การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักผักตบชวาด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana* ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

กชกร ชาวเวียง

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
เมษายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักผักตบชวาด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana* ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

กชกร ชาวเวียง

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
เมษายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

QUALITY IMPROVEMENT OF WATER HYACINTH COMPOST USING *PHERETIMA PEGUANA* EARTHWORMS AS FEEDSTOCK FOR ORGANIC FERTILIZER GRANULATION PRODUCTION AND THE EFFECT OF FERTILIZERS ON GROWTH AND YIELD COMPONENTS OF RICEBERRY RICE

KOTCHAKORN CHARWWIANG

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Science Degree in Agricultural Science

April 2020

Copyright 2019 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักผักตบชวาด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana* ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

ของ กชกร ชาวเวียง

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภธิดา อ่ำทอง)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. บุญร่วม คิดค้า)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ทิตย์วรรณ)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไวพจน์ กันจู)

..... คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญฤทธิ์ สินค้างาม)

เรื่อง: การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักผักตบชวาด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana* ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

ผู้วิจัย: กชกร ชาวเวียง, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์การเกษตร), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2562

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร. บุญร่วม คิดค้า อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ทิตย์วรรณ ดร.วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก

คำสำคัญ ปุ๋ยหมักผักตบชวา, ไส้เดือนดิน, ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ไส้เดือนดิน *Pheretima peguana* ในการปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวา ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด รวมถึงผลของปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ผลการทดลอง พบว่า การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ใช้ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วัน ปริมาณ 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และใส่ไส้เดือนดิน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพโดยรวมที่ดีที่สุด โดยมีการย่อยสลายที่ค่อนข้างสมบูรณ์ ลักษณะเป็นเม็ด มีสีดำ เมื่อนำไปใช้ผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ในการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดโดยใช้แร่ลิโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1:3:1:4 ทำให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีคุณภาพสูง โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 29.85 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.22, 4.20 และ 3.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำปุ๋ยที่มีส่วนผสมดังกล่าวไปผลิตในสายพานการผลิตของโรงงานที่ใช้ระบบจานปั้นเม็ด พบว่าได้ขนาดที่ได้มาตรฐาน 81.10 เปอร์เซ็นต์ มีขนาดที่ไม่ได้มาตรฐานจากกระบวนการผลิต 18.90 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพของปุ๋ยโดยรวมมีความสม่ำเสมอ มีค่าความชื้นเท่ากับ 21.24 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.76 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 3.86 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 22.07 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 9.63 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.34 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 4.94 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับ 1.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้คุณภาพที่สอดคล้องกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 รวมถึงการมีต้นทุนในการผลิตปุ๋ยเท่ากับ 5,354.54 บาทต่อตัน มีอัตรากำไรต่อต้นทุน เท่ากับ 49.41 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำปุ๋ยที่ผลิตได้ไปใช้ในการปลูกข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ในระดับโรงเรือนพบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตโดยรวมที่ดีที่สุด โดยมีความสูงของต้นข้าวที่อายุ 138 วัน (วันเก็บเกี่ยว) เท่ากับ 103.20 เซนติเมตร และมีผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 550.67 กิโลกรัมต่อไร่

Title: QUALITY IMPROVEMENT OF WATER HYACINTH COMPOST USING *PHERETIMA PEGUANA* EARTHWORMS AS FEEDSTOCK FOR ORGANIC FERTILIZER GRANULATION PRODUCTION AND THE EFFECT OF FERTILIZERS ON GROWTH AND YIELD COMPONENTS OF RICEBERRY RICE

Author: Kotchakorn Charwwiang, Thesis: M.Sc. (Agricultural Science), University of Phayao, 2019

Advisor: Dr. Bunraum Khitka Co-advisor Associate Professor Dr.Manas Titayavan Dr.Wipornpan Nuangmek

