รายงานการวิจัยเรื่อง

การศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต้นทุนต่ำสำหรับการปลูกข้าวไร่
The study on Producing Low Cost Organic Fertilizers for Cultivating Upland Rice

อาจารย์ยุภา ปู่แตงอ่อน
Yupa Pootaeng-on

ดร. เสาวภา เขียนงาม
Saowapar Khianngam

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
ภายใต้ชุดโครงการวิจัยเรื่อง การเพิ่มศักยภาพการผลิตข้าวไร่ภายใต้การมีส่วนร่วมของเกษตรกรในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ปีที่ดำเนินการเสร็จ พ.ศ. 2559

คำนำ

รายงานวิจัยฉบับนี้ “การศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต้นทุนต่ำสำหรับการปลูกข้าวไร่” ซึ่งเป็นโครงการวิจัยย่อยในแผนงานวิจัย “การเพิ่มศักยภาพการผลิตข้าวไร่ภายใต้การมีส่วนร่วมของเกษตรกรในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์” ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะกรรมการประจำสถาบันวิจัยและพัฒนา ซึ่งผ่านการตรวจสอบโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2558 โดยการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำทดลองการผลิตปุ๋ยอินทรีย์สูตรต้นทุนต่ำ เพื่อแก้ไขผลผลิตข้าวไร่ให้ดีขึ้นในพื้นที่สูงของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยเลือกใช้วัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่นคือดินขุย ไผ่ทดแทนการใช้มูลโคที่เป็นแหล่งของจุลินทรีย์ในการหมักปุ๋ย พร้อมกับการคัดกรองจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์จากวัตถุดิบดังกล่าว เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรในการปรับปรุงบำรุงดิน ทั้งนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใดในเอกสารฉบับนี้ผู้วิจัยใคร่ขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย และจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งหากได้รับข้อเสนอแนะและคำแนะนำในการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในโอกาสต่อไป

ผู้วิจัย

สิงหาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ซึ่งเป็นหน่วยงานสนับสนุนทุนวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดินผ่านสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ขอขอบคุณนักศึกษา ได้แก่ นางสาวณริสสา กิติชัยชาญ นางสาวนาวียา บุญงาม นางสาวมรกต ลมสถิต นางสาวธิดารัตน์ พันเต นางสาวสกุลรัตน์ เกิดมี นางสาวดวงกมล ทองถาวร และนางสาวนิสาชล โคมแก้ว ที่ช่วยดำเนินงานวิจัยจนลุล่วงด้วยความตั้งใจและทุ่มเท รวมทั้งนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชทั้งหลายที่ร่วมแรงร่วมใจ ช่วยเหลือจนงานสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณศักดา ปัญญาหาร คุณกอไก่ ปัญญาหาร และเกษตรกรชาวปกาเกอะญอทุกท่านที่เข้าร่วมกระบวนการเตรียมวัสดุและให้ความอนุเคราะห์ให้สามารถเก็บตัวอย่างฟางข้าวและดินขุยไผ่ในแปลงปลูก

ขอขอบคุณคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ในการสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์และห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2559

การศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต้นทุนต่ำสำหรับการปลูกข้าวไร่

