระหว่าง 6-6.5 พื้นที่ปลูกควรโล่ง และได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ ควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ และเพียงพอต่อการเจริญเติบโต การให้น้ำไม่ควรมากเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดโรคโคนเน่า นิยมหว่านเมล็ดดลงแปลงปลูก อัตรา 300-500 กรัม/ไร่ ระหว่างต้นและแถว 50 เซนติเมตร ควรใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 หรือผสม 25-7-7 อัตรา 30-50 กิโลกรัม/ไร่ ผักกาดหอมเก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุได้ 40-45 วัน โรคที่พบได้แก่ โรคโคนเน่า โรคใบจุด โรคครากปม เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิชญ (2552) ศึกษาปริมาณของแคดเมียมและตะกั่วในน้ำเสียและมูลสุกรจากฟาร์มสุกร 2 ประเภทคือ ฟาร์มที่ติดตั้งระบบ Biogas system และฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ตำแหน่งที่ 1. หน้าคอกลูกสุกรอนุบาล 2. ก่อนเข้าระบบแก๊ส 3. หลังระบบแก๊ส และ 4. มูลสุกรตากแห้ง สำหรับในฟาร์มที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ Biogas system จึงไม่มีตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณแคดเมียม (Cd) ของตะกอนในน้ำตัวอย่างที่ตากแห้งแล้ว (รูปตากแห้ง) ณ ทุกตำแหน่งของน้ำเสียจากฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas คือ 19.7 ± 49.83 และ 9.67 ± 20.86 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่ว (Pb) รูปตากแห้ง จากทุกตำแหน่งของน้ำเสียจากฟาร์มที่มีและไม่มีระบบ Biogas คือ 57.51 ± 119.13 และ 61.81 ± 97.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคดเมียมและตะกั่วที่พบในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่าเกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนด

Mansouri and Ebrahimpour (2011) ศึกษาความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียม (Cd) สารหนู (As) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) และปรอท (Hg) ที่จุดปล่อยน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝังของฟาร์มสุกรลงแหล่งน้ำชลประทานเพื่อการเกษตร โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งเป็นประจำทุกเดือน ตลอดเวลา 8 เดือน พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียม สารหนู และโครเมียม คือ 1.14, 11.7 และ 71.6 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ขณะที่ค่าเฉลี่ย

ความเข้มข้นของทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี คือ 36.9, 7.8 และ 50.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอท คือ 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างในเดือนที่เก็บตัวอย่างต่างกัน แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรมีประสิทธิภาพดี ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบทั้งหมด ต่ำกว่ามาตรฐานที่ EPA กำหนด

Vargova *et al.* (2005) ศึกษาปริมาณโลหะหนัก (แคดเมียมและตะกั่ว) ในน้ำเสียน้ำทิ้งและมูลสุกร และความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมในการประยุกต์ใช้ของเสียดังกล่าวในการเกษตร โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียนบ่อฝิ่งที่ 1 บ่อฝิ่งสุดท้ายก่อนปล่อยออกจากฟาร์ม และกากตะกอนมูลสุกรจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้อากาศแบบพีชบำบัด ของฟาร์มสุกรที่มีสุกรขุน 20,000 ตัว พบว่ามีปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในน้ำเสียนบ่อฝิ่งที่ 1 คือ 0.01-0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg L^{-1}) และ 0.02-1.70 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ น้ำเสียนบ่อสุดท้ายมีปริมาณแคดเมียมและตะกั่ว 0.006-0.01 และ 0.02-0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในมูลสุกร 0.6-15.2 และ 3.8-45.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณแคดเมียมในมูลสุกร (10 มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่พบมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การทดลอง

1.1 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกร

- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| 1.1.1 ขวดแก้วปากกว้าง | ขนาด 500 มิลลิลิตร |
| 1.1.2 ขวด polyethylene มีฝาปิด | ขนาด 1,000 มิลลิลิตร |
| 1.1.3 เชือก | ยาว 5 เมตร |
| 1.1.4 ถังน้ำ | ขนาด 500 มิลลิเมตร |
| 1.1.5 ถุงพลาสติก หรือ ถุงดำ | ขนาด 9x18 นิ้ว |
| 1.1.6 พลั่วตักดิน | |

1.2 อุปกรณ์ในการเตรียมแปลงและปลูกพืช

- 1.2.1 คราด
- 1.2.2 เครื่องพ่นปุ๋ยชนิดสะพายนหลัง
- 1.2.3 จอบ
- 1.2.4 ตลับเมตร
- 1.2.5 ถังพลาสติกมีฝาปิด
- 1.2.6 บัวรดน้ำ
- 1.2.7 ป้ายปักแปลง
- 1.2.8 ปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0 (ยูเรีย)
- 1.2.9 ปุ๋ยชีวภาพ หรือ น้ำหมักชีวภาพจากพืช
- 1.2.10 พลั่วมือ
- 1.2.11 สปริงเกอร์
- 1.2.12 สารจับใบ หรือ น้ำยาล้างจาน

1.3 อุปกรณ์ในการเก็บและเตรียมตัวอย่างดินและพืช

1.3.1 กระสอบสำหรับตากดิน

1.3.2 ครอบดตัวอย่างดิน

1.3.3 เครื่องปั่นตัวอย่างพืช

1.3.4 ครอบแคท (quadrat) สำหรับสุ่มเก็บตัวอย่างพืช

1.3.5 ขอบตัวอย่างพืช

1.3.6 จอบ หรือ เสียม

1.3.7 ตะแกรงร่อนดิน (sieve) ขนาด 2 มิลลิเมตร

1.3.8 ตะแกรงร่อนพืช (sieve) ขนาด 1 มิลลิเมตร

1.3.9 ถูพลาสติก ขนาด 9x18 นิ้ว

1.3.10 ถูพลาสติกขีปล็อค ขนาด 4x6 นิ้ว

2. อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์โลหะหนัก

2.1 เครื่องแก้ว

2.1.1 กรวยกรอง (funnel)

2.1.2 กระจกตวง (cylinder) ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร

2.1.3 ขวดเชิงปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 25 และ 50 มิลลิลิตร

2.1.4 ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 50, 250 และ 500 มิลลิลิตร

2.1.5 บิวเรต (burette) ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.1.6 ปีกเกอร์ (beaker) ขนาด 50, 100 และ 250 มิลลิลิตร

2.1.7 ปิเปต (pipette) ขนาด 2, 10 และ 25 มิลลิลิตร

2.1.8 หลอดทดลอง (test tube) ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.2 กรวยกรองบุชเนอร์ (buchner funnel)

2.3 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (distillation)

2.4 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (balance)

- 2.5 เครื่องย่อยตัวอย่าง (digestion block)
- 2.6 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter)
- 2.7 เตาอบ (hot air oven)
- 2.8 แผ่นความร้อน (hot plate)
- 2.9 กระดาษกรอง (whatman) เบอร์ 5 และ 42
- 2.10 น้ำปราศจากไอออน (deionized water)
- 2.11 Inductively-coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Quantima รุ่น Integra XL

3. สารเคมี

- | | |
|--|-------------------------|
| 3.1 กรดบอริก (H_3BO_3) | ความเข้มข้น 2% |
| 3.2 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) | ความเข้มข้น 0.0502 M |
| 3.3 กรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) | |
| 3.4 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) | |
| 3.5 โซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) | |
| 3.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) | ความเข้มข้น 1 M |
| 3.7 เอทานอล 95% (ethanol) | |
| 3.8 แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) | ความเข้มข้น 0.25 M, 1 M |
| 3.9 แอมโมเนียมอะซิเตท (CH_3COONH_4) | ความเข้มข้น 1 M |

วิธีการ

1. การศึกษาคุณภาพน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกร

1.1 ฟาร์มสุกร

การศึกษาศมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกร โดยวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) เพื่อความปลอดภัยในการนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชโดยเก็บตัวอย่างจากฟาร์มสุกรจำนวน 10 ฟาร์ม ในภาคตะวันตกและภาคตะวันออกเฉียง 5 จังหวัด คือ นครปฐม ราชบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยองประกอบด้วยฟาร์มสุกรที่มีระบบบำบัดน้ำเสีย 2 ระบบคือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ได้แก่ fixed dome digester, covered lagoon digester, channel digester ระบบละ 2 ฟาร์ม รวมเป็น 6 ฟาร์ม และระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศซึ่งไม่มีกากตะกอนมูลสุกร ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ponding system จำนวน 4 ฟาร์ม ดังรายละเอียดในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ฟาร์มสุกรและสถานที่ตั้ง

ประเภท	ลำดับ	ชื่อฟาร์ม	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด
1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ					
fixed dome digester	1	สมควร	ตะพง	เมือง	ระยอง
	2	อำนวยการ	ตะพง	เมือง	ระยอง
covered Lagoon digester	3	ปฐุมเกษตร	หนองงูเห่าล้อม	เมือง	นครปฐม
	4	สมชาย	หนองปากโลง	เมือง	นครปฐม
channel digester	5	ไพรร้อย	ห้วยยางโทน	ปากท่อ	ราชบุรี
	6	รางโบสถ์	ห้วยยางโทน	ปากท่อ	ราชบุรี

ตารางที่ 8 ฟาร์มสุกรและสถานที่ตั้ง (ต่อ)

ประเภท	ลำดับ	ชื่อฟาร์ม	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด
2. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ					
ponding system	7	โชคอนันต์	แปลงยาว	พนมสารคาม	ฉะเชิงเทรา
	8	วิไลวรรณ	ท่าบุญมี	เกาะจันทร์	ชลบุรี
	9	เล่งเค็ง	โพรงมะเดื่อ	เมือง	นครปฐม
	10	ศรีสวัสดิ์	หนองแขน	พนมสารคาม	ฉะเชิงเทรา

1.2 แผนการทดลอง

1.2.1 ตำแหน่งเก็บน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกร

เก็บตัวอย่างน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกร ในแต่ละฟาร์มที่มีระบบ แบบไม่ใช้อากาศ 3 จุด คือ

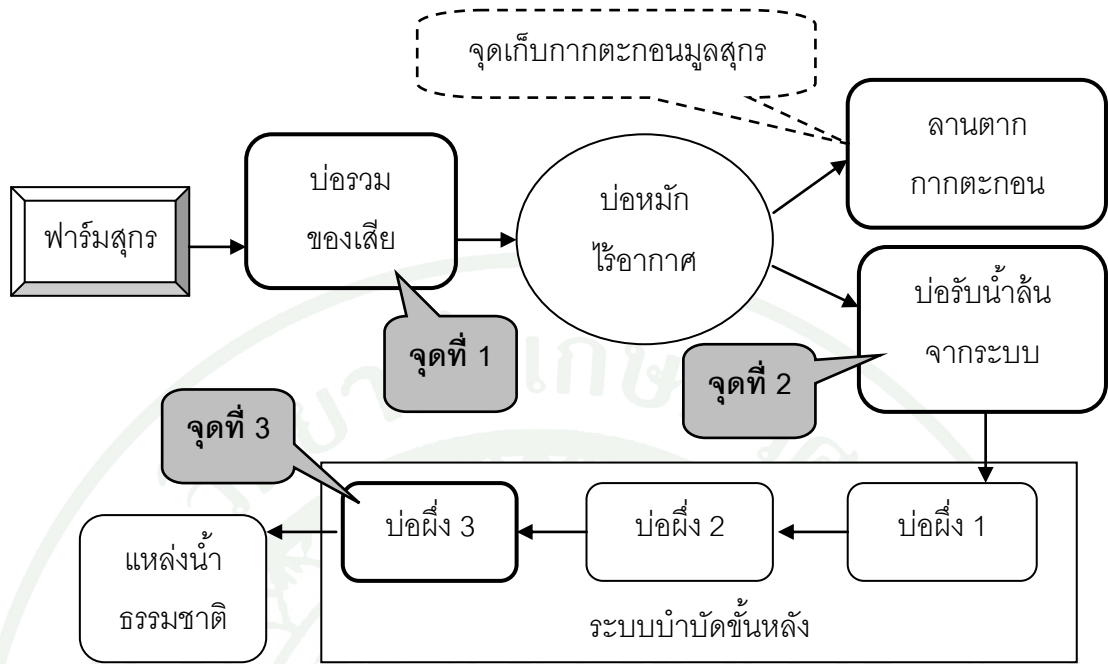
1. น้ำเสียในบ่อรวมของเสียก่อนปล่อยเข้าบ่อหมักไร้อากาศ
2. น้ำทิ้งที่ไหลออกมาจากบ่อหมักไร้อากาศ และ
3. น้ำทิ้งในบ่อพักสุดท้ายก่อนปล่อยออกจากฟาร์ม

รายละเอียดดังภาพที่ 3 เก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำใช้ในฟาร์มอำนวนาย ฟาร์มสมควร สมชาย เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (ส่วนฟาร์มอื่นๆ ไม่สามารถเก็บตัวอย่างน้ำใช้ได้เนื่องจากเกิดโรคระบาดในฟาร์มอื่นๆ ช่วงเวลาที่ทำการทดลอง)