Keyword Water hyacinth compost Earthworm Granular organic fertilizer

ABSTRACT

Experiments were aimed at using tropical composting earthworm *Pheretima peguana* to improve the quality of water hyacinth compost as feedstock for pelletizing fertilizer. The effect of fertilizers on growth and yield components in riceberry rice was also investigated. The results showed that the excellent vermicompost characteristics was made from 7 kg of water hyacinth compost in a 30 days process in combination with 3 kg of cow manure and the worms were introduced at 500 g per square meter. The results of quality improvement of organic fertilizer pellets under laboratory conditions revealed that feedstock that provides optimal amount of organic matter 29.85%, total nitrogen 1.22%, total phosphorus 4.20%, and total potassium 3.89%, were obtained from leonardite: basalt rock powder :vermicompost production from water hyacinth :swine manure :chicken manure mixed in the ratio of 1:1:3:1:4 by weight. However, the manufacture of fertilizer obtained products with a consistently quality standard size 81.10%, contained moisture content 21.24%, pH value 7.76, electrical conductivity 3.86 dS/m, organic matter content 22.07%, C/N ratio 9.63, total nitrogen 1.34%, total phosphorus 4.94%, and total potassium 1.13%, respectively. The quality of organic fertilizer granules was found to comply with the requirement of the fertilizer Act and quality standards 1975. The production cost averaged ฿ 5,354.54 per ton with profit margin 49.41%. The effect of fertilizers on growth and yield components in riceberry rice was conducted under greenhouse conditions. The results showed that treatment of granule fertilizer 1,000 kg per rai produced the maximum growth and overall yield components plant height at 138 days after transplanting was 103.20 cm and grain yield per rai was up to 550.67 kg.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร. บุญร่วม คิดค้า ประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างยิ่ง ที่กรุณามอบโอกาสทางการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา คอยให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มนัส ทิตย์วรรณ และ ดร. วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภธิดา อ่ำทอง ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร. ไวพจน์ กันจู กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ชี้แนะแนวทาง และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตร์การเกษตร นักวิทยาศาสตร์ คณาจารย์ และบุคลากรของคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ทุก ๆ ท่าน ที่คอยอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน และให้คำปรึกษาตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณวรวิทย์ บูรณศิริ ที่อำนวยการให้งานวิจัยเป็นไปอย่างราบรื่น และคุณปรเมศวร์ ยอดเกตุ รวมถึงบุคลากรทุกท่านขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ตลอดจนโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์จังหวัดพะเยาร่วมกับองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยาที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ของการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ที่คอยดูแล สนับสนุนการศึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ ทุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม ระดับปริญญาโท (พวอ.) โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประจำปี 2560 (MSD60I0127) ที่สนับสนุนงบประมาณในการเล่าเรียนและทุนทำวิจัย ตลอดจนโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์จังหวัดพะเยาร่วมกับองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยาที่อำนวยความสะดวก และสนับสนุนวัตถุดิบ รวมถึงสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

กชกร ชาวเวียง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด 4

วัตถุดิบหลักในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงปุ๋ยอินทรีย์ จังหวัดพะเยา 5

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงปุ๋ยอินทรีย์ จังหวัดพะเยา 8

ปุ๋ยอินทรีย์ 8

เทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน 10

พืชที่ใช้ทดสอบปุ๋ย 17

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 18

ปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana* 18

การคัดเลือกวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ระดับห้องปฏิบัติการ 19
คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากสายพานการผลิตของโรงงาน 20
ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 22
ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ ไรซ์เบอร์รี่ ในระดับโรงเรือน 22
บทที่ 4 ผลการทดลอง 25
ปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana* 25
การคัดเลือกวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดระดับห้องปฏิบัติการ 30
คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากสายพานการผลิตของโรงงาน 34
ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 38
ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ ไรซ์เบอร์รี่ ในระดับโรงเรือน 40
บทที่ 5 บทสรุป 48
สรุปผลการวิจัย 48
อภิปรายผลการวิจัย 50
ข้อเสนอแนะ 55
บรรณานุกรม 56
ภาคผนวก 62
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ 63
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ดิน 69
ประวัติผู้วิจัย 77

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 รายละเอียดข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดไม่เป็นของเหลว 9

ตาราง 2 ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ที่ใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ ขี้ตาแร่ย่อยสลาย 11

ตาราง 3 ชนิดและอัตราส่วนของวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด.....20

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา 28

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในระดับห้องปฏิบัติการ.....33

ตาราง 6 ประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อรุ่นที่ทำการผลิตในสายพานการผลิตของโรงงาน.....34

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในสายพานการผลิตของโรงงาน.....36

