

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
สัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	4
ลักษณะสมบัติทั่วไปของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	4
สารประกอบไนโตรเจนในดินและตะกอนจุลินทรีย์น้ำเสีย	9
การจัดการตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย	15
การคาดการณ์ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ในดิน	17
อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์	19
การใช้ประโยชน์ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทางด้านการเกษตร	21
การผลิตปุ๋ยหมักจากตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย	34
ลักษณะทั่วไปของพืชที่ใช้ในการศึกษา	35
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	44
ผลและวิจารณ์	52
ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินและตะกอนจุลินทรีย์	52
ปริมาณการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละแปลงปลูก	55
อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ในระดับ	
ห้องปฏิบัติการ	57
อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ในพื้นที่เพาะปลูก	61
อิทธิพลจากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชผักสวนครัว	66
ปริมาณการสะสมโลหะหนักในพืชผักสวนครัว	89

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลและวิจารณ์ (ต่อ)	
การประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคผักสวนครัวทั้ง 3 ชนิด	101
สรุปผลการทดลอง	104
ข้อเสนอแนะ	106
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	107
ภาคผนวก	113
ภาคผนวก ก การคำนวณปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และโลหะหนักที่ใส่ลงในแปลงปลูก	114
ภาคผนวก ข ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินในแปลงควบคุม	120
ภาคผนวก ค ลักษณะสมบัติของดินในแปลงก่อนปลูก-หลังเก็บเกี่ยวการเจริญเติบโตของพืช และปริมาณโลหะหนักในพืชและดิน	131

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย	5
2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของตะกอนจุลินทรีย์ที่ยังไม่ได้รับการบำบัดและได้รับการบำบัดโดยวิธีการย่อย	6
3 ปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย	7
4 จุลินทรีย์ และ โรคที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่พบในตะกอนชีวภาพ (Biological sludge)	7
5 การเปลี่ยนรูปและปฏิกิริยาทางเคมีในวัฏจักรของไนโตรเจน	11
6 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และวิธีการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ของประเทศในเขตยุโรป	15
7 Total Number และ Strain Number ของจุลินทรีย์ในตะกอนจุลินทรีย์ที่ผ่านการตากแห้งเป็นเวลา 2 เดือน	17
8 อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์แต่ละประเภท	20
9 ปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในตะกอนจุลินทรีย์	21
10 ระดับของสารอาหารที่มีอยู่ในตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดที่แตกต่างกัน	22
11 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดสำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่สามารถนำมาใส่ในดินได้และอัตราการสะสมโลหะหนักสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในดิน	25
12 อัตราการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนจากตะกอนจุลินทรีย์	26
13 ค่าแฟกเตอร์การระเหยสำหรับตะกอนจุลินทรีย์แบบต่างๆ	27
14 ประเภทดินและความสามารถสูงสุดในการรองรับธาตุอาหารสูงสุด	30
15 ความลาดชันของดินที่มีผลต่อการนำตะกอนจุลินทรีย์ไปใส่ดิน	30
16 ระยะห่างจากพื้นที่อ่อนไหวที่แนะนำ ในการนำตะกอนจุลินทรีย์ไปใส่ดิน	31
17 แปลงเพาะปลูกทดลอง	41
18 พารามิเตอร์ วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินและตะกอนจุลินทรีย์	45
19 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในแปลงปลูก	49
20 แผนการปฏิบัติงาน	50
21 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินและตะกอนจุลินทรีย์	53
22 ปริมาณความต้องการธาตุไนโตรเจนของพืชที่ใช้ในการศึกษาแต่ละชนิด	55
23 แปลงเพาะปลูกและปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ใส่ในแปลงปลูก (กิโลกรัม)	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
24 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์โดยการบ่มดินในระดับห้องปฏิบัติการ	58
25 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนจุลินทรีย์ในพื้นที่เพาะปลูก	62
26 ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการปลูก	67
27 ค่า HQ ของผู้ที่บริโภคผักสวนครัวทั้ง 3 ชนิด	103
ตารางผนวกที่	
ก1 ปริมาณการใส่ตะกอนจุลินทรีย์ในแปลงปลูก	116
ก2 ปริมาณโครเมียม และแคดเมียมที่ต้องการในแปลงเพาะปลูก	119
ข1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของดินในแปลง A	121
ข2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของดินในแปลง ARNW	122
ข3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของดินในแปลง ARNT	123
ข4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของดินในแปลง ARNS	124
ข5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของดินในแปลง ADNW	125
ข6 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของดินในแปลง ADNT	126
ข7 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของดินในแปลง ADNS	127
ข8 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของดินในแปลง ACNW	128
ข9 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของดินในแปลง ACNT	129
ข10 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของดินในแปลง ACNS	130
ค1 ลักษณะสมบัติของดินในแปลงปลูกพืชทั้ง 3 ชนิด ก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว	132
ค2 ความสูงของพืชที่ปลูกในแปลงทดลอง	135
ค3 น้ำหนักแห้งของพืชทั้ง 3 ชนิด	136
ค4 ปริมาณผลผลิตของพืชทั้ง 3 ชนิด	136
ค5 ปริมาณโลหะหนักในพืชทั้ง 3 ชนิด	137
ค6 ปริมาณโลหะหนักของดินในแปลงปลูก (ก่อนปลูก)	139