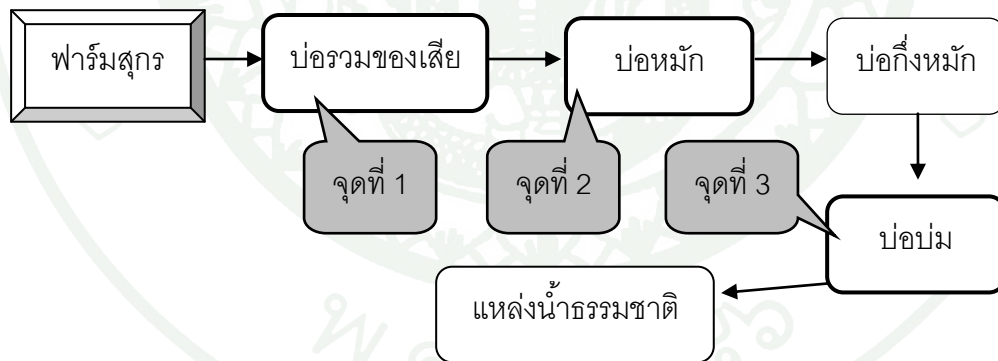
และฟาร์มที่มีระบบแบบใช้อากาศ 3 จุด คือ

1. น้ำเสียในบ่อรวมของเสีย
2. น้ำทิ้งในบ่อหมัก และ
3. น้ำทิ้งในบ่อบ่มสุดท้ายก่อนปล่อยออกจากฟาร์ม

ดังรายละเอียดภาพที่ 4



ภาพที่ 3 แผนผังจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ fixed dome digester, covered lagoon digester, channel digester



ภาพที่ 4 แผนผังจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ponding system

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ปริมาณ สารหนู แคดเมียม โปรท และตะกั่ว ในน้ำเสีย น้ำทิ้ง และกากตะกอนมูลสุกร แต่ละตัวอย่างกระทำ 3 ซ้ำ และแต่ละฟาร์มกระทำ 2 ครั้ง วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (F-test)

1.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง

1.3.1 น้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

เก็บน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรทั้ง 10 ฟาร์ม แต่ละจุด ๆ ละ 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดพลาสติกขนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยบรรจุให้เต็มขวดและไม่มีช่องว่างของอากาศในขวด เติมกรดไนตริกเข้มข้น 1.5 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการเติบโตของจุลินทรีย์ นำไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก และเก็บตัวอย่างแต่ละจุดอีก 1 ขวด ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เพื่อวัดความเป็นกรด-เบส

1.3.2 กากตะกอนมูลสุกร

เก็บตัวอย่างจากลานตากกากตะกอนมูลสุกรที่ออกมาจากระบบบำบัดน้ำเสียจุดที่ 2 ตามภาพที่ 2 ฟาร์มละ 1 กิโลกรัม นำมาผึ่งให้แห้งโดยลมในโรงเรือนที่มีอากาศถ่ายเท จากนั้นนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำไปวัดค่าความเป็นกรด-เบส และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

1.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและค่าความเป็นกรด-เบส น้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกร

บันทึกลักษณะ สี และกลิ่น ของน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกร โดยจะบันทึกเป็นภาพรวมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศและใช้อากาศ จากนั้นวัดค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่อง pH meter และใช้สารละลายมาตรฐานที่ pH 4.0, 7.0 หรือ 10.0 โดยเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย น้ำทิ้งแต่ละจุดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ปิเปตเตอร์ และเตรียมสารละลายกากตะกอนมูลสุกร ปริมาตรประมาณ 60 มิลลิลิตร โดยใช้กากตะกอนมูลสุกรที่ร่อนผ่านตะแกรงผสมกับน้ำที่ปราศจากไอออนอัตราส่วน 1: 5 คนให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที

1.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารหนู (As), แคดเมียม (Cd), ปรอท (Hg), ตะกั่ว (Pb) ในน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกร

1.5.1 น้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ดำเนินการตามวิธี Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 2005) โดยตรวจตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งแต่ละจุด ณ อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เต็มกรดไนตริก เข้มข้น 10 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตาแผ่นความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จนปริมาตร เหลือ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนได้ 50 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดเชิง ปริมาตร กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 รินใส่ขวดเก็บตัวอย่าง และนำไปวิเคราะห์ ปริมาณสารหนู แคดเมียม ปรอท และตะกั่ว ด้วย ICP-OES

1.5.2 กากตะกอนมูลสุกร

ดำเนินการตามวิธี Method 3051a (U.S. Environmental Protection Agency, 1997) โดยมีการดัดแปลงดังนี้ ผสมตัวอย่างกากตะกอนที่ร่อนผ่านตะแกรง 1 กรัม กับกรดไนตริก เข้มข้น 18 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยตัวอย่าง (digestion block) ที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้อีก 1 คืน ปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน โดยใช้ขวดเชิงปริมาตร กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 รินใส่ขวดเก็บตัวอย่าง และนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารหนู แคดเมียม ปรอท และตะกั่ว ด้วย ICP-OES

2. การศึกษาสมบัติทางเคมีของดินและปริมาณโลหะหนักในดินและพืชที่ใช้ปุ๋ยจากน้ำทิ้ง และกากตะกอนมูลสุกร

2.1 การเตรียมปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 ปุ๋ยชีวภาพ

ดำเนินการตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร (2548) ทำได้โดยผสมผักทุกชนิดที่หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ กับน้ำตาลหรือกากน้ำตาลสัดส่วนโดยน้ำหนัก 3: 1 (ให้แบ่งส่วนของน้ำตาลหรือกากน้ำตาลไว้ประมาณ 1/5) ใส่ส่วนผสมลงในภาชนะที่มีฝาปิด คลุกเคล้าของผสมให้เข้ากันแล้ว จึงโรยน้ำตาลหรือกากน้ำตาลที่แบ่งไว้ปิดทับหน้าส่วนผสมดังกล่าว ปิดฝาทิ้งไว้ประมาณ 7-10 วัน ตั้งไว้ในที่ร่ม เมื่อของเหลวที่เกิดขึ้นมีสีน้ำตาลให้กรองและกรองใส่ขวด ของเหลวนี้เรียกว่า ปุ๋ยชีวภาพ ก่อนการนำไปใช้ต้องเจือจางปุ๋ยชีวภาพที่ได้กับน้ำสะอาด อัตราส่วน 1: 250 สำหรับฉีดพ่นทางดิน นำไปใช้กับแปลงทดลองเพื่อปรับสภาพดินก่อนปลูกด้วยอัตราส่วน 800 ลิตรต่อไร่ หรือ 4.5 ลิตรต่อแปลงทดลอง และสำหรับฉีดพ่นทางใบ เจือจางอัตราส่วน 1: 500 นำไปใช้โดยการฉีดพ่นทางใบ 80 ลิตรต่อไร่ หรือ 450 มิลลิลิตรต่อแปลงทดลอง ฉีดสัปดาห์ละครั้งตลอดอายุการปลูก

2.1.2 ปุ๋ยเคมี

ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (ยูเรีย) อัตรา 30-50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 225 กรัมต่อแปลงที่ใช้ทดลอง ใส่ปุ๋ยเคมีสัปดาห์ละครั้งตลอดอายุการปลูก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

2.1.3 ปุ๋ยน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ดำเนินการตามวิธีของสุภัทัญญา และคณะ (2555) โดยนำน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรของฟาร์มคุณสมบัติที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบ covered lagoon จุดเก็บที่ 2 มากรองเศษตะกอนออกให้เหลือเพียงน้ำใส ๆ แล้วเจือจางด้วยน้ำอัตรา 1: 10 จากนั้นเติมสารจับใบหรือน้ำยาล้างจาน 1.5 มิลลิลิตร/ลิตร ผสมให้เข้ากัน ใช้ส่วนผสมที่เตรียมได้นี้ฉีดพ่นทางใบแก่พืชโดยใช้ 80 ลิตรต่อไร่ หรือ 450 มิลลิลิตรต่อแปลงทดลอง ฉีดพ่นทางใบแก่พืชช่วงเช้าหรือเย็น สัปดาห์ละครั้งตลอดอายุการปลูก

2.1.4 ปู๋ยกากตะกอนมูลสุกร

ใช้กากตะกอนมูลสุกรที่ตากแห้งของฟาร์มปศุสัตว์ที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบ covered lagoon นำมาบดแล้วโรยบาง ๆ ลงดินให้ทั่วหลังหว่านเมล็ดพืช สัปดาห์ละครั้ง ใช้ อัตราส่วน 300 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 1.7 กิโลกรัมต่อแปลงที่ใช้ทดลอง (สุกัญญา และคณะ, 2555) โดยใส่สัปดาห์ละครั้งตลอดอายุการปลูก

2.2 การเตรียมแปลงทดลอง

เตรียมแปลงทดลองขนาดพื้นที่ 3x3 ตารางเมตรต่อแปลงย่อย จำนวน 16 แปลง ไร่ ระยะระหว่างแปลง 0.5 เมตร ณ แปลงทดลองของสถาบันสุวรรณวาทกสิกิจเพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัด นครปฐม ชุดดินและเกลี่ยดินให้สม่ำเสมอ บักป้ายชื่อแปลงและใส่ปุ๋ยชีวภาพ 4.5 ลิตรต่อแปลง เพื่อปรับสภาพดิน ทิ้งไว้ 3 วัน ก่อนปลูกพืชทุกครั้ง

2.3 พืชที่ใช้ในการทดลอง

เมล็ดผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatic Forsk. Var. reptan*) และ เมล็ดผักกาดหอม (*Lactuca sativa L.*)

2.4 แผนการทดลอง

เปรียบเทียบผลการตกค้างของโลหะหนักในดินและผัก 2 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้งและ ผักกาดหอม โดยใช้ปุ๋ยที่ต่างกันเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชแบ่งออกเป็น 4 ดำรับการทดลองดังนี้

ดำรับการทดลองที่ 1 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ (ใส่ทางดินและใบ)

ดำรับการทดลองที่ 2 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี (ใส่ทางดิน)

ตำรับการทดลองที่ 3 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร (ใส่ทางใบ)

ตำรับการทดลองที่ 4 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร +กากตะกอนมูลสุกร (ใส่ทางดิน)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีตำรับการทดลองละ 4 ซ้ำ และปลูกผักชนิดละ 2 รอบ

2.5 การปลูกผักบุ้งและผักกาดหอม

2.5.1 ผักบุ้งจีน

ใช้เมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนประมาณ 13- 15 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 84.3 กรัมต่อแปลงทดลอง นำเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนไปแช่น้ำนาน 6- 12 ชั่วโมง ก่อนปลูก เพื่อให้เมล็ดพันธุ์ดูดซับน้ำเข้าไปในเมล็ด มีผลให้เมล็ดผักบุ้งจีนงอกเร็วขึ้นและสม่ำเสมอ รดน้ำและนำเมล็ดพันธุ์มาหว่านให้กระจายทั่วทั้ง 16 แปลงทดลอง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) รอบการปลูกที่ 1 วันที่ 21 พฤศจิกายน 2554 ถึง 14 ธันวาคม พ.ศ. 2554 และ รอบการปลูกที่ 2 วันที่ 26 ธันวาคม 2554 ถึง 20 มกราคม พ.ศ. 2555

2.5.2 ผักกาดหอม

ใช้เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมประมาณ 0.3 - 0.5 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 2.8 กรัมต่อแปลงทดลองรดน้ำและนำเมล็ดมาหว่านให้กระจายทั่วทั้งแปลงเมื่อต้นกล้ามีใบจริง 2-3 ใบ ให้ถอนแยกโดยให้มีระยะห่างระหว่างต้นสม่ำเสมอทั่วทั้ง 16 แปลงทดลอง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) รอบการปลูกที่ 1 วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2555 ถึง 23 มีนาคม พ.ศ. 2555 และรอบการปลูกที่ 2 วันที่ 9 พฤษภาคม 2555 ถึง 25 มิถุนายน พ.ศ. 2555

2.6 การเก็บตัวอย่างดินและพืช

2.6.1 การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการปลูกผักทั้ง 2 ชนิด ที่ระดับความลึก 0 - 30 เซนติเมตร จากผิวดิน โดยกำหนดระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1x1 ตารางเมตร จำนวน 3 จุดต่อแปลง จุดละ 1 กิโลกรัม แล้วนำดินทั้ง 3 จุด มาผสมรวมกัน นำไปตากในที่อากาศถ่ายเทจนแห้ง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบส การแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

2.6.2 การเก็บตัวอย่างผักบั้งและผักกาดหอม

สุ่มเก็บตัวอย่างผักแต่ละชนิดทั้งต้นและรากโดยใช้ควอดแดรขนาด 0.5x0.5 ตารางเมตร กำหนดระยะห่างระหว่างจุดเก็บ 1x1 ตารางเมตร จำนวน 3 จุดต่อแปลง จุดละ 500 กรัม นำผักแต่ละชนิดทั้ง 3 จุด มารวมกันล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้งจากนั้นนำผักแต่ละชนิดใส่ซองอบตัวอย่างพืช นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง บดและร่อนผ่านตะแกรง 1 มิลลิเมตร ก่อนนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก

2.7 การวิเคราะห์สมบัติของดินและปริมาณโลหะหนักในดินและพืช

2.7.1 ความเป็นกรด-เบสของดิน

ผสมดินที่ร่อนผ่านตะแกรงกับน้ำที่ปราศจากไอออนอัตราส่วน 1: 5 คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่าความเป็นกรด-เบสของดินโดยใช้ pH meter และใช้สารละลายมาตรฐานที่ pH 4.0, 7.0 หรือ 10.0

2.7.2 การแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

ขั้นที่ 1 นำตัวอย่างดินที่บดละเอียด 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ที่มีฝาปิดขนาด 100 มิลลิลิตร เติม 1 M แอมโมเนียมอะซิเตท pH7 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน หลังจากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ล้างดินบนกระดาษกรองด้วย แอมโมเนียมอะซิเตทความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ตามด้วย แอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 200 มิลลิลิตร และ แอมโมเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.25 M ปริมาตร 40 มิลลิลิตร เทสิ่งกรองทิ้ง ล้างดินด้วยแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ทิ้งสิ่งกรอง นำกรวยกรองพร้อมดินที่ล้างด้วยแอลกอฮอล์ 95% แล้ว ไปวางลงบนขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติม acidified NaCl ความเข้มข้น 10% (ที่เตรียมโดยใช้ NaCl 100 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตร) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงบนดิน ให้เก็บสิ่งกรอง แล้วปรับปริมาตรด้วย acidified NaCl ความเข้มข้น 10% จนครบ 250 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดเชิงปริมาตร

ขั้นที่ 2 นำตัวอย่างสารละลายดินที่ได้ในขั้นที่ 1 รินใส่ Kjeldahl Flask 20 มิลลิลิตร เติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 M จำนวน 2 มิลลิลิตร และกรดบอริกความเข้มข้น 2% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ไว้ที่ปลายตัวควบแน่น (condenser) กลั่นที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส จนได้ปริมาตร 30 มิลลิลิตร นำไปไตเตรทด้วย กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0502 M แล้วหาค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) โดยใช้สูตร (พัชรี, 2552) ดังนี้

$$\text{CEC (cmol/kg}^{-1}\text{)} = \frac{(V_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{ sample}} - V_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{ blank}}) \times M_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times V_f \times 100}{W_{\text{soil}} \times V_{\text{distil}}}$$

$V_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{ sample}}$ คือ ปริมาตรของ H_2SO_4 ที่ได้จากการไตเตรต

$V_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{ blank}}$ คือ ปริมาตรของ H_2SO_4 blank

$M_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{ sample}}$ คือ ความเข้มข้นของ H_2SO_4

V_f คือ ปริมาตรสุดท้ายในขั้นที่ 1

W_{soil} คือ น้ำหนักดิน

V_f คือ ปริมาตรสุดท้ายในขั้นที่ 1

V_{distil} คือ ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ในการกลั่น

2.7.3 ปริมาณโลหะหนัก สารหนู (As), แคดเมียม (Cd), ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) ใน ตัวอย่างดินและพืช

ซึ่งตัวอย่างดินหรือพืชที่อบแห้ง 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 100 มิลลิลิตร เต็มกรดไนตริกเข้มข้น 18 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 มิลลิลิตร นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ทิ้งไว้ 1 คืน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนครบ 50 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดเชิงปริมาตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 รินใส่ขวดเก็บตัวอย่าง และนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารหนู แคดเมียม ปรอท และตะกั่ว ด้วย ICP-OES

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (F-test) และหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยใช้ Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (correlation) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ศึกษาความสัมพันธ์ของการทดลองของ 2 ตัวแปรด้วยสูตรสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product moment Correlation Coefficient) ที่ระดับ $P < 0.05$ และ $P < 0.01$ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

x, y คือ ตัวแปรที่ต้องการหาค่าความสัมพันธ์

ค่าของ r อยู่ระหว่าง -1.00 ถึง 1.00 ถ้าหากค่า r มีค่ามากกว่า 0 แล้ว จะเป็นความสัมพันธ์ทางบวก ถ้าหากมีค่าน้อยกว่า 0 แล้วจะเป็นความสัมพันธ์ทางลบ ตัวแปรจะสัมพันธ์กันสูง ปานกลางหรือต่ำ มีเกณฑ์ดังนี้

สัมพันธ์กันสูง	$r \geq 0.80$ หรือ $r \leq -0.80$
สัมพันธ์ปานกลาง	$0.50 < r < 0.80$ หรือ $-0.80 < r < -0.5$
สัมพันธ์กันต่ำ	$-0.50 \leq r \leq 0.50$

2.9 สถานที่ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

2.9.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2.9.2 ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2.9.3 ศูนย์คั้นคว่ำและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจเพื่อการคั้นคว่ำและผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2.10 ระยะเวลาในการทำวิจัย

เริ่มทำการวิจัยนี้ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2554 จนถึงเดือนกันยายน 2556

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณภาพน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกร

1.1 สมบัติทางกายภาพและค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำเสีย น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มสุกร

1) สมบัติทางกายภาพของน้ำเสียและน้ำทิ้ง

ลักษณะของน้ำ สีและกลิ่น ของตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ซึ่งบันทึกเป็นภาพรวมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศและใช้อากาศ ดังรายละเอียดในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สมบัติทางกายภาพของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ระบบ	จุดเก็บ	ลักษณะน้ำ	สี	กลิ่น
แบบไม่ใช้อากาศ				
fixed dome digester,	1	มีตะกอนของมูลสุกรและเศษอาหารแขวนลอยปะปนอยู่มาก	เทา-ดำ	เหม็นมาก
covered lagoon digester,	2	น้ำขุ่นเล็กน้อยมีตะกอนแขวนลอยบ้าง	เทา-ดำ	เหม็นน้อยกว่าจุดที่ 1
channel digester	3	น้ำขุ่นเล็กน้อย มีพืชขนาดเล็กลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น จอก แหน สาหร่าย เป็นต้น	สีเขียว	ไม่มีกลิ่นเหม็น
แบบใช้อากาศ				
ponding system	1	มีมูลสุกรและเศษอาหารแขวนลอยและปะปนอยู่เล็กน้อย	เทา-ดำ	เหม็นมาก
	2	น้ำขุ่น-ใส มีตะกอนแขวนลอยอยู่บ้าง	เทา-ดำ	เหม็นน้อยกว่าจุดที่ 1
	3	น้ำขุ่นเล็กน้อย-ใส มีพืชขนาดเล็กลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น จอก แหน สาหร่าย เป็นต้น	สีเขียว	ไม่มีกลิ่นเหม็น

2) ความเป็นกรด-เบส ของน้ำเสียและน้ำทิ้งของฟาร์มสุกร

ความเป็นกรด-เบส ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรจำนวน 10 ฟาร์ม ที่เก็บตัวอย่างจาก 3 จุด มีค่าอยู่ระหว่าง 6.9 ± 0.49 ถึง 7.7 ± 0.23 คือ มีความเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย ซึ่งความเป็นกรด-เบส ทั้ง 3 จุดเก็บตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ดังรายละเอียดในตารางที่ 10 จากการศึกษาพบว่า ฟาร์มสุกรที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ 6 ฟาร์มมี ความเป็นกรด-เบส 7.3 ± 0.28 ถึง 7.7 ± 0.23 ซึ่งมีค่ามากกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ 4 ฟาร์มที่มี ความเป็นกรด-เบส 6.9 ± 0.49 ถึง 7.6 ± 0.45 แต่ไม่มี ความสัมพันธ์กันระหว่าง ความเป็นกรด-เบส ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและค่า ความเป็นกรด-เบส ที่วัดได้ทุกฟาร์มไม่เกินมาตรฐานเพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรของกรมควบคุมมลพิษ ดังตารางที่ 10

โดยส่วนใหญ่ค่าความเป็นกรด-เบส ณ จุดที่ 3 ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศและใช้อากาศ มีค่ามากกว่าจุดที่ 1 และ 2 เนื่องจากจุดที่ 3 เป็นบ่อฝังสุดท้ายก่อนปล่อยออกจากฟาร์ม โดยน้ำทิ้งมีลักษณะ น้ำขุ่นเล็กน้อยถึงใส แสงแดดส่องถึง มีพีชขนาดเล็กลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น จอก แหน สาหร่าย เป็นต้น ซึ่งในตอนกลางวันพีชน้ำจะสังเคราะห์แสง โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในน้ำส่งผลให้ ความเป็นกรด-เบส สูงขึ้น (Tucker and D'Abramo, 2008)

ตารางที่ 10 ความเป็นกรด-เบส ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ระบบ	ลำดับ	ชื่อฟาร์ม	จุดเก็บตัวอย่าง		
			1	2	3
แบบไม่ใช้อากาศ					
fixed dome	1	สมควร	7.4±0.08	7.5±0.02	7.3±0.28
digester	2	อำนาจ	7.5±0.09	7.4±0.09	7.4±0.47
covered lagoon	3	ปทุมเกษตร	7.5±0.02	7.4±0.12	7.6±0.06
digester	4	สมชาย	7.4±0.27	7.7±0.23	7.6±0.03
channel digester	5	ไพโรน้อย	7.4±0.04	7.4±0.36	7.5±0.33
	6	รางโบสถ์	7.5±0.40	7.4±0.08	7.6±0.58
แบบใช้อากาศ					
ponding system	7	โชคอนันต์	7.4±0.44	7.2±0.42	7.0±0.96
	8	วิไลวรรณ	7.2±0.47	6.9±0.49	7.6±0.65
	9	เล่งเค็ง	7.2±0.19	7.5±0.18	7.6±0.45
	10	ศรีสวัสดิ์	7.1±0.01	7.2±0.17	7.4±0.30

1.2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและน้ำทิ้งของฟาร์มสุกร

1) สารหนู

ปริมาณสารหนูในน้ำเสียและน้ำทิ้งมีค่า 0 ถึง 0.0598±0.0139 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg L⁻¹) ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญสถิติ ($P \geq 0.05$) และพบว่า ปริมาณสารหนูในน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีค่า 0-0.0598±0.0139 mg L⁻¹ ซึ่งมีความมากกว่าฟาร์มสุกรที่ใช้ระบบบำบัดแบบใช้อากาศซึ่งมีค่า 0 ถึง 0.0330±0.0088 mg L⁻¹ โดยฟาร์มสุกรที่พบปริมาณสารหนูมากที่สุดในจุดที่ 1 คือ ฟาร์มเล่งเค็ง มีค่าเท่ากับ 0.0330±0.0088 mg L⁻¹ จุดที่ 2 และ 3 คือ ฟาร์มอำนาจ มีค่าเท่ากับ 0.0369±0.0134 และ

0.0598±0.0139 mg L⁻¹ ตามลำดับ ที่ฟาร์มสมชาย ฟาร์มโชคอนันต์ และฟาร์มวิไลวรรณไม่พบสารหนูในน้ำเสียและน้ำทิ้งทั้ง 3 จุดที่เก็บตัวอย่าง ในกรณีน้ำใช้พบปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำใช้ของฟาร์มอำนวยการเพียงแห่งเดียว ซึ่งมีค่า 0.0327±0.0060 mg L⁻¹ ดังรายละเอียดในตารางที่ 11

2) แคลเมียม

ปริมาณแคลเมียมในน้ำเสียและน้ำทิ้ง มีค่า 0 ถึง 0.0065±0.0027 mg L⁻¹ ปริมาณแคลเมียมในน้ำเสียฟาร์มสุกรในจุดที่ 1 เพียงจุดเดียวที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยปริมาณแคลเมียมในน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีค่า 0 ถึง 0.0065±0.0027 mg L⁻¹ ซึ่งมีความมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟาร์มสุกรที่ใช้ระบบบำบัดแบบใช้อากาศที่มีค่า 0.0007±0.0001 ถึง 0.0063±0.0030 mg L⁻¹ โดยพบปริมาณแคลเมียมมีค่าสูงที่สุดในฟาร์มปฐุมเกษตร 0.0065±0.0027 mg L⁻¹ และรองลงมาคือ จุดที่ 2 และ 3 คือ ฟาร์มศรีสวัสดิ์ มีค่า 0.0061±0.0005 และ 0.0063±0.0030 mg L⁻¹ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 12

3) พรอท

ปริมาณพรอทในน้ำเสียและน้ำทิ้ง มีค่า 0 ถึง 0.0004±0.0001 mg L⁻¹ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) โดยพบปริมาณพรอททั้ง 3 จุด ที่ฟาร์มไพรน้อยและฟาร์มเล่งเค็ง แต่ที่ฟาร์มอำนวยการ ฟาร์มรางโบสถ์ และฟาร์มวิไลวรรณไม่พบปริมาณพรอททั้ง 3 จุด ในกรณีน้ำใช้พบปริมาณพรอทในแหล่งน้ำใช้ของฟาร์มสมควรและฟาร์มสมชาย 0.0009±0.0001 และ 0.0007±0.0001 mg L⁻¹ ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 13