ตาราง 8 ผลการส่งตรวจตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 37

ตาราง 9 ต้นทุนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด.....39

ตาราง 10 ผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด.....39

ตาราง 11 คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการทดลอง 40

ตาราง 12 คุณสมบัติทางกายภาพของดินหลังทำการทดลอง..... 41

ตาราง 13 ประเภทของโครงสร้างของดินหลังการทดลอง 42

ตาราง 14 ความสูงของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่.....43

ตาราง 15 ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดในต้นข้าว.....45

ตาราง 16 องค์ประกอบของผลผลิตข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่.....47

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 การเปรียบเทียบปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา.....29

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ในแต่ละขั้นตอนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีน้อยมาก แต่ชนิดของวัสดุอินทรีย์ที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มีผลต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตเป็นอย่างมาก กัญจน์กรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช (2554) ปุ๋ยหมักผักตบชวาจัดเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานที่ร่วมวิจัย เนื่องจากวิธีการทำปุ๋ยหมักผักตบชวาของโรงงานเป็นการนำผักตบชวาจากกว๊านพะเยามาทำเป็นกองสูงบนพื้นซีเมนต์และปล่อยให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายที่ค่อนข้างนาน อีกทั้งเนื้อปุ๋ยที่ได้จากการหมักยังมีลักษณะเป็นเส้น ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจเกิดจากผักตบชวามีปริมาณเฮมิเซลลูโลส 22.00–43.40 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลส 17.80–31.00 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 7.00–26.36 เปอร์เซ็นต์ (Gunnarsson and Petersen, 2007) เมื่อนำปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ได้ไปเป็นส่วนผสมในการผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดโดยทำการผลิตในสายพานการผลิตของโรงงาน ทำให้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้มีคุณสมบัติทางเคมี และขนาดของเม็ดปุ๋ยที่ไม่มีความสม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องหาวิธีการหรือเครื่องมือมาช่วยในการผลิตปุ๋ยหมักผักตบชวาให้ย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ และมีคุณสมบัติทางเคมีที่ดีมากขึ้น

การใช้ไส้เดือนดินกับปุ๋ยหมักผักตบชวา จึงเป็นแนวทางที่จะช่วยแก้ปัญหาด้านคุณภาพและช่วยลดระยะเวลาในการหมักได้ เนื่องจากไส้เดือนดินมีลักษณะการกินอาหาร (ซากอินทรีย์) และการอยู่อาศัยในแง่ของการย่อยสลายซากอินทรีย์ในดิน (soil organic matter; SOM) เปลี่ยนรูปของธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ อีกทั้งไส้เดือนยังแพร่ขยายพันธุ์ได้เร็ว และเหมาะต่อการนำมาใช้กำจัดขยะอินทรีย์ (Padmavathiamma, Li and Kumari, 2008; ภฤศญา ปิยนุสรณ์ และวรรณี สุทธใจดี, 2555; อานัฐ ตันโช, 2550) จากรายงาน สกุลเทพ ชูพงษ์, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ และพิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร (2559) พบว่า ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจากวัสดุผสมผักตบชวา มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 8.2 ค่าการนำไฟฟ้า 1.86 เดซิซีเมนต่อเมตร ค่าอินทรียวัตถุเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ ค่าธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.44, 1.05 และ 2.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana* ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดหลังปรับปรุงคุณภาพ ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ เนื่องจากข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย จากสถิติการผลิตข้าวปี 2559 ถึง 2560 มีเนื้อที่เพาะปลูก 68.23 ล้านไร่ ผลผลิต 31.80 ล้านตันข้าวเปลือก (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) แต่ปัญหาที่สำคัญในการปลูกข้าวปัจจุบัน พบว่ามีต้นทุนในการผลิตที่สูงแต่ได้ผลผลิตข้าวต่ำจึงต้องมีการจัดการที่ดีเพื่อลดต้นทุนการผลิต อย่างเช่น ปุ๋ยที่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต ปุ๋ยอินทรีย์จึงเป็นแนวทางสำคัญที่จะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง เนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถทำเองได้ และมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อพืชสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพของดิน (Sotolu, 2010; สุลีลัก อารักษณ์ธรรม และสุชาดา สานุสันต์, 2557)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *P. peguana* ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดหลังปรับปรุงคุณภาพ ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *P. peguana* เพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
2. ทำการคัดเลือกวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาเป็นส่วนผสม ในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้ชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) และโพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) ไม่น้อยกว่า 1, 0.5 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
3. คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากสายพานการผลิตของโรงงาน เพื่อให้ได้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ขนาดเม็ดปุ๋ยและคุณภาพของปุ๋ยตามข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวตามมาตรฐานตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร
4. ศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

5. ทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ในระดับโรงเรือน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้แนวทางการประยุกต์ใช้ไส้เดือนดินในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาที่มีคุณภาพตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร

2. ได้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีคุณภาพดี มีปริมาณธาตุอาหารเป็นไปตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร

3. โรงงานปุ๋ยที่ร่วมวิจัยสามารถปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด ประกอบด้วยหลายขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการตีป่นหรือการบดวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นปุ๋ยอัดเม็ด แต่ละชนิดจะมีขนาดที่แตกต่างกัน หากบางชนิดมีขนาดใหญ่ จะเป็นปัญหาในขั้นตอนการปั้นเป็นเม็ด ต้องทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลง โดยใช้เครื่องตีป่น โดยทั่วไปเครื่องตีป่นจะมีแผ่นเหล็กที่มีรูตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร ไว้สำหรับคัดกรองขนาดของวัตถุดิบที่ผ่านการบด ถ้าวัตถุมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของตะแกรงจะถูกหมุนเวียนเข้าเครื่องตีป่นใหม่จนได้ขนาดที่สามารถผ่านตะแกรงกรองของเครื่องได้ (พลฤทธิ์ ทองคลี่, 2561)

2. ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ

การผสมวัตถุดิบจะทำการผสมในเครื่องผสม วัตถุดิบที่นำมาผสมปุ๋ยอินทรีย์มักจะมีปริมาณธาตุอาหารน้อย ผู้ผลิตจึงนิยมนำวัตถุดิบอื่น ๆ มาผสมรวมกันหลายชนิด เพื่อช่วยในการเพิ่มธาตุอาหารและช่วยปรับสภาพดินให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก ขั้นตอนนี้ต้องทำการผสมวัตถุดิบแต่ละชนิดให้เข้ากันเป็นอย่างดีก่อนที่จะทำการอัดเม็ด (เชาว์วัช หนูทอง, 2550)

3. ขั้นตอนการปั้นหรืออัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ (มงคล ตะอุ่น และคณะ, 2551)

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด เครื่องจักรที่ใช้จะมี 2 ลักษณะ คือ

1. เครื่องจักรที่ใช้ในการอัดเม็ดปุ๋ย ปุ๋ยที่ได้จะมีลักษณะเป็นท่อน แบ่งเป็น 3 แบบ ได้แก่ เครื่องบดแบบแรงหมุน ลักษณะการทำงานของเครื่องจะมีเกลียวอัดที่พาวัตถุดิบอัดกับแป้นที่มีรูพรุน ปุ๋ยที่ออกมามีลักษณะเป็นเส้น ต้องใช้พายปาดให้ปุ๋ยแยกเป็นเม็ดเอง เครื่องจะทำงานโดยใช้มือหมุนเพื่อให้เกลียวทำงาน หากแรงอัดหรือความเร็วในการหมุนไม่มีความสม่ำเสมอ อัตราในการผลิตปุ๋ยที่ได้จะไม่แน่นอน ชนิดที่สอง คือ เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยแบบมินเซอร์ (mincer) ลักษณะการทำงานของเครื่อง จะทำงานทั้งบดและอัดอยู่ในตัวเดียวกัน โดยวัตถุดิบถูกลำเลียงไปตามเกลียวอัดภายในสู่หน้าแป้นที่มีรูพรุนให้วัตถุดิบถูกอัดผ่านออกมา ขนาดของเม็ดปุ๋ยจะขึ้นอยู่กับ รูพรุนที่หน้าแป้น วัตถุดิบที่นำมาใช้กับเครื่อง ควรจะมีความชื้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เพราะกระบวนการอัดในเครื่องจะมีแรงเสียดทานเกิดขึ้น เครื่องทำงานโดยมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนเป็นต้นกำลังจากเครื่องยนต์ดีเซลหรือเบนซินได้ ความสามารถในการผลิตของเครื่องขึ้นอยู่กับขนาดแรงม้าของมอเตอร์ ทำให้มีรอบการหมุนที่