ผู้วิจัย อาจารย์ยุภา ปู่แตงอ่อน (หัวหน้าโครงการ)
คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร
อาจารย์ ดร. เสาวภา เขียนงาม (ผู้ร่วมวิจัย)
คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร
แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2558
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีที่เสร็จ พ.ศ. 2559
ประเภทการวิจัย การวิจัยประยุกต์
สาขาวิชา สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยากลุ่มวิชาทรัพยากรพืช ทรัพยากรดิน และวิทยาศาสตร์ชีวภาพ
สาขาเศรษฐศาสตร์ กลุ่มวิชาเศรษฐศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้แบ่งเป็น 2 การทดลองด้วยกัน ได้แก่ การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต้นทุนต่ำ โดยการออกแบบสูตรปุ๋ยที่ใช้ดินขุยไผ่เป็นแหล่งจุลินทรีย์ทดแทนการใช้มูลโคเปรียบเทียบกับปุ๋ยสูตรมาตรฐาน โดยมีระยะเวลาการหมัก 63 วัน ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าใกล้เคียงกับสูตรแม่แบบ เมื่อทำการทดสอบปุ๋ยแต่ละสูตรต่อการงอกข้าวไร่และพืชผัก พบว่ามีผลช่วยเพิ่มความไวในการงอก ค่าความยาวราก รากแขนง และสามารถเพิ่มผลิตข้าวไร่ได้ การทดลองที่ 2 คือการคัดกรองจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จากตัวอย่างดินขุยไผ่ในพื้นที่ตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พบกลุ่มแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท และเชื้อราที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต ผลิตเซลลูเลส และแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ ซึ่งแสดงถึงความหลากหลายของกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการนำไปปรับใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าดินขุยไผ่สามารถนำมาใช้ทดแทนมูลโคซึ่งเป็นวัตถุดิบหายากในพื้นที่การวิจัย เพื่อช่วยในการหมักปุ๋ยอินทรีย์ต้นทุนต่ำ ปรับปรุงคุณภาพดิน และเพิ่มผลผลิตข้าวไร่ได้

คำสำคัญ : ดินขุยไผ่ ข้าวไร่ ปุ๋ยอินทรีย์ จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต เซลลูเลส แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน

The study on producing low cost organic fertilizers for cultivating upland rice

Research Miss Yupa Pootaeng-on (Project Leader)
Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology,
Silpakorn University
Dr. Saowapar Khianngam (Co-Researcher)
Faculty of Animal Sciences and Agricultural Technology,
Silpakorn University

Research Grants Fiscal Year 2015
Research and Development Institute, Silpakorn University
Year of completion 2016
Type of research Applied research
Subjects Agriculture and biology in plant natural resource, soil natural resource, biological science, economic sciences

Abstract

This research work was consisted of two experiments. First experiment was aimed to produce cheap organic composts by using bamboo residue soil, as a source of microorganisms to accelerate the decomposition process. After 63 days of incubation, the value of ratio between carbon and nitrogen was comparable to the conventional standard composts. The organic composts were produced by bamboo residue soils as a source of the microorganisms resulted in increasing germination, length of root, lateral root and yield of the upland rice. The second experiment revealed that bamboo residue soils which collected from Huaysatyai Village, Hua-Hin District, Prachuap Khiri Khan Province harbored same useful microorganisms which were able to solubilize phosphate, produce cellulase and fix nitrogen. These microorganisms included bacterial (i.e. *Bacillus, Streptomyces*) and fungi (i.e. *Aspergillus, Penicillium* and *Trichoderma*) groups. Bamboo residue soils which possessed these microbial groups could be utilized to accelerate the decomposition of organic compost. Results of this second study suggested that bamboo residue soil could be used to replace on cow dung for producing cheap organic composts in order to improve soil fertility and increase the yield of upland rice.

Keyword: Bamboo residue soil, Upland rice, Organic compost, Solubilized phosphate microbe, Cellulase, Nitrogen fixing bacteria

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
หน้าปก	ก
คำนำ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญเรื่อง	ฉ
สารบัญตาราง	ช-ญ
สารบัญภาพ	ฎ-ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
2 วัตถุประสงค์	2
3 ขอบเขตการวิจัย	2
4 ทฤษฎี แนวความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย	2
5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1 ปัญหาการขาดความอุดมสมบูรณ์ในพื้นที่สูงและวิธีการบำรุงดิน	4
2 การใช้ปุ๋ยฟางข้าวในการบำรุงดิน	4
3 ปุ๋ย	5
4 จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร	10
5 ข้าวไร่ (Upland rice)	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	17
ส่วนที่ 1 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต้นทุนต่ำ	17
การทดลองที่ 1 การเตรียมสูตรปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการหมักปุ๋ยและการประเมินการใช้ประโยชน์ได้ของปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงทดลองขนาดเล็ก	17
การทดลองที่ 2 ผลของปุ๋ยหมักฟางข้าวและดินขุยไผ่โดยใช้วัสดุจากพื้นที่เกษตรกรบนป่าละอูเขตพื้นที่ตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ต่อลักษณะในแปลงของข้าวไร่	23
ส่วนที่ 2 การคัดกรองจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินขุยไผ่	28
ส่วนที่ 3 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงเกษตรกรจากสูตรที่คัดเลือก	31
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	32
บทที่ 5 สรุปผล	140
เอกสารอ้างอิง	146
ภาคผนวก	159
ประวัตินักวิจัย	168