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 วัฏจักรของไนโตรเจน	10
2 กระบวนการ Nitrogen Mineralization และ Immobilization	12
3 กระบวนการไนตริฟิเคชัน	13
4 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	13
5 กระบวนการระเหยของแอมโมเนีย	14
6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสีย NH_3 กับค่า pH ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	14
7 ที่ตั้งของแปลงปลูก	39
8 ชุดตัวอย่างในการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ	46
9 แผนผังการศึกษาโดยรวม	51
10 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนสดตามเวลา	59
11 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศตามเวลา	59
12 ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนอนินทรีย์ของปุ๋ยหมักตามเวลา	60
13 ความชื้นในแปลงทดลองของดินที่ผสมตะกอนสด	62
14 ความชื้นในแปลงทดลองของดินที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	63
15 ความชื้นในแปลงทดลองของดินที่ผสมปุ๋ยหมัก	63
16 ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ที่มีอยู่ในแปลงของดินที่ผสมตะกอนสด	64
17 ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ที่มีอยู่ในแปลงของดินที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	64
18 ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ที่มีอยู่ในแปลงของดินที่ผสมปุ๋ยหมัก	65
19 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด	67
20 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	68
21 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก	68
22 ค่าการนำไฟฟ้าของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด	69
23 ค่าการนำไฟฟ้าของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	ค่าการนำไฟฟ้าของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก	70
25	ปริมาณของแข็งรวมของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด	70
26	ปริมาณของแข็งรวมของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	71
27	ปริมาณของแข็งรวมของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก	71
28	ปริมาณของของแข็งระเหยของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด	72
29	ปริมาณของของแข็งระเหยของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	72
30	ปริมาณของของแข็งระเหยของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก	73
31	ปริมาณของคาร์บอนของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด	73
32	ปริมาณของคาร์บอนของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	74
33	ปริมาณของคาร์บอนของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก	74
34	ปริมาณ TKN ของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด	75
35	ปริมาณ TKN ของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	75
36	ปริมาณ TKN ของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก	76
37	ปริมาณแอมโมเนียมของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด	77
38	ปริมาณแอมโมเนียมของดินจากแปลงที่ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	77
39	ปริมาณแอมโมเนียมของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก	78
40	ปริมาณไนเตรตของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนสด	79
41	ปริมาณไนเตรตของดินจากแปลงที่ผสมตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	79
42	ปริมาณไนเตรตของดินจากแปลงที่ผสมปุ๋ยหมัก	80
43	ปริมาณ TKN ในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง	81
44	ปริมาณแอมโมเนียมในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง	81
45	ปริมาณไนเตรตในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง	82
46	ปริมาณคาร์บอนในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง	82
47	ปริมาณฟอสฟอรัสในแปลงปลูกก่อนและหลังการทดลอง	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
48 ความสูงของผักบุ้งจีน	84
49 น้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีน	84
50 ความสูงของมะเขือเทศ	85
51 น้ำหนักแห้งของมะเขือเทศ	85
52 ความสูงของหอมแดง	86
53 น้ำหนักแห้งของหอมแดง	86
54 ผลผลิตของผักบุ้งจีน	87
55 ผลผลิตของมะเขือเทศ	88
56 ผลผลิตของหอมแดง	88
57 ปริมาณการสะสมของทองแดง (Cu) ในพืช	89
58 ปริมาณการสะสมของแคดเมียม (Cd) ในพืช	90
59 ปริมาณการสะสมของตะกั่ว (Pb) ในพืช	90
60 ปริมาณการสะสมของสังกะสี (Zn) ในพืช	90
61 ปริมาณการสะสมของนิกเกิล (Ni) ในพืช	91
62 ปริมาณการสะสมของโครเมียม (Cr) ในพืช	91
63 ปริมาณการสะสมโครเมียม (Cr) ในผักบุ้งจีน	94
64 ปริมาณการสะสมแคดเมียม (Cd) ในผักบุ้งจีน	94
65 ปริมาณการสะสมโครเมียม (Cr) ในมะเขือเทศ	95
66 ปริมาณการสะสมแคดเมียม (Cd) ในมะเขือเทศ	95
67 ปริมาณการสะสมโครเมียม (Cr) และแคดเมียม (Cd) ในหอมแดง	96
68 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียม (Cr) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในผักบุ้งจีน	97
69 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในผักบุ้งจีน	98
70 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียม (Cr) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในมะเขือเทศ	99
71 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในมะเขือเทศ	99
72 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียม (Cr) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในหอมแดง	100
73 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดิน (ก่อนปลูก) กับในหอมแดง	100