ตารางที่ 11 ปริมาณสารหนูในน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ระบบ	ลำดับ	ชื่อฟาร์ม	ปริมาณสารหนู (mg L ⁻¹)			แหล่งน้ำใช้ในฟาร์ม
			จุด 1	จุด 2	จุด 3	
แบบไม่ใช้อากาศ						
fixed dome digester	1	สมควร	0.0013±0.0004	0.0187±0.0004	0.0047±0.0017	0
	2	อำนาจ	0.0076±0.0011	0.0369±0.0134	0.0598±0.0139	0.0327±0.0060
covered lagoon digester	3	ปฐุมเกษตร	0.0177±0.0037	0.0108±0.0023	0.0227±0.0043	-
	4	สมชาย	0	0	0	0
channel digester	5	ไพร์น้อย	0.0283±0.0091	0.0217±0.0041	0.0250±0.0071	-
	6	รางโปลล์	0.0300±0.0141	0.0357±0.0108	0	-
แบบใช้อากาศ						
ponding system	7	โชคอนันต์	0	0	0	-
	8	วิไลวรรณ	0	0	0	-
	9	เล่งเค็ง	0.0330±0.0088	0.0130±0.0058	0.0140±0.0059	-
	10	ศรีสวัสดิ์	0.0263±0.0081	0	0.0160±0.0064	-

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

ตารางที่ 12 ปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียและน้ำทิ้งของฟาร์มสุกร

ระบบ	ลำดับ	ชื่อฟาร์ม	ปริมาณแคดเมียม (mg L ⁻¹)			แหล่งน้ำใช้ในฟาร์ม
			จุด 1	จุด 2	จุด 3	
แบบไม่ใช้อากาศ						
fixed dome digester	1	สมควร	0.0007±0.0001 ^a	0.0007±0.0004	0.0033±0.0006	0
	2	อำนาจ	0.0005±0.0003 ^a	0.0009±0.0003	0.0006±0.0003	0
covered lagoon digester	3	ปทุมเกษตร	0.0065±0.0027 ^b	0.0027±0.0002	0.0050±0.0014	-
	4	สมชาย	0.0001±0.0001 ^a	0.0006±0.0001	0.0007±0.0001	0
channel digester	5	ไพรน้อย	0.0012±0.0007 ^a	0.0024±0.0007	0.0045±0.0006	-
	6	รางโบสถ์	0 ^a	0.0013±0.0001	0	-
แบบใช้อากาศ						
ponding system	7	โชคอนันต์	0.0037±0.0011	0.0054±0.0021	0.0050±0.0017	-
	8	วิไลวรรณ	0.0030±0.0006	0.0018±0.0006	0.0048±0.0018	-
	9	เล่งเค็ง	0.0007±0.0001	0.0051±0.0013	0.0016±0.0006	-
	10	ศรีสวัสดิ์	0.0058±0.0009	0.0061±0.0005	0.0063±0.0030	-

หมายเหตุ: a, b ในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

- หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

ตารางที่ 13 ปริมาณปรอทในน้ำเสียและน้ำทิ้งของฟาร์มสุกร

ระบบ	ลำดับ	ชื่อฟาร์ม	ปริมาณปรอท (mg L ⁻¹)			แหล่งน้ำใช้ในฟาร์ม
			จุด 1	จุด 2	จุด 3	
แบบไม่ใช้อากาศ						
fixed dome digester	1	สมควร	0.0004±0.0001	0	0.0004±0.0003	0.0009±0.0001
	2	อำนวยการ	0	0	0	0
covered lagoon digester	3	ปทุมเกษตร	0.0004±0.0001	0.0004±0.0001	0	-
	4	สมชาย	0.0004±0.0000	0	0	0.0007±0.0001
channel digester	5	ไพรร้อย	0.0004±0.0001	0.0003±0.0001	0.0003±0.0001	-
	6	รางโบลี	0	0	0	-
แบบใช้อากาศ						
ponding system	7	โชคอนันต์	0	0	0.0002±0.0000	-
	8	วิไลวรรณ	0	0	0	-
	9	เล่งเค็ง	0.0003±0.0001	0.0003±0.0001	0.0003±0.0001	-
	10	ศรีสวัสดิ์	0.0001±0.0001	0	0	-

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

4) ตะกั่ว

ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียและน้ำทิ้ง มีค่า 0 ถึง $0.0472 \pm 0.0127 \text{ mg L}^{-1}$ โดยน้ำเสียและน้ำทิ้งในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีค่าปริมาณตะกั่วสูงสุด ค่าที่พบแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ฟาร์มสุกรที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีค่า 0 ถึง $0.0464 \pm 0.0093 \text{ mg L}^{-1}$ ซึ่งจุดที่พบมากที่สุดทั้ง 2 ระบบ คือ จุดที่ 1, 2 และ 3 คือ ฟาร์มเล่งเค็ง ฟาร์มไซคอนันต์และฟาร์มรางโบสถ์มีค่า 0.0439 ± 0.0169 , 0.0464 ± 0.0093 และ $0.0472 \pm 0.0127 \text{ mg L}^{-1}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังตรวจพบปริมาณตะกั่วในน้ำใช้ที่ฟาร์มสมควรมีค่า $0.0587 \pm 0.0129 \text{ mg L}^{-1}$ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าจุดเก็บตัวอย่างของฟาร์มนี้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 14

เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด (ตารางที่ 11-14) ที่พบในน้ำเสียและน้ำทิ้งที่เก็บตัวอย่างจาก 3 จุด ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศและใช้อากาศจากทุกฟาร์มสุกรที่ทำการศึกษา พบว่า มีสารหนูมากที่สุดคือ $0.0598 \pm 0.0139 \text{ mg L}^{-1}$ ณ จุดเก็บที่ 3 ฟาร์มอำนาจ รองลงมาคือตะกั่ว $0.0472 \pm 0.0127 \text{ mg L}^{-1}$ ณ จุดเก็บที่ 3 ฟาร์มรางโบสถ์ แคดเมียม $0.0065 \pm 0.0027 \text{ mg L}^{-1}$ ณ จุดเก็บที่ 1 ฟาร์มปฐมเกษตร และที่พบน้อยที่สุดคือปรอท $0.0004 \pm 0.0001 \text{ mg L}^{-1}$ ณ จุดเก็บที่ 1 ของฟาร์มสมควรม ฟาร์มปฐมเกษตร ฟาร์มสมควรมและฟาร์มไพรน้อย และ ณ จุดที่ 2 และ 3 ของฟาร์มปฐมเกษตรและสมควรม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าที่วิเคราะห์ได้นี้กับค่ามาตรฐาน พบว่า ค่าที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน การระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) การที่ปริมาณสารหนูในน้ำเสียและน้ำทิ้งมากที่สุดอาจเนื่องจากการปนเปื้อนของสารหนูในอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรแล้วถ่ายทอดไปยังมูลสุกรซึ่งปะปนอยู่ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง (Li and Chen, 2005) ในทำนองเดียวกันกับแคดเมียม ปรอทและตะกั่ว สอดคล้องกับ Ulrich *et al.* (2001) คือปริมาณโลหะหนักในแต่ละฟาร์มมีค่าต่างกันขึ้นอยู่กับ แหล่งน้ำใช้ฟาร์มสุกรที่แตกต่างกัน และ/หรือวัตถุดิบในอาหารสุกร เช่น ไดแคลเซียมฟอสเฟต (Dobrzanski *et al.*, 2010)

ตารางที่ 14 ปริมาณตะกั่วในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ระบบ	ลำดับ	ชื่อฟาร์ม	ปริมาณตะกั่ว (mg L ⁻¹)			แหล่งน้ำใช้ในฟาร์ม
			จุด 1	จุด 2	จุด 3	
แบบไม่ใช้อากาศ						
fixed dome digester	1	สมควร	0.0218±0.0112	0.0299±0.0043	0	0.0587±0.0129
	2	อำนวย	0.0004±0.0001	0	0.0001±0.0001	0
covered lagoon digester	3	ปฐุมเกษตร	0.0187±0.0095	0.0137±0.0042	0.0328±0.0096	-
	4	สมชาย	0.0058±0.0015	0.0052±0.0016	0.0005±0.0001	0
channel digester	5	ไพรร้อย	0.0027±0.0004	0.0107±0.0016	0.0185±0.0075	-
	6	รางโบสถ์	0.0138±0.0050	0.0248±0.0071	0.0472±0.0127	-
แบบใช้อากาศ						
ponding system	7	โชคอนันต์	0.0436±0.0054	0.0464±0.0093	0.0098±0.0020	-
	8	วิไลวรรณ	0.0129±0.0040	0.0183±0.0049	0	-
	9	เล่งเค็ง	0.0439±0.0169	0.0385±0.0035	0.0289±0.0030	-
	10	ศรีสวัสดิ์	0.0163±0.0040	0.0246±0.0072	0.0101±0.0004	-

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

กรณีแหล่งน้ำที่ใช้ในฟาร์มสมควร ฟาร์มอำนวยการและฟาร์มผสมชาย พบว่า ฟาร์มสมควรมีปริมาณปรอทและตะกั่ว $0.0009 \pm 0.0001 \text{ mg L}^{-1}$ และ $0.0587 \pm 0.0129 \text{ mg L}^{-1}$ ตามลำดับ ฟาร์มอำนวยการมีปริมาณสารหนู $0.0327 \pm 0.0060 \text{ mg L}^{-1}$ และฟาร์มผสมชายมีปริมาณปรอท $0.0007 \pm 0.0001 \text{ mg L}^{-1}$ ซึ่งปริมาณปรอทจากฟาร์มสมควรและฟาร์มผสมชาย รวมทั้งปริมาณตะกั่วจากฟาร์มสมควรมีค่าสูงกว่าน้ำเสียและน้ำทิ้งในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

1.3 สมบัติทางกายภาพและความเป็นกรด-เบสของกากตะกอนมูลสุกรของฟาร์มสุกร

1) สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนมูลสุกร

ลักษณะ สีและกลิ่น กากตะกอนมูลสุกรของฟาร์มสุกรโดยภาพรวม มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนมูลสุกร

ระบบ	จุดเก็บ	ลักษณะตะกอน	สี	กลิ่น
แบบไม่ใช้อากาศ				
fixed dome digester, covered	2	ตะกอนเหลวที่เกิดจากการหมักในบ่อหมักไร้	เทา-ดำ	ตะกอนเปียกมีกลิ่นเหม็น
lagoon digester		อากาศของมูลสุกร เศษอาหารและสิ่งเจือปนอื่น ๆ		ตะกอนแห้งส่วนใหญ่ไม่มีกลิ่นเหม็น
channel digester		ส่วนใหญ่ฟาร์มจะนำไปตากแห้ง		

2) ความเป็นกรด-เบส ของกากตะกอนมูลสุกร

ความเป็นกรด-เบส ของกากตะกอนมูลสุกรทั้ง 6 ฟาร์ม มีค่าอยู่ระหว่าง 6.4 ± 0.22 - 7.0 ± 0.13 ซึ่งเป็นกลาง และมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) และไม่เกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ดังรายละเอียดในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ความเป็นกรด-เบส ของกากตะกอนมูลสุกร

ระบบ	ลำดับ	ชื่อฟาร์ม	ความเป็นกรด-เบส
แบบไม่ใช้อากาศ			
fixed dome digester	1	สมควร	7.0 ± 0.13
	2	อำนาจ	7.0 ± 0.52
covered lagoon digester	3	ปฐมเกษตร	6.7 ± 0.20
	4	สมชาย	6.8 ± 0.49
channel digester	5	ไพโรนอย	6.4 ± 0.22
	6	รางโบสถ์	6.5 ± 0.23

1.4 ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนมูลสุกร

ปริมาณสารหนูในกากตะกอนมูลสุกรจากทุกฟาร์มที่ศึกษามีค่า 3.9658 - 17.4499 mg kg^{-1} ปริมาณสารหนูในกากตะกอนมูลสุกรแต่ละฟาร์มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ปริมาณแคดเมียมมีค่า 0.7058 - 2.6585 mg kg^{-1} และแต่ละฟาร์มมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบมากที่สุดที่ฟาร์มรางโบสถ์และน้อยที่สุดในฟาร์มอำนาจ ปริมาณปรอทมีค่า 0 - 0.5054 mg kg^{-1} โดยพบเพียง 2 ฟาร์มเท่านั้น คือ ฟาร์มรางโบสถ์และฟาร์มอำนาจ และมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ส่วนปริมาณตะกั่วมีค่า 3.7611 - 44.9735 mg kg^{-1} ปริมาณตะกั่วในกากตะกอนมูลสุกรแต่ละฟาร์มมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 17 การที่ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนมูลสุกรแตกต่างกันอาจเนื่องมาจากอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรในแต่ละฟาร์ม

มีความแตกต่างกัน (Dobrzanski *et al.*, 2010) อีกทั้งประเภทของสุกรที่เลี้ยงก็มีความแตกต่างกันด้วย ได้แก่ สุกรเล็ก สุกรขุน สุกรพันธุ์ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2550) ซึ่งสุกรแต่ละฟาร์มและแต่ละระยะการเจริญเติบโต จะมีการใช้อาหาร และองค์ประกอบวัตถุดิบอาหารที่แตกต่างกัน จึงมีผลทำให้ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนมาในสุตรอาหารแตกต่างกันด้วย (Alexieva *et al.*, 2007, Nicholsona *et al.*, 1999, Tulayakul *et al.*, 2012)