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.1	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุที่ใช้เตรียมของปุ๋ยหมัก	32
ตารางที่ 1.2	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุในกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 0 วัน	33
ตารางที่ 1.3	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยหมักแต่ละกอง เมื่อกองปุ๋ยหมักอายุ 63 วัน เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่รายงานโดยกรมพัฒนาที่ดิน และกรมวิชาการเกษตร	46
ตารางที่ 1.4	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อเปอร์เซ็นต์ความไวในการงอก (ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน; SD) ของข้าวไร่	50
ตารางที่ 1.5	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อความยาวราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่	51
ตารางที่ 1.6	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อคะแนนรากแขนง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่	52
ตารางที่ 1.7	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อความไวในการงอก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง	53
ตารางที่ 1.8	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อความยาวราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง	54
ตารางที่ 1.9	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อคะแนนรากแขนง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง	55
ตารางที่ 1.10	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อเปอร์เซ็นต์ความไวในการงอก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่	58
ตารางที่ 1.11	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อความยาวราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่	59
ตารางที่ 1.12	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อคะแนนรากแขนง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่	60
ตารางที่ 1.13	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อเปอร์เซ็นต์ความไวในการงอก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง	61
ตารางที่ 1.14	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อความยาวราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง	62
ตารางที่ 1.15	ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อคะแนนรากแขนง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง	63
ตารางที่ 1.16	สมบัติที่สำคัญของดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) เมื่อผสมสูตรปุ๋ยและสัดส่วนที่ต่างกันในดินก่อนปลูกข้าวไร่และผักบุ้ง	67
ตารางที่ 1.17	สมบัติที่สำคัญของดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) เมื่อผสมสูตรปุ๋ยและสัดส่วนที่ต่างกันในดินก่อนปลูกข้าวไร่และ ผักบุ้งและผักบุ้ง	68
ตารางที่ 1.18	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อคะแนนราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้งอายุ 27 วัน	71
ตารางที่ 1.19	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อคะแนนราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้งอายุ 27 วัน	72
ตารางที่ 1.20	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง อายุ 27 วัน	73
ตารางที่ 1.21	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง อายุ 27 วัน	74
ตารางที่ 1.22	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อความสูงลำต้นเหนือดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง	75
ตารางที่ 1.23	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อความสูงลำต้นเหนือดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง	76
ตารางที่ 1.24	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อคะแนนราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่อายุ 47 วัน	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.25	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อคะแนนราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่อายุ 47 วัน	78
ตารางที่ 1.26	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่อายุ 47 วัน	79
ตารางที่ 1.27	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่อายุ 47 วัน	80
ตารางที่ 1.28	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อความสูงลำต้นเหนือดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่	81
ตารางที่ 1.29	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อความสูงลำต้นเหนือดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่	82
ตารางที่ 1.30	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อการแตกกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่	83
ตารางที่ 1.31	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อการแตกกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ข้าวไร่	84