สัญลักษณ์และคำย่อ

A	แปลงควบคุม
C	แปลงที่ใส่ปุ๋ยหมัก
CEC	ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (Cation Exchange Capacity)
Cd	แคดเมียม
cm.	เซนติเมตร
Cr	โครเมียม
Cu	ทองแดง
C/N ratio	สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
D	แปลงที่ใส่ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศ
EC	ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)
g	กรัม
g/plot	กรัมต่อแปลง
H	ปริมาณโลหะหนักเท่ากับอัตราการสะสมสูงสุด
HI	Hazard Index
HQ	Hazard Quotient
HQ _{Cd}	Hazard Quotient ของแคดเมียม
HQ _{Cr}	Hazard Quotient ของโครเมียม
2H	2 เท่าของ H
K	โพแทสเซียม (Potassium)
kg/L	กิโลกรัมต่อลิตร
K _v	ค่าคงที่การระเหย
m ²	ตารางเมตร
MC	ความชื้น (Moisture Content)
mg	มิลลิกรัม
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
mg/kg dry weight	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง

สัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

mg/kg dry soil	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดินแห้ง
mS/cm	มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
N	ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับความต้องการของพืช
N ₂	ก๊าซไนโตรเจน
NH ₄ ⁺	แอมโมเนียม
Ni	นิกเกิล
N ₂ O	ก๊าซไนตรัสออกไซด์
NO ₃ ⁻	ไนเตรต
2N	2 เท่าของ N
OC	คาร์บอนอินทรีย์
ON	ไนโตรเจนอินทรีย์
Pb	ตะกั่ว
pH	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
R	แปลงที่ใส่ตะกอนสด
RfD	Reference Dose
S	หอมแดง
T	มะเขือเทศ
TKN	Total Kjeidahl Nitrogen
ton/ha	ตันต่อเฮกตาร์
Total P	ฟอสฟอรัสทั้งหมด
TS	ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)
VS	ของแข็งระเหย (Volatile Solids)
W	ผักบุ้งจีน
Zn	สังกะสี
%	ร้อยละ