เมื่อเรียงลำดับปริมาณโลหะหนักที่พบในปริมาณมากไปหาน้อยโดยใช้ค่าสูงสุดที่วิเคราะห์ได้ คือ ตะกั่ว $44.9735 \text{ mg kg}^{-1}$ สารหนู $17.4499 \text{ mg kg}^{-1}$ แคดเมียม $2.6585 \text{ mg kg}^{-1}$ และปรอท $0.5054 \text{ mg kg}^{-1}$ อย่างไรก็ตามปริมาณโลหะหนักค่าสูงสุดที่ตรวจพบในแต่ละธาตุมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ถ้าคิดสัดส่วนปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดโดยใช้ค่าสูงสุดต่อค่ามาตรฐานแต่ละธาตุพบว่า ตะกั่วมีสัดส่วน 0.09: 1 สารหนู 0.35: 1 แคดเมียม 0.53: 1 และปรอท 0.25: 1 ซึ่งสัดส่วนเหล่านี้มีค่าต่ำ จึงสามารถนำกากตะกอนมูลสุกรของทุกฟาร์มไปใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้ เพราะมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหาร (สุกัญญาและคณะ, 2555) แต่ควรคำนึงถึงสัดส่วนการใส่กากตะกอนมูลสุกรต่อพื้นที่การเพาะปลูกว่า ปริมาณของสารหนูและแคดเมียมต้องไม่เกินค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 และการใช้ต้องโรยกากตะกอนมูลสุกรให้ทั่วถึงไม่สะสมอยู่ที่ใดที่หนึ่งในปริมาณสูง ถ้าพิจารณาปริมาณโลหะหนักที่พบโดยใช้ค่าต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (ตะกั่ว $3.7611 \text{ mg kg}^{-1}$ สารหนู $3.9658 \text{ mg kg}^{-1}$ แคดเมียม $0.7058 \text{ mg kg}^{-1}$ และปรอท $0.0000 \text{ mg kg}^{-1}$) พบว่าสัดส่วนปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดโดยใช้ค่าต่ำสุดต่อค่ามาตรฐานแต่ละธาตุมีค่าต่ำมาก คือ ตะกั่วมีสัดส่วน 0.01: 1 สารหนู 0.08: 1 แคดเมียม 0.14: 1 และปรอท 0.0: 1 ซึ่งปลอดภัยหากนำกากตะกอนมูลสุกรไปใช้เป็นปุ๋ย

ตารางที่ 17 ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนมูลสุกร

ระบบ	ลำดับ	ชื่อฟาร์ม	ปริมาณโลหะหนัก (mg kg ⁻¹)			
			As	Cd	Hg	Pb
Fixed Dome Digester	1	สมควร	6.8648±0.6209	0.9631±0.5970 ^a	0	3.7611±1.0764
	2	อำนวยการ	3.9658±1.1097	0.7058±0.1480 ^a	0.2761±0.1076	7.3129±0.9717
Covered Lagoon	3	ปทุมเกษตร	9.3338±0.3123	1.4099±1.0937 ^{ab}	0	33.0482±7.6361
	4	สมชาย	11.0560±1.8354	1.4554±0.1500 ^{ab}	0	6.7575±2.4854
Channel Digester	5	ไพรร้อย	17.4499±4.0593	1.6997±0.0241 ^{ab}	0	20.9260±0.1076
	6	รางโบสถ์	10.9052±3.7559	2.6585±0.1380 ^b	0.5054±0.1490	44.9735±11.3265

หมายเหตุ: a, b ในคอลัมน์เดียวกัน คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2. การศึกษาสมบัติทางเคมีของดินและปริมาณโลหะหนักในดินและพืชที่ใช้ปุ๋ยจากน้ำทิ้ง และกากตะกอนมูลสุกร

2.1 การปลูกผักกาดจากแปลงปลูกที่ 1

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-เบส, CEC ปริมาณสารหนู แคดเมียม ปรอทและตะกั่วใน ตัวอย่างดินแปลงปลูก และในผักกาดที่ปลูกที่ 1 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 18

ความเป็นกรด-เบส ของดินก่อนปลูกในแปลงปลูกผักกาดครั้งที่ 1 มีค่า ความเป็นกรด-เบส 8.0 ในทุกตำรับการทดลอง ซึ่งดินนี้มีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในเกณฑ์เป็นด่างปานกลาง ซึ่งเหมาะสมกับการปลูกพืชบางชนิด และหลังการปลูกพืช พบว่า ดินในแปลงปลูกมีค่าความเป็นกรด-เบส 7.4-7.9 ซึ่งมีความเป็นด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง ส่วนการปลูกผักกาดโดยใช้ปุ๋ยที่ต่างกัน พบว่ามีผลทำให้ความเป็นกรด-เบส ของดินในแปลงทดลองลดลงทุกตำรับการทดลองและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยดินในแปลงปลูกตำรับที่ 2 ซึ่งใช้ปุ๋ยเคมี มีค่าความเป็นกรด-เบสลดลงมากที่สุด และดินในแปลงปลูกตำรับที่ 4 ที่ใช้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร (จุดที่ 2)+กากตะกอนมูลสุกร เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช มีค่า ความเป็นกรด-เบส ลดลงน้อยที่สุด

ค่า CEC ดินก่อนปลูกมีค่า 9.1- 11.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (cmol kg^{-1}) อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง หมายความว่า ดินที่ใช้ปลูกผักกาดนี้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง และหลังปลูกผักกาดดินมีค่า CEC 10.2-12.2 cmol kg^{-1} อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง หมายความว่า การใช้น้ำทิ้งและ/หรือกากตะกอนมูลสุกรช่วยทำให้ดินมีการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดีขึ้นพืชสามารถใช้ประโยชน์แร่ธาตุที่มีประจุบวกได้มากขึ้น โดยรวม ค่า CEC ของดินเพิ่มขึ้นหลังการปลูกผักกาด ยกเว้นในตำรับการทดลองที่ 2 ที่มีค่า CEC ลดลง เนื่องจากในตำรับการทดลองที่ 2 มีการใช้ปุ๋ยเคมี (ยูเรีย) เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชซึ่งมักมีผลตกค้างทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด เมื่อมีการใส่ปุ๋ยยูเรีย (NH_2CONH_2) ลงในดิน ปุ๋ยยูเรียจะถูกไฮโดรไลซ์โดยมีเอนไซม์ยูรีเอส (urease) และถ้าอยู่ในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ NH_4^+ ที่เกิดขึ้นจะถูกจุลินทรีย์ออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) และดินมีความชื้นมากพอจะเกิดเป็นกรดไนตริก (HNO_3) ทำให้ดินเป็นกรด (ความเป็นกรด-เบส ดินลดลง) (อำนาจ, 2553) เมื่อความเป็นกรด-เบสของดินลดลงคือมีปริมาณของไฮโดรเจนไอออน (H^+) สูงขึ้น จึงสามารถแทนที่ประจุบวกที่ดูดซับบนผิวอนุภาคดินได้ และประจุบวกเหล่านี้สามารถหลุดออกมาจากอนุภาคดินอยู่ในรูปสารละลาย

ซึ่งง่ายต่อการชะล้างและสูญหายไปจากดินจึงทำให้ค่า CEC ลดลง (อุไรวรรณ, 2554) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Food and Agriculture Organization of the United Nations ; FAO, 1973) พบว่า ค่า CEC หลังปลูกผักบุ้ง มีค่าสูงกว่าก่อนปลูกสามารถสรุปได้ว่า การใช้น้ำทิ้งและ/หรือกากตะกอนมูลสุกรช่วยทำให้ดินมีการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดีขึ้นพืชสามารถใช้ประโยชน์แร่ธาตุที่มีประจุบวกได้มากขึ้น

ปริมาณโลหะหนักในดินทั้งก่อนและหลังการปลูกผักบุ้ง พบว่า มีปริมาณแคดเมียมในดินตำรับการทดลองที่ 1 และ 2 โดยในดินก่อนปลูก มีแคดเมียม $0-0.0505 \text{ mg kg}^{-1}$ ในดินหลังปลูก $0-0.0358 \text{ mg kg}^{-1}$ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับปริมาณตะกั่ว พบทุกตำรับการทดลอง โดยในดินก่อนปลูกมีค่า $2.2006-2.7654 \text{ mg kg}^{-1}$ ในดินหลังปลูกมีค่า $1.5810-1.6885 \text{ mg kg}^{-1}$ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ส่วนปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในดินหลังปลูกต่ำกว่าในดินก่อนปลูกอาจเนื่องจากการชะล้างของหน้าดินและผักบุ้งดูดตะกั่วเข้าไปสะสมส่วนต่าง ๆ ไม่พบสารหนูและปรอทในดินทั้งก่อนและหลังปลูก

ปริมาณโลหะหนักในผักบุ้ง พบว่ามีตะกั่ว $0.1449-0.1567 \text{ mg kg}^{-1}$ แต่ไม่พบปริมาณสารหนู แคดเมียม และปรอทในผักบุ้ง (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ความเป็นกรด-เบส (pH), CEC, ปริมาณโลหะหนักในดินและผักนึ่งรอบการปลูกที่ 1

ดำรับ การ ทดลอง	ดินก่อนปลูก				ดินหลังปลูก				ผักนึ่ง
	pH	CEC cmol kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		pH	CEC cmol kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹
			Cd	Pb			Cd	Pb	
1	8.0±0.3	9.1±5.4	0.0505±0.0073 ^b	2.2006±0.1878	7.8±0.1 ^b	11.4±1.2	0.0358±0.0049 ^b	1.5810±0.4360	0.1456±0.0550
2	8.0±0.2	11.0±0.2	0.0096±0.0035 ^a	2.3802±0.5121	7.4±0.2 ^a	10.2±1.4	0.0045±0.0023 ^a	1.6231±0.5187	0.1449±0.0341
3	8.0±0.2	10.7±0.9	0 ^a	2.4550±0.5248	7.8±0.2 ^b	11.0±1.6	0 ^a	1.5998±0.3676	0.1499±0.0478
4	8.0±0.3	10.3±5.4	0 ^a	2.7654±0.4708	7.9±0.0 ^b	12.2±0.8	0 ^a	1.6885±0.4197	0.1567±0.0060

หมายเหตุ: ดำรับการทดลองที่ 1 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ ดำรับการทดลองที่ 2 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี ดำรับการทดลองที่ 3 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) และ ดำรับการทดลองที่ 4 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) + กากตะกอนมูลสุกร (ใส่ทางดิน)

a, b ในคอลัมน์เดียวกัน คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test

2.2 การปลูกผักบุ้งรอบที่ 2

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-เบส, CEC, ปริมาณสารหนู แคดเมียม ปรอทและตะกั่ว ในตัวอย่างดินแปลงปลูก และในผักบุ้งรอบที่ 2 แสดงไว้ในตารางที่ 19

ความเป็นกรด-เบส ดินก่อนปลูกผักบุ้งมีค่า 7.7-8.0 ซึ่งเป็นด่างเล็กน้อยถึงปานกลาง การปลูกผักบุ้งในดิน 1 รอบ ทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของดินที่ใช้ปลูกมีค่าลดลงจากเดิมแต่เพียงเล็กน้อย และดินที่ผ่านการปลูกผักบุ้งมาแล้ว 1 รอบ ยังเหมาะสมกับการปลูกพืชบางชนิดได้ และการใช้น้ำทิ้งและ/หรือกากตะกอนมูลสุกรทำให้ดินมีความเป็นด่างลดลงซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมกับการปลูกพืชมากขึ้น สำหรับดินหลังปลูกผักบุ้งรอบที่ 2 มีค่าความเป็นกรด-เบส 6.7-7.5 เป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมกับการปลูกพืชทุกชนิด อาจกล่าวได้ว่าการใช้น้ำทิ้งและ/หรือกากตะกอนมูลสุกรรักษาสภาพดินให้มีคุณภาพคงเดิมในเชิงของความเป็นกรด-เบส ค่าความเป็นกรด-เบสของดินที่ใช้ปลูกผักบุ้งรอบที่ 2 ในแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งก่อนและหลังปลูกโดยค่าความเป็นกรด-เบสของดินในดำรับการทดลองที่ 2 มีค่าลดลงมากที่สุด และแปลงปลูกในดำรับการทดลองที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-เบส น้อยที่สุด เช่นเดียวกับดินที่ใช้ปลูกผักบุ้งครั้งที่ 1

CEC ในดินก่อนมีค่า 8.1- 10.5 cmol kg^{-1} และหลังปลูกมีค่า และ 9.9-13.2 cmol kg^{-1} ตามลำดับ อยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ซึ่งค่า CEC ของแปลงปลูกทุกดำรับการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการปลูกผักบุ้ง สำหรับแปลงปลูกดำรับการทดลองที่ 1 ซึ่งใช้ปุ๋ยชีวภาพเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพมีจุลินทรีย์จำนวนมากและยังเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในดิน จุลินทรีย์จึงเป็นตัวดำเนินกิจกรรมต่างๆ โดยการแลกเปลี่ยนประจุบวกของธาตุอาหารในดินเพื่อเปลี่ยนรูปธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ตารางที่ 19 ความเป็นกรด-เบส (pH), CEC, ปริมาณโลหะหนักในดินและผักนึ่งรอบการปลูกที่ 2