ตารางที่ 1.32	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อปริมาณธาตุอาหารหลัก (ค่าเฉลี่ย±SD) ในลำต้นส่วนเหนือดินของข้าวไร่	84
ตารางที่ 1.33	ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อปริมาณธาตุอาหารหลัก (ค่าเฉลี่ย±SD) ในลำต้นส่วนเหนือดินของข้าวไร่	86
ตารางที่ 1.34	ผลนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อลักษณะบางประการในผักบุ้ง	88
ตารางที่ 1.35	ผลนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อลักษณะบางประการในข้าวไร่	88
ตารางที่ 1.36	ผลนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อสมบัติของดินและธาตุอาหารในต้นข้าว	89
ตารางที่ 1.37	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุจากพื้นที่เกษตรที่ใช้เตรียมปุ๋ยหมัก	91
ตารางที่ 1.38	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุในกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 0 วัน	91
ตารางที่ 1.39	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) (±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน; SD) ของปุ๋ยอินทรีย์อายุหมัก 63 วัน	93
ตารางที่ 1.40	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า (Electro conductivity; EC) (µS/cm) (± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน; SE) ของวัสดุหมักตลอดระยะเวลาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์	94
ตารางที่ 1.41	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า (Electro conductivity; EC) (µS/cm) (±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน; SD) ของปุ๋ยอินทรีย์อายุหมัก 63 วัน	95
ตารางที่ 1.42	สรุปองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ ระยะเวลาหมัก 63 วัน	99
ตารางที่ 1.43	เปอร์เซ็นต์การงอก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของเมล็ดข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ	105
ตารางที่ 1.44	อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อค่าเฉลี่ยความสูง (±SD) (เซนติเมตร) ของต้นข้าวที่อายุ 30 วัน	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1.46	อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อจำนวนหน่อต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่ ที่อายุ 30 วัน ที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรต่างๆ	107
ตารางที่ 1.47	ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยต่อจำนวนหน่อต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่ที่อายุ 30 วัน	108
ตารางที่ 1.48	อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่ อายุ 30 วัน	109
ตารางที่ 1.49	ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ค่าเฉลี่ย±SD) (เซนติเมตร) ของข้าวไร่ อายุ 30 วัน	110
ตารางที่ 1.50	อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อจำนวนหน่อต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่ อายุ 60 วัน	111
ตารางที่ 1.51	ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยต่อจำนวนหน่อต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของของข้าวไร่ (หน่อ) อายุ 60 วัน	112
ตารางที่ 1.52	ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ค่าเฉลี่ย±SD) (เซนติเมตร) ของข้าวไร่ที่อายุ 60 วัน	113
ตารางที่ 1.53	อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ค่าเฉลี่ย±SD) (เซนติเมตร) ของข้าวไร่อายุ 60 วัน	114
ตารางที่ 1.54	อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อน้ำหนักผลผลิตเมล็ดต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่ ที่อายุ 60 วัน	114
ตารางที่ 1.55	ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยต่อแสดงน้ำหนักผลผลิตเมล็ดข้าวต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) (กรัมต่อกอ) ของข้าวไร่ที่อายุ 60 วัน	115
ตารางที่ 1.56	ผลนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต	116
ตารางที่ 2.1	ลักษณะของตัวอย่างดิน S1-S25 และวันที่ถูกเก็บ	118
ตารางที่ 2.2	ไอโซเลทแบคทีเรียที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า PSI บนอาหารแข็ง PVK และแสดงค่าการละลายฟอสเฟต (PS ((มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร))	120
ตารางที่ 2.3	ไอโซเลทแบคทีเรียแอคติโนมัยซีทที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า PSI บนอาหารแข็ง PVK และแสดงค่าการละลายฟอสเฟต (PS ((มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร))	122
ตารางที่ 2.4	ไอโซเลทเชื้อราที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า PSI บนอาหารแข็ง PVK และแสดงค่าการละลายฟอสเฟต (PS ((มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร))	124
ตารางที่ 2.5	การระบุเอกลักษณ์ของไอโซเลทราที่ละลายฟอสเฟตโดยอาศัยลักษณะโคโลนี ลักษณะเส้นใยและสปอร์	125
ตารางที่ 2.6	ไอโซเลทแบคทีเรียที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า HC บนอาหารแข็ง CMCb และแสดงกิจกรรมเซลลูเลส (IU/ml)	128

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.7	ไอโซเลทแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยซีทที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า HC บนอาหารแข็ง CMCa และแสดงกิจกรรมเซลลูเลส (IU/ml)	129
ตารางที่ 2.8	ไอโซเลทเชื้อราที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า HC บนอาหารแข็ง CMCf และแสดงกิจกรรมเซลลูเลส (IU/ml)	131
ตารางที่ 2.9	การระบุเอกลักษณ์ของไอโซเลทราที่ผลิตเซลลูเลสโดยอาศัยลักษณะโคโลนี ลักษณะเส้นใยและสปอร์	132
ตารางที่ 2.10	แบคทีเรียไอโซเลทที่แสดงค่า Zone of coloration (ZC)	134
ตารางที่ 3.1	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยหมักในแปลงเกษตรกร เมื่อกองปุ๋ยหมักอายุ 63 วัน เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่รายงานโดยกรมพัฒนาที่ดิน และกรมวิชาการเกษตร	137

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

ภาพที่ 1.1	การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลา 9 สัปดาห์ของปุ๋ยหมัก	34
ภาพที่ 1.2	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูตรมาตรฐานตามแบบกรมพัฒนาที่ดิน ตลอดระยะเวลาการหมัก	34
ภาพที่ 1.3	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูตรมาตรฐานตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ตลอดระยะเวลาการหมัก	35
ภาพที่ 1.4	การแปลงเปลี่ยนอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาตลอดช่วงการหมักของกองปุ๋ยที่มีการปรับสัดส่วนโดยมีฟางข้าว: เศษพืชสด : มูลสัตว์ : ดินขุยไผ่ (3 : 1 : 0.25 : 0.75 โดยปริมาตร)	35
ภาพที่ 1.5	การแปลงเปลี่ยนอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาตลอดช่วงการหมักของกองปุ๋ยที่มีการปรับสัดส่วนโดยมีฟางข้าว: เศษพืชสด : มูลสัตว์ : ดินขุยไผ่ (3 : 1 : 0.25 : 0.75 โดยปริมาตร) และมีการดูแลการให้น้ำต่ำกว่าระดับปกติ	36
ภาพที่ 1.6	การแปลงเปลี่ยนค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาตลอดช่วงการหมักของกองปุ๋ยแต่ละกอง	37
ภาพที่ 1.7	การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก	38
ภาพที่ 1.8	การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดของวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก	39
ภาพที่ 1.9	การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุทั้งหมดของวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก	40
ภาพที่ 1.10	การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก	41
ภาพที่ 1.11	แสดงการเปลี่ยนของเปอร์เซ็นต์ของ P_2O_5 ในวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก	42
ภาพที่ 1.12	การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ K_2O ในวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก	43
ภาพที่ 1.13	การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในกองปุ๋ยหมัก ในแต่ละสัปดาห์ของกองปุ๋ยหมัก	44
ภาพที่ 1.14	การเปลี่ยนค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก	45
ภาพที่ 1.15	ลักษณะกองปุ๋ยสูตรตามสูตรกรมวิชาการเกษตร	47
ภาพที่ 1.16	ลักษณะกองปุ๋ยตามสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1	47
ภาพที่ 1.17	ลักษณะกองปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ที่ให้น้ำตามปกติ	47
ภาพที่ 1.18	ลักษณะกองปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่และดูแลกองปุ๋ยด้วยการให้น้ำต่ำกว่าปกติ	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
ภาพที่ 1.19	(ก) เกณฑ์การให้คะแนนรากของผักบุ้งอายุ 27 วัน และ (ข) เกณฑ์การให้คะแนนของรากข้าวไร่อายุ 47 วัน	70
ภาพที่ 1.20	ค่าเฉลี่ยความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ในกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์	92
ภาพที่ 1.21	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ของวัสดุหมักตลอดระยะเวลาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์	93
ภาพที่ 1.22	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า (Electro conductivity; EC) ของวัสดุหมักตลอดระยะเวลาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์	95
ภาพที่ 1.23	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์	96
ภาพที่ 1.24	ค่าเฉลี่ยอินทรีย์วัตถุ (%) ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์	97
ภาพที่ 1.25	ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมด (%) ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์	98
ภาพที่ 1.26	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์	98
ภาพที่ 1.27	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์	100
ภาพที่ 1.28	จำนวนแบคทีเรีย (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T2 ที่ผ่านการหมัก ณ เวลา 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน	100
ภาพที่ 1.29	จำนวนแบคทีเรีย (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T3 ที่ผ่านการหมัก ณ เวลา 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน	101
ภาพที่ 1.30	จำนวนแบคทีเรีย (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T4 ที่ผ่านการหมัก ณ เวลา 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน	101
ภาพที่ 1.31	จำนวนแบคทีเรีย (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T5 ที่ผ่านการหมัก ณ เวลา 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน	102
ภาพที่ 1.32	จำนวนเชื้อรา (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T1 ที่ผ่านการหมัก ณ เวลา 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน	102
ภาพที่ 1.33	จำนวนเชื้อรา (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T2 ที่ผ่านการหมัก ณ เวลา 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน	103
ภาพที่ 1.34	จำนวนเชื้อรา (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T3 ที่ผ่านการหมัก ณ เวลา 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน	103
ภาพที่ 1.35	จำนวนเชื้อรา (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T4 ที่ผ่านการหมัก ณ เวลา 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน	104
ภาพที่ 1.36	จำนวนเชื้อรา (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T5 ที่ผ่านการหมัก ณ เวลา 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน	104
ภาพที่ 2.1	การเกิดวงใสล้อมรอบโคโลนีของแบคทีเรียบนอาหาร PVK	119