ดำรับ การ ทดลอง	ดินก่อนปลูก				ดินหลังปลูก				ผักนึ่ง mg kg ⁻¹
	pH	CEC cmol kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		pH	CEC cmol kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		
			Cd	Pb			Cd	Pb	
1	8.0±0.2 ^b	10.0±0.5	0.0495±0.0113	0.9198±0.1652	7.5±0.3 ^b	13.2±2.9	0.0034±0.0007	0.2473±0.0188	0.1389±0.0220
2	7.7±0.1 ^a	8.1±3.4	0.0613±0.0161	0.8948±0.1804	6.7±0.1 ^a	9.9±3.0	0.0063±0.0014	0.3448±0.0160	0.1452±0.0284
3	7.8±0.1 ^{ab}	10.3±0.6	0.0063±0.0026	0.9448±0.1871	7.2±0.2 ^b	11.3±0.7	0.0028±0.0008	0.1948±0.0284	0.1400±0.0204
4	7.8±0.1 ^{ab}	10.5±1.7	0.0038±0.0013	0.9248±0.1594	7.4±0.1 ^b	11.8±1.4	0.0014±0.0005	0.2748±0.0521	0.1497±0.0054

หมายเหตุ: ดำรับการทดลองที่ 1 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ ดำรับการทดลองที่ 2 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี ดำรับการทดลองที่ 3 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) และ ดำรับการทดลองที่ 4 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) + กากตะกอนมูลสุกร (ใส่ทางดิน)

a, b ในคอลัมน์เดียวกัน คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test

จากตารางที่ 19 พิจารณาปริมาณโลหะหนักในดินทั้งก่อนและหลังการปลูกผักบุ้งรอบที่ 2 พบว่า มีปริมาณแคดเมียมในดินทุกตัวรับการทดลอง โดยมีปริมาณในดินก่อนปลูก 0.0038-0.0613 mg kg⁻¹ ในดินหลังปลูก 0.0014-0.0063 mg kg⁻¹ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ส่วนตะกั่วพบว่า มีทุกตัวรับการทดลอง ในดินก่อนปลูกปริมาณ 0.8948-0.9448 mg kg⁻¹ ในดินหลังปลูกมีปริมาณ 0.1948-0.3448 mg kg⁻¹ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ทั้งนี้ไม่พบสารหนูและปรอทในดินทั้งก่อนและหลังปลูก อย่างไรก็ตามตะกั่วในผักบุ้งมีปริมาณ 0.1398-0.1497 mg kg⁻¹ แต่ไม่พบปริมาณสารหนู แคดเมียม และปรอทในผักบุ้ง (ตารางที่ 19)

ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในตัวอย่างดินก่อนปลูก หลังปลูกและในต้นผักบุ้งทั้ง 2 รอบการปลูกผักบุ้งที่วิเคราะห์ได้อาจปนเปื้อนจากปุ๋ยน้ำที่จากฟาร์มผสมชาย (ตารางที่ 14) ที่ฉีดพ่นทางใบและกากตะกอนมูลสุกรจากฟาร์มปศุสัตว์เกษตร (ตารางที่ 17) ที่ให้ทางดินแก่ผักบุ้งและอาจปนเปื้อนมากับปุ๋ยเคมี ซึ่ง ปิยะพร (2549) ได้วิเคราะห์โลหะหนักในปุ๋ยเคมี (46-0-0) และพบว่ามีการปนเปื้อนของสารหนู และปรอท คือ 62 และ 118 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แคดเมียม และตะกั่ว คือ 0.42 และ 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

จากการปลูกผักบุ้งในแปลงปลูกเดียวกัน 2 รอบ ติดต่อกันโดยเว้นระยะการปลูกระหว่างรอบ 7-10 วัน นั้น พบว่า คุณภาพของดินด้านความเป็นกรด-เบส และ ค่า CEC ยังคงเดิม และการใช้น้ำทิ้งและ/หรือกากตะกอนมูลสุกรยังสามารถรักษาสภาพดินให้คงเดิมได้ รวมทั้งปริมาณโลหะหนักในดินมีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน

2.3 การปลูกผักกาดหอมรอบที่ 1

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-เบส, CEC ปริมาณสารหนู แคดเมียม ปรอทและตะกั่วในตัวอย่างดินแปลงปลูก และในผักกาดหอมรอบที่ 1 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 20

ความเป็นกรด-เบส ของดินก่อนปลูกในแปลงปลูกผักกาดหอมครั้งที่ 1 มีค่า ความเป็นกรด-เบส 7.8-8.0 เป็นด่างเล็กน้อยกลางถึงด่างปานกลาง และหลังการปลูกพืช พบว่า มีความเป็น

กรด-เบส 7.2-8.1 เป็นกลางถึงด่างปานกลาง ซึ่งใช้ปลูกพืชบางชนิดได้และมีสภาพที่เหมาะสมกับการปลูกพืชกว่าดินก่อนปลูกผักกาดหอม ค่าความเป็นกรด-เบส ของดินทั้งก่อนและหลังปลูก แต่จะดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบ ความเป็นกรด-เบส ของดินมีค่าลดลงในดำรับการทดลองที่ 1 และ 2 หลังปลูกผักกาดหอมแล้ว แต่ดินในแปลงปลูกดำรับการทดลองที่ 4 มีค่า ความเป็นกรด-เบส เพิ่มขึ้นหลังจากการปลูกผักดังกล่าว แต่ดินในแปลงปลูกดำรับการทดลองที่ 3 มีค่า ความเป็นกรด-เบส คงเดิมทั้งก่อนและหลังปลูก

CEC ดินก่อนปลูกมีค่า 10.5-12.9 cmol kg^{-1} มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกปานกลาง และหลังปลูกมีค่า 9.9-11.0 cmol kg^{-1} มีค่าค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง โดยค่า CEC ลดลงในทุกดำรับการทดลองหลังการปลูกผักกาดหอม แต่ในดำรับการทดลองที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

ปริมาณไนโตรเจนในดินก่อนและหลังปลูกผักกาดหอมรอบที่ 1 พบว่า มีปริมาณแคดเมียมและตะกั่ว โดยมีปริมาณแคดเมียมในดินก่อนปลูก 0-0.1637 mg kg^{-1} ในดินหลังปลูก 0-0.0354 mg kg^{-1} ซึ่งในดินหลังปลูกมีค่าต่ำลงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนตะกั่ว พบว่า มีทุกดำรับการทดลอง ในดินก่อนปลูกปริมาณ 3.0395-3.7451 mg kg^{-1} ในดินหลังปลูกมีปริมาณ 2.0295-2.2350 mg kg^{-1} ตามลำดับ และพบปริมาณตะกั่วในผักกาดหอม 0.0032-0.0035 mg kg^{-1} ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) (ตารางที่ 20)

2.4 การปลูกผักกาดหอมรอบที่ 2

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-เบส, CEC, ปริมาณสารหนู แคดเมียม ปะรอทและตะกั่ว ในตัวอย่างดินแปลงปลูก และในผักกาดหอมรอบที่ 2 แสดงไว้ในตารางที่ 21 พบว่า

ความเป็นกรด-เบส ดินก่อนปลูกผักบุ้งมี มีค่า-ความเป็นกรด-เบส 7.3-7.9 และหลังปลูกผักกาดหอมมีค่าความเป็นกรด-เบส 7.1-8.0 โดยดินทั้งก่อนและหลังปลูก ซึ่งเป็นกลางถึงด่างปานกลาง อาจสรุปได้ว่า การใช้น้ำทิ้งและ/หรือการตะกอนมูลสุกรช่วยรักษาสภาพดินให้เหมาะสมกับ

ตารางที่ 20 ความเป็นกรด-เบส (pH), CEC, ปริมาณโลหะหนักในดินและผักกาดหอมรอบการปลูกที่ 1

ตำรับ การ ทดลอง	ดินก่อนปลูก				ดินหลังปลูก				ผักกาดหอม
	pH	CEC cmol kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		pH	CEC cmol kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹
			Cd	Pb			Cd	Pb	Pb
1	8.0±0.1 ^b	11.9±0.9	0	3.0395±0.0504 ^a	7.8±0.2 ^b	10.0±0.5	0 ^a	2.0295±0.1898	0.0033±0.0011
2	7.8±0.1 ^a	10.8±1.1	0.1283±0.0164	3.7451±0.4906 ^b	7.2±0.2 ^a	9.9±1.1	0.0197±0.0064 ^b	2.1792±0.1472	0.0035±0.0005
3	7.9±0.1 ^{ab}	10.5±2.6	0.0938±0.0093	3.1783±0.1781 ^{ab}	7.9±0.0 ^b	10.3±0.4	0.0354±0.0057 ^b	2.1929±0.1746	0.0032±0.0009
4	8.0±0.0 ^b	12.9±2.1	0.1637±0.0295	3.3040±0.2986 ^{ab}	8.1±0.1 ^c	11.0±0.6	0.0283±0.0047 ^b	2.2350±0.2480	0.0033±0.0006

หมายเหตุ: ตำรับการทดลองที่ 1 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ ตำรับการทดลองที่ 2 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี ตำรับการทดลองที่ 3 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) และ
ตำรับการทดลองที่ 4 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) + กากตะกอนมูลสุกร (ใส่ทางดิน)

a, b, c ในคอลัมน์เดียวกัน คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test

การปลูกพืช ค่าความเป็นกรด-เบส ของแปลงปลูกในทุกตำรับการทดลองทั้งก่อนและหลังปลูกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสถิติ ($P < 0.05$) ความเป็นกรด-เบส ดินก่อนปลูกผักกาดหอมในตำรับการทดลองที่ 2 มีค่า ความเป็นกรด-เบส ลดลง แต่แปลงปลูกตำรับการทดลองที่ 4 มี ความเป็นกรด-เบส เพิ่มขึ้นหลังจากการปลูกผักกาดหอมแล้ว ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 และ 3 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ ความเป็นกรด-เบส ในระหว่างการปลูกผักกาดหอม

CEC ในดินก่อนผักกาดหอม มีค่า 10.3–10.8 cmol kg^{-1} มีค่าปานกลาง ดินหลังปลูกมีค่า 8.8–11.1 cmol kg^{-1} อยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ในตำรับการทดลองที่ 3 และ 4 หมายความว่าดินมีการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้น้อยกว่าดินก่อนปลูกผักกาดหอม แต่ค่า CEC ในตำรับการทดลองที่ 1 เพิ่มขึ้นหลังการปลูกผักกาดหอมซึ่งเหมือนกับการทดลองปลูกผักบุ้งรอบที่ 2 เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพมีจุลินทรีย์จำนวนมากและยังเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในดินดังกล่าวข้างต้น

ปริมาณโลหะหนักในดินทั้งก่อนและหลังการปลูกผักกาดรอบที่ 2 พบว่า มีปริมาณแคดเมียมในดินก่อนปลูก 0–0.0088 mg kg^{-1} ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และในดินหลังปลูก 0.0014–0.0063 mg kg^{-1} ส่วนตะกั่วพบว่า ทุกตำรับการทดลองในดินก่อนปลูกปริมาณ 0.2323–0.4448 mg kg^{-1} ในดินหลังปลูกมีปริมาณ 0.0223–0.0648 mg kg^{-1} ซึ่งทั้งก่อนและหลังปลูกมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ขณะที่ไม่พบปริมาณสารหนู แคดเมียมและปรอทในผักกาดหอม แต่พบว่ามีปริมาณตะกั่วในผักกาดหอม 0.0020–0.0026 mg kg^{-1} แต่ไม่พบปริมาณสารหนู แคดเมียม และปรอทในผักกาดหอม (ตารางที่ 21)

ปริมาณโลหะหนักตะกั่วและแคดเมียมที่สะสมในผักกาดหอมทั้ง 2 รอบ อาจเนื่องจาก ตะกั่วและแคดเมียมมีสะสมอยู่ที่ดินชั้นบน ซึ่งตะกั่วเคลื่อนที่ได้น้อยในดิน ฉะนั้นพืชจึงสามารถดูดซับได้ง่ายและสะสมในใบพืชมากที่สุด (Moral et al., 2008) จึงพบปริมาณตะกั่วในผักกาดหอมเพียงชนิดเดียว

ตารางที่ 21 ความเป็นกรด-เบส (pH), CEC, ปริมาณโลหะหนักในดินและผักกาดหอมรอบการปลูกที่ 2

ดำรับ การ ทดลอง	ดินก่อนปลูก				ดินหลังปลูก				ผักกาดหอม
	pH	CEC cmol kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		pH	CEC cmol kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹
			Cd	Pb			Cd	Pb	Pb
1	7.6±0.1 ^b	10.3±0.4	0.0070±0.0019 ^b	0.2323±0.0230	7.6±0.1 ^b	11.1±0.8	0.0034±0.0007	0.0341±0.0059	0.0020±0.0003
2	7.3±0.2 ^a	10.3±0.4	0.0088±0.0016 ^b	0.2948±0.0460	7.1±0.3 ^a	10.3±1.9	0.0063±0.0019	0.0648±0.0087	0.0026±0.0005
3	7.8±0.1 ^{bc}	10.5±0.9	0 ^a	0.4448±0.0680	7.8±0.1 ^{bc}	8.8±4.3	0.0028±0.0008	0.0223±0.0098	0.0021±0.0007
4	7.9±0.1 ^c	10.8±0.3	0 ^a	0.4248±0.0753	8.0±0.1 ^c	8.9±4.3	0.0014±0.0005	0.0348±0.0083	0.0023±0.0007