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
ภาพที่ 2.2	ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rRNA gene sequence ของแบคทีเรียไอโซเลท S3PB2-2, S13PB1-1 และสกุล *Bacillus*	121
ภาพที่ 2.3	ลักษณะโคโลนีของไอโซเลท S13PA1-1 บนอาหาร YSA	123
ภาพที่ 2.4	ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rRNA gene sequence ของแบคทีเรียแอคติโนมัยซีทไอโซเลท S13PA1-1 และสกุล *Streptomyces* โดยมี *Actinomadura hibisca* JCM9627T เป็น Outgroup	123
ภาพที่ 2.5	ลักษณะโคโลนีของไอโซเลท S17PF1-1 และ S23PF1-2 ที่ถูกจัดอยู่ในจีนัส *Penicillium*	125
ภาพที่ 2.6	ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ ITS regions ของเชื้อรา S17PF1-1, S22PF1-2 และ S23PF1-2	126
ภาพที่ 2.7	การเกิดวงใสล้อมรอบโคโลนีของแบคทีเรียไอโซเลท S13-5 บนอาหาร CMCb	127
ภาพที่ 2.8	ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิว คลีโอไทด์ของ 16S rRNA ของแบคทีเรียไอโซเลท S13-5, S16-3 และสกุล *Bacillus*	129
ภาพที่ 2.9	การเกิดวงใสล้อมรอบโคโลนีของแอคติโนมัยซีทไอโซเลท SA4-3-1 บนอาหาร CMCa	130
ภาพที่ 2.10	ลักษณะโคโลนีของไอโซเลท SA19-1-1 บนอาหาร YSA	130
ภาพที่ 2.11	การเกิดวงใสล้อมรอบโคโลนีของเชื้อราไอโซเลท SF24-6 บนอาหาร CMCf	132
ภาพที่ 2.12	ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ ITS regions ของเชื้อราไอโซเลท SF20-5, SF24-4 และ SF24-6	133
ภาพที่ 2.13	บริเวณสีน้ำเงินที่ล้อมรอบโคโลนีของไอโซเลท S4NN5-1	134
ภาพที่ 2.14	ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rRNA ของตัวแทนแบคทีเรียไอโซเลท S2NN5-1, S6NN4-1, S5NN1-1 และสกุล *Bacillus*	136
ภาพที่ 3.1	ก) เกษตรกรผู้ร่วมการวิจัยผู้ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่และวัสดุทำปุ๋ยหมัก ข) บริเวณพื้นที่ที่เตรียมกองปุ๋ยหมัก ค) กองฟางของเกษตรกร และ ง) เกษตรกรและนักศึกษาร่วมกันขุดเตรียมดินขุยไผ่	138
ภาพที่ 3.2	ก) และ ข) การวางวัสดุทำปุ๋ยหมัก ค) ภาพกองปุ๋ยหมักที่ผ่านกระบวนการหมัก และ ง) ลักษณะปุ๋ยหมักที่เตรียมได้ 139	139