หมายเหตุ: ดำรับการทดลองที่ 1 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ ดำรับการทดลองที่ 2 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี ดำรับการทดลองที่ 3 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) และ ดำรับการทดลองที่ 4 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) + กากตะกอนมูลสุกร (ใส่ทางดิน)

a, b, c ในคอลัมน์เดียวกัน คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test

เมื่อพิจารณาภาพรวมของการปลูกผักทั้งสองชนิดทั้ง 4 ดำรับการทดลอง โดยทดสอบความสัมพันธ์ของการทดลองของ 2 ตัวแปรด้วยสูตรสัมพันธ์แบบเพียร์สัน แต่ไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณไคโชนิกในดินก่อนปลูก หลังปลูก และปริมาณไคโชนิกที่ตกค้างในผักนึ่งและผักกาดหอมทั้ง 2 รอบการปลูก ผลตกค้างของไคโชนิกในผักนึ่งและผักกาดหอมกรณีใช้ปุ๋ยชีวภาพ หรือปุ๋ยเคมีไม่แตกต่างกับปริมาณไคโชนิกในผักทั้งสองที่ใช้น้ำทิ้งหรือน้ำทิ้งร่วมกับกากตะกอนมูลสุกร ดังนั้นจึงสามารถใช้น้ำทิ้งหรือน้ำทิ้งร่วมกับกากตะกอนมูลสุกรสำหรับปลูกผักเพื่อบริโภคได้

จากผลการศึกษา สังเกตค่า CEC ของผักนึ่งทั้ง 2 รอบดังตารางที่ 18-19 ดำรับการทดลองที่ 3 และ 4 ที่ใช้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร และน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรร่วมกับกากตะกอนมูลสุกร พบว่า ค่า CEC เพิ่มขึ้นหลังจากการปลูกผักนึ่งทั้ง 2 รอบ หมายถึง ผักนึ่งสามารถดูดยึดธาตุอาหารไว้ได้มากขึ้น จึงทำให้โตเร็วและแข็งแรง (อุไรวรรณ, 2554) แต่ค่า CEC ของผักกาดหอมทั้ง 2 รอบ ดังตารางที่ 20-21 มีค่า CEC ลดลงเล็กน้อยในดำรับการทดลองที่ 3 และ 4 ที่ใช้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร และน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรร่วมกับกากตะกอนมูลสุกรเป็นปุ๋ย ดังนั้นสำหรับการทดลองนี้การใช้น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร และน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรร่วมกับกากตะกอนมูลสุกร อาจจะเหมาะสำหรับการใช้เป็นปุ๋ยสำหรับผักนึ่ง (หรือผักที่มีอายุ 20-25 วัน) มากกว่าผักกาดหอม (หรือผักที่มีอายุ 40-45 วัน)

จากการปลูกผักกาดหอมในแปลงปลูกเดียวกัน 2 รอบ ติดต่อกันโดยเว้นระยะการปลูกระหว่างรอบ 7-10 วัน นั้น พบว่า คุณภาพของดินด้านความเป็นกรด-เบส และ ค่า CEC ลดลง และการใช้น้ำทิ้งและ/หรือกากตะกอนมูลสุกรไม่สามารถรักษาสภาพดินให้คงเดิมได้ ดังนั้นการปลูกผักกาดหอมควรเพิ่มปริมาณปุ๋ยชีวภาพ หรือปุ๋ยเคมี หรือน้ำทิ้งและ/หรือกากตะกอนมูลสุกรเพื่อรักษาสภาพดินให้เหมาะสมกับการปลูกพืช ในขณะที่ปริมาณไคโชนิกในดินที่ผ่านการปลูกผักกาดหอม 2 รอบ ยังคงมีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน

2.5 เปรียบเทียบปริมาณการตกค้างของโลหะหนักในผักบุ้ง ณ เวลาต่างกัน

เมื่อพิจารณาการตกค้างปริมาณตะกั่วในผักบุ้งทั้ง 2 รอบการปลูก พบว่า มีปริมาณการตกค้างในแต่ละตำรับการทดลองที่ใกล้เคียงกัน โดยในตำรับการทดลองที่ 4 มีปริมาณตกค้างของตะกั่วในผักบุ้งมากกว่าปริมาณตกค้างในตำรับการทดลองอื่น ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ปริมาณตะกั่วในผักบุ้งรอบการปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	Pb (mg kg ⁻¹)	
	รอบการปลูกที่ 1	รอบการปลูกที่ 2
1	0.1456±0.0550	0.1389±0.0220
2	0.1449±0.0341	0.1452±0.0284
3	0.1499±0.0478	0.1400±0.0204
4	0.1567±0.0060	0.1497±0.0054

หมายเหตุ : ตำรับการทดลองที่ 1 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ ตำรับการทดลองที่ 2 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี ตำรับการทดลองที่ 3 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) และ ตำรับการทดลองที่ 4 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) + กากตะกอนมูลสุกร (ใส่ทางดิน)

2.6 เปรียบเทียบปริมาณการตกค้างของโลหะหนักในผักกาดหอม ณ เวลาต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลการตกค้างตะกั่วในผักกาดหอมทั้ง 2 รอบการปลูก พบว่า มีปริมาณการตกค้างในแต่ละตำรับการทดลองที่ใกล้เคียงกัน โดยรอบการปลูกที่ 2 จะมีค่าตะกั่วน้อยกว่ารอบการปลูกที่ 1 ซึ่งปริมาณตกค้างของตะกั่วในผักกาดหอมในตำรับการทดลองที่ 2 มากกว่าปริมาณตกค้างในตำรับการทดลองอื่น ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ปริมาณตะกั่วในผักกาดหอมรอบการปลูกที่ 1 และ 2

ตัวรับการทดลอง	Pb ในผักนึ่ง (mg kg ⁻¹)	
	รอบการปลูกที่ 1	รอบการปลูกที่ 2
1	0.0033±0.0011	0.0020±0.0003
2	0.0035±0.0005	0.0026±0.0005
3	0.0032±0.0009	0.0021±0.0007
4	0.0033±0.0006	0.0023±0.0007

หมายเหตุ : ตัวรับการทดลองที่ 1 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ ตัวรับการทดลองที่ 2 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี ตัวรับการทดลองที่ 3 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) และ ตัวรับการทดลองที่ 4 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) + กากตะกอนมูลสุกร (ใส่ทางดิน)

3. เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ ในผักนึ่งและผักกาดหอมกับค่ามาตรฐาน

เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ ในผักนึ่งและผักกาดหอมกับค่ามาตรฐาน พบว่า กรณีของดินที่ใช้ปลูกผักนึ่งและผักกาดหอมทุกรอบการปลูกนั้น ปริมาณโลหะหนักทุกชนิดในดินหลังปลูกต่ำกว่าปริมาณโลหะหนักในดินก่อนปลูก ตามมาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) โดยพบแคดเมียมและตะกั่วเท่านั้นในดินทั้งก่อนและหลังการปลูกพืช แต่ไม่พบสารหนูและปรอทในดิน ซึ่งความแตกต่างของปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในแต่ละตัวรับการทดลองนั้น อาจขึ้นอยู่กับปริมาณการปนเปื้อนจากปุ๋ยเคมี น้ำทิ้ง กากตะกอนมูลสุกร กรณีผักนึ่งและผักกาดหอม ไม่พบปริมาณการปนเปื้อนสารหนู แคดเมียม และปรอทในผักทุกชนิดในรอบของการปลูก แต่พบปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วเท่านั้น อย่างไรก็ตามปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วในผักต่ำกว่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ฉบับที่ 2) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2554)

4. ประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วสู่พืช (phytoaccumulation coefficient) ของผักบุ้งและผักกาดหอม

phytoaccumulation คือ การกำจัด (removal) สารมลพิษรวมถึงโลหะหนักจากดินและน้ำ โดยการดูดซึม เคลื่อนย้ายสารมลพิษหรือโลหะหนักเข้าสู่พืชและการสะสม (storage) อยู่ในพืช เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายสารมลพิษไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เรียกว่า phytoaccumulation coefficient หรือ bioconcentration factor โดยพืชชนิดนั้น ๆ ควรมีค่า phytoaccumulation coefficient มากกว่า 1 จึงจัดว่าเป็นพืชที่สามารถนำมาใช้ในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนได้ (อลิสสา, 2553) คำนวณจากสูตร

$$\text{phytoaccumulation coefficient} = \frac{\text{ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในพืช (mg kg}^{-1}\text{)}}{\text{ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน (mg kg}^{-1}\text{)}}$$

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วสู่ผักบุ้ง ดังตารางที่ 24 พบว่า รอบการปลูกที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.07 ส่วนในการรอบการปลูกที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 0.15-0.16 และในกรณีของผักกาดหอม พบว่า รอบการปลูกที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 0.0009-0.0011 ส่วนในการรอบการปลูกที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 0.0048-0.0089 ดังตารางที่ 25 ซึ่งทั้งผักบุ้งและผักกาดหอมมี ประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วต่ำมากเมื่อเทียบกับ 1 จึงไม่ควรนำมาใช้เป็นพืช บำบัดในพื้นที่ที่ปนเปื้อนตะกั่วที่มีปริมาณความเข้มข้นสูง หรือสามารถนำผักทั้งสองชนิดมา รับประทานได้

ตารางที่ 24 ประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วสู่ผักบุ้ง

ตำรับการทดลอง	รอบการปลูกที่ 1			รอบการปลูกที่ 2		
	Pb (mg kg ⁻¹)			Pb (mg kg ⁻¹)		
	ดินก่อนปลูก	ผักบุ้ง	phytoaccumulation coefficient	ดินก่อนปลูก	ผักบุ้ง	phytoaccumulation coefficient
1	2.2006	0.1456	0.07	0.9198	0.1389	0.15
2	2.3802	0.1449	0.06	0.8948	0.1452	0.16
3	2.4550	0.1499	0.06	0.9448	0.1400	0.15
4	2.7654	0.1567	0.06	0.9248	0.1497	0.16

หมายเหตุ : ตำรับการทดลองที่ 1 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ ตำรับการทดลองที่ 2 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี ตำรับการทดลองที่ 3 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) และ ตำรับการทดลองที่ 4 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) + กากตะกอนมูลสุกร (ใส่ทางดิน)

ตารางที่ 25 ประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายตะกั่วสู่ผักกาดหอม

ตำรับการทดลอง	รอบการปลูกที่ 1			รอบการปลูกที่ 2		
	Pb (mg kg ⁻¹)			Pb (mg kg ⁻¹)		
	ดินก่อนปลูก	ผักกาดหอม	phytoaccumulation coefficient	ดินก่อนปลูก	ผักกาดหอม	phytoaccumulation coefficient
1	3.03945	0.0033	0.0011	0.2323	0.0020	0.0086
2	3.74505	0.0035	0.0009	0.2948	0.0026	0.0089
3	3.17825	0.0032	0.0010	0.4448	0.0021	0.0048
4	3.30395	0.0033	0.0010	0.4248	0.0023	0.0053

หมายเหตุ : ตำรับการทดลองที่ 1 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ ตำรับการทดลองที่ 2 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+ปุ๋ยเคมี ตำรับการทดลองที่ 3 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) และ ตำรับการทดลองที่ 4 คือ ดิน+ปุ๋ยชีวภาพ+น้ำทิ้งฟาร์มสุกร (จุดที่ 2) + กากตะกอนมูลสุกร (ใส่ทางดิน)

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลการปนเปื้อนของสารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) ในน้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร และเปรียบเทียบผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี น้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรจากระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชต่อปริมาณการตกค้างของสารหนู แคดเมียม ปรอท และตะกั่วในดินที่ปลูกผักบุ้งและผักกาดหอม สามารถสรุปผลดังนี้

1. ความเป็นกรด-เบสของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรมีค่า 6.9 ± 0.49 ถึง 7.7 ± 0.23
2. ปริมาณโลหะหนักที่พบในน้ำเสียและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ สารหนู 0.0598 mg L^{-1} ตะกั่ว 0.0472 mg L^{-1} แคดเมียม 0.0065 mg L^{-1} และปรอท 0.0004 mg L^{-1} แต่ปริมาณดังกล่าวต่ำกว่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม จึงสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักกับปริมาณโลหะหนักในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียน้ำทิ้ง
3. ความเป็นกรด-เบสของกากตะกอนมูลสุกรมีค่า 6.4 ± 0.22 - 7.0 ± 0.13
4. ปริมาณโลหะหนักที่พบในกากตะกอนมูลสุกร มีค่าสูงสุด คือ ตะกั่ว 3.7611 - $44.9735 \text{ mg kg}^{-1}$ รองลงมาคือ สารหนู 3.9658 - $17.4499 \text{ mg kg}^{-1}$ แคดเมียม 0.7058 - $2.6585 \text{ mg kg}^{-1}$ และปรอท 0 - $0.5054 \text{ mg kg}^{-1}$ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันในแต่ละฟาร์ม โดยค่าดังกล่าวต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 จึงสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้
5. ความเป็นกรด-เบสของดินก่อนและหลังปลูกผักบุ้งโดยเฉลี่ยมีค่า 6.7 ± 0.1 - 8.0 ± 0.2 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่า 8.1 ± 3.4 - $13.2 \pm 2.9 \text{ cmol Kg}^{-1}$
6. ปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในดินและผักบุ้งจากการใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมี น้ำทิ้งร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ และน้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พบว่า ในดินก่อนและหลังปลูกผักบุ้งมีปริมาณแคดเมียมสูงสุด $0.0613 \pm 0.0161 \text{ mg kg}^{-1}$ และ $0.0063 \pm 0.0014 \text{ mg kg}^{-1}$

สำหรับตะกั่ว $0.9448 \pm 0.1871 \text{ mg kg}^{-1}$ และ $0.3448 \pm 0.0160 \text{ mg kg}^{-1}$ ปริมาณเหล่านี้ต่ำกว่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) ในผักบุ้งมีปริมาณตะกั่วที่ตกค้างมากที่สุดในแปลงที่ใช้ปุ๋ยคอกและกากตะกอนมูลสุกรเป็นปุ๋ย $0.1497 \pm 0.0054 \text{ mg kg}^{-1}$ แต่ค่านี้ต่ำกว่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ฉบับที่ 2) จึงสามารถนำผักบุ้งมารับประทานได้

7. ปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในดินและผักกาดหอม จากการใช้น้ำชีวมวลร่วมกับปุ๋ยเคมี น้ำทิ้งร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ และน้ำทิ้งและกากตะกอนมูลสุกรร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พบว่า ในดินก่อนและหลังปลูกผักกาดหอมมากมีปริมาณแคดเมียมสูงสุด $0.0088 \pm 0.0016 \text{ mg kg}^{-1}$ และ $0.0063 \pm 0.0019 \text{ mg kg}^{-1}$ สำหรับตะกั่ว $0.4448 \pm 0.0680 \text{ mg kg}^{-1}$ และ $0.0648 \pm 0.0087 \text{ mg kg}^{-1}$ ปริมาณเหล่านี้ต่ำกว่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) ในผักกาดหอมมีปริมาณตะกั่วที่ตกค้างมากที่สุดในแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมี $0.0026 \pm 0.0005 \text{ mg kg}^{-1}$ แต่ค่านี้ต่ำกว่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ฉบับที่ 2) จึงสามารถนำผักกาดหอมมารับประทานได้

8. ไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนักในดินก่อนปลูก หลังปลูก และปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในผักบุ้งและผักกาดหอมทั้ง 2 รอบการปลูก

9. ไม่ควรใช้ผักบุ้งหรือผักกาดหอมเพื่อเป็นพืชบำบัดตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินหรือในปุ๋ย เนื่องจากมีค่า phytoaccumulation coefficient ต่ำเท่ากับ 0.16 และ 0.0089 ตามลำดับ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2546ก. **คู่มือการเลือกใช้ การดูแลและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย**
ฟาร์มสุกรตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์. ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม สำนักการจัดการ
คุณภาพน้ำ, กรุงเทพฯ.
- _____. 2546ข. **คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1**. ฝ่ายคุณภาพ
สิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.
- _____. 2552. **การสำรวจและเก็บข้อมูลอัตราการเกิดน้ำเสียและปริมาณความสกปรก**
ของแหล่งกำเนิดประเภทฟาร์มสุกร. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม,
กรุงเทพฯ.
- _____. 2553. **คู่มือการประเมินปริมาณน้ำเสียและปริมาณมลพิษจากการสุกร** สำนัก
จัดการคุณภาพน้ำ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- _____. 2555. **พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.**
2535 กฎ ประกาศ และระเบียบที่เกี่ยวข้องด้านการควบคุมมลพิษ . พิมพ์ครั้งที่ 5
(แก้ไขเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ.
- _____. 2556. **คู่มือวิธีการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสุกรประเภท ค.**
สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, กรุงเทพฯ.
- กรมปศุสัตว์. ม.ป.ป. **การจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรสำหรับเจ้าหน้าที่องค์การบริหาร**
ส่วนท้องถิ่น ภายใต้โครงการการจัดการของเสียในฟาร์มปศุสัตว์ในภาคพื้นเอเชีย
ตะวันออก. สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์. กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2551. **มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ในพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ ๒) พ.ศ.**
๒๕๕๐. สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, กรุงเทพฯ.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2548. **คู่มือปุ๋ยอินทรีย์ (ฉบับเกษตรกร)**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. **ผักสวนครัว สานสายใยรักแห่งครอบครัว. ส่วนส่งเสริมการผลิตผัก ไม้ดอกไม้ประดับ และพืชสมุนไพร**. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์. 2556ก. **ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงกระบือ สุกร รายภาค ปีงบประมาณ 2555**. แหล่งที่มา http://www.dld.go.th/ict/th/index.php?option=com_content&view=article&id=628:255&catid=253:-2554-&Itemid=123, 20 มกราคม 2556.

_____. 2556ข. **ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงกระบือ สุกร รายจังหวัด ปีงบประมาณ 2555**. แหล่งที่มา http://www.dld.go.th/ict/th/index.php?option=com_content&view=article&id=629:2554&catid=253:-2554-&Itemid=123, 20 มกราคม 2556.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546. **ของเสียอันตราย**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพฯ.

ณัฐ ตันศรีสวัสดิ์ และ ศิรินันท์ เขียมภักดี . 2550. **นิติพิษวิทยา**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิยะพร วันสม. 2549. ผลของการใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีต่อการดูดกินและสะสมโลหะหนัก
ในข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินมวกเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัชรี ธีรจินดาขจร. 2552. คู่มือวิเคราะห์ดินทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยขอนแก่น,
ขอนแก่น.

พิษณุ ตุลยกุล. 2552. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับ
โลหะหนัก (zinc และ copper) และปริมาณของเชื้อ E. coli และ Salmonella spp.
ในน้ำเสียและดินที่ได้จากฟาร์มสุกร. คณะสัตวแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

มธุรส รุจิรวัดมนั และจุฑามาศ สัตยวิวัฒน์. 2549. พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท
ทรินิตี้พับลิชชิง จำกัด, กรุงเทพฯ.

มลิวรรณ บุญเสนอ. 2549. พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม (Environmental Toxicology). พิมพ์ครั้งที่ 4.
มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, นครปฐม.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอ.เอส. พรินติ้ง
เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2550. การบำบัดน้ำสุกรแบบไร้อากาศ. สำนักงานนโยบายและ
แผนพลังงาน. กรุงเทพฯ.

ศุภมาศ พานิชศักดิ์พัฒนา. 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, ปฎิมา อุ่สูงเนิน และอุทัย คันโธ. 2555. **การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์ และน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์แบบต่าง ๆ สำหรับพืชเศรษฐกิจ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขต กำแพงแสน, นครปฐม.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2554. **พระราชบัญญัติอาหาร พร้อมกฎกระทรวง และประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 273 (พ.ศ. 2546) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (ฉบับที่ 2).** สำนักอาหาร กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

อนามัย (ธีรวิโรจน์) เทศกะทีก. 2554. **พิษสารเคมีจากการทำงานรู้ทันได้.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อดิศร จันทระภาเลิศ. 2549. **คู่มือปฏิบัติงานเดินระบบ "ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยถังหมักไร้อากาศสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก".** สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์กรมปศุสัตว์, กรุงเทพฯ.

อลิสาวังใน. 2553. **การบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ.** สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ. 2554. **ดินเพื่อการปลูกพืช.** พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ. 2553. **ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม.** พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

Alexieva D., S. Chobanova, A. Ilchev. 2007. Study on the Level of Heavy Metal Contamination in Feed Materials and Compound Feed for Pigs and Poultry in Bulgaria. *Trakia Journal of Sciences* 5 (2), pp 61-66.

APHA, AWWA and WEF. 2005. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 21st edition. American Public Health Association. Washington DC. 1,134 p.

Dobrzanski, Z., K. P-Sewerniak, S. Dragan, D. Korniewicz, K. Hoffmann and A. Korniewicz. 2010. Effect of various feed phosphates on biochemical indices of blood and mineral composition of bones in finishing pigs. **Journal of Acta Veterinaria Brno** 79 (1) : 355-361.

FAO. 1973. **Land Classification Division : Soil interpretation handbook for Thailand**. Land classification Division, Department of land development, Bangkok. 169 p.

Li, Y.X. and T.B.Chen. 2005. Concentrations of additive arsenic in Beijing pig feeds and the residues in pig manure. **Resource Conversation & Recycling** 45 : 356-367.

Mansouri, B. and M. Ebrahimpour. 2011. Heavy metal Characteristics of Wastewater Stabilization Ponds. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences** 10 (5) : 763-768.

Moral R, Perez-Murcia MD, A. Perez-Espinosa, J. Moreno-Caselles, C. Paredes, B. Rufete. 2008. Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain. **Journal of Waste Management** 28(2) : 367-71.

Nicholsona, F.A., B.J. Chambersa, J.R. Williamsb, R.J. Unwinc. 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. **Bioresource Technology** 70 (1999) 23-31

Pendias, A.K. 2001. **Trace Metals in Soil and Plants**, CRC Press, Boca Raton, 2nd edition, Florida USA

Smith, J. A. 1995. **Semi-structured interviewing and qualitative analysis**. In J. A. Smith, R. Harre, & L. van Langenhove (Eds.), *Rethinking methods in psychology*. London, Sage : 9–26.

Srivastava, N.K. and C.B. Majumder. 2008. Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, 151, 1–8.

The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2011. Priority List of Hazardous Substances. **The ATSDR 2011 Substance Priority List**. Available form : <http://www.atsdr.cdc.gov/SPL/index.html>.

Tucker, C.S. and L. R. D'Abramo. 2008. **Manage high pH in freshwater ponds**. United States Department of Agriculture. Southern regional Aquaculture Center publication, America.

Tulayakul P., A. Boonsoongnern, S. Kasemsuwan, N.Ratanavanichroj, R. Netvichian, and S. Khaodhiar. 2012. Heavy Metals, Escherichia coli and Salmonella spp. in Feeds, Reused Water, Wastewater and Manure from Swine Farms: A Case Report. **Kasetsart Journal (Natural Sciences)** 46 : 882 - 893.

U.S. Environmental Protection Agency. 1997. **Method 3051a: Microwave assisted acid dissolution of sediments, sludges, soils, and oils**. 2nd ed. U.S. Government Print. Office, Washington DC.

Ulrich R., J. Raszyk and A. Napravnik. 2001. Variations in contamination by mercury, cadmium and lead on swine farms in the district of Hodon in 1994-1999.

Veterinary Medicine-Czech 46 (5) : 132-139.

United Nations Environment Programme (UNEP). 2012. **Environmental pollution and impact on public health: Implications of the Dandora Municipal Dumping Site in Nairobi, Kenya**. Report Summary. Urban Environment Unit (UNEP), Kenya. 14 p.

Vargova, M., O.Ondrasovicova, N.Sasakova, M.Ondrasovic, K.Culenova, S. Smirjakova.

2005. Heavy metal in sewage sludge and pig slurry solids and the health and Environmental risk associated with their application to agricultural soil. **Journal of Folia Veterinaria**, 49 (3) : supplement, 28-30.

World Health Organization (WHO). 2001. **Arsenic and Arsenic Compounds (Environmental Health Criteria 224)**, 2nd edition. Geneva: World Health Organization, International Programme on Chemical Safety.



ตารางผนวกที่ 1 สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในดิน

ระดับ	pH
1. กรดรุนแรงมาก (very extremely acid)	< 4.0
2. กรดรุนแรง (extremely acid)	4.0 – 4.4
3. กรดจัดมาก (very strongly acid)	4.5 – 5.0
4. กรดจัด (strongly acid)	5.1 – 5.5
5. กรดปานกลาง (medium acid)	5.6 – 6.0
6. กรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1 – 6.5
7. กลาง (neutral)	6.6 – 7.3
8. ด่างเล็กน้อย (mildly alkaline)	7.4 – 7.8
9. ด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9 – 8.4
10. ด่างจัด (strongly alkaline)	8.5 – 9.0
11. ด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	> 9.0

2. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity ; CEC)

ระดับ	CEC (cmol / kg ⁻¹)
1. ต่ำมาก	< 3
2. ต่ำ	3 – 5
3. ค่อนข้างต่ำ	5 – 10
4. ปานกลาง	10 – 15
5. ค่อนข้างสูง	15 – 20
6. สูง	20 – 30
7. สูงมาก	> 30

ที่มา : Food and Agriculture Organization of the United Nations ; FAO (1973)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล นางสาววรัญญิตา วิวรรณมงคล
วัน เดือน ปี ที่เกิด 6 พฤษภาคม 2530
สถานที่เกิด อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา วท.บ. (เกษตรและสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน
ทุนการศึกษาที่ได้รับ ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ.2554)