แน่นอนและแรงอัดที่คงที่ และชนิดที่สาม คือ เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยแบบอัดเม็ดออกด้านข้าง (pellet mill) ลักษณะการทำงานของเครื่องภายในจะมีการผ่านไอน้ำเพิ่มความชื้นให้กับวัตถุดิบก่อนส่งไปยังส่วนอัดเม็ด มีการควบคุมอุณหภูมิและความดันในตัวเครื่อง ซึ่งเครื่องจะมีลูกกลิ้ง 2 ตัว หมุนไปในทิศทางเดียวกัน ทำหน้าที่บดอัดวัตถุดิบผ่านหน้าแป้นที่มีรูพรุนออกมาทางด้านข้าง และจะมีใบมีดตัดปุ๋ยให้เป็นเม็ดโดยอัตโนมัติ เครื่องทำงานได้โดยอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าและต้นกำลังจากเครื่องยนต์ดีเซลหรือเบนซิน

2. เครื่องจักรที่ใช้ในการปั้นเม็ดปุ๋ย ปุ๋ยที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดกลม คือ จานปั้นเม็ด ทำงานโดยการหมุนรอบตัวเองในลักษณะแนวแกนเอียง ด้านหลังจานจะมีมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการหมุนจาน บริเวณท้องจานเป็นส่วนที่ใส่วัตถุดิบ การทำงานเริ่มจากส่งวัตถุดิบให้ไหลไปปั้นอยู่ในส่วนของวงกลมด้านใน โดยจะมีการฉีดพ่นน้ำเพื่อเป็นตัวประสานเนื้อปุ๋ยเข้าด้วยกันจนเกิดการขึ้นเม็ด เมื่อเป็นเม็ดแล้วจะไหลต่อไปคลึงที่วงกลมด้านนอก ส่วนของหน้าจานจะมีแท่งเหล็กที่ติดแผ่นเหล็กแบนยื่นออกมาเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้เนื้อปุ๋ยไม่ติดท้องจานและเป็นตัวปะทะให้ปุ๋ยกลิ้งออกไปคลึงต่อที่ขอบนอก เม็ดปุ๋ยที่ได้จะไหลออกนอกจานที่มีสายพานมารองรับ เพื่อไปยังกระบวนการต่อไป

4. ขั้นตอนการลดความชื้น

เป็นขั้นตอนที่นำปุ๋ยเม็ด ไปตาก ผึ่งลม หรือใช้เครื่องอบ เพื่อลดความชื้นให้เหลือประมาณ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเครื่องอบปุ๋ยอัดเม็ด จะทำงานโดยลำเลียงปุ๋ยเม็ดเข้าสู่ท่ออบ ซึ่งจะเริ่มด้วยการอบร้อนผ่านท่อ หลังจากนั้นปุ๋ยเม็ดจะถูกลำเลียงสู่ท่ออบเย็น (พลฤทธิ์ ทองคลี่, 2561)

วัตถุดิบหลักในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงปุ๋ยอินทรีย์ จังหวัดพะเยา

1. มูลสุกร

สารอาหารที่สุกรกิน 60 เปอร์เซ็นต์ จะถูกขับถ่ายออกมาเป็นอุจจาระและปัสสาวะ โดย ปริมาณของสิ่งขับถ่ายและธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับขนาดสุกร คุณภาพอาหาร และสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงสุกร ปริมาณธาตุอาหารที่ได้จากสุกรที่มีน้ำหนักตัว 100 กิโลกรัม ให้ไนโตรเจน 19–64 กรัม ไนโตรเจนต่อวัน ฟอสฟอรัส 11–20 กรัม ฟอสฟอรัสต่อวัน และโพแทสเซียม 8–48 กรัม โพแทสเซียมต่อวัน (ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2556)

2. มูลไก่

มูลไก่จะมีความแตกต่างกันตามสภาพของการเลี้ยง คือ มูลไก่ไข่ที่เลี้ยงในกรงตับ ไม่มีวัสดุรองพื้น (litter material) และมูลไก่กระทงซึ่งจะเลี้ยงรวมกันบนพื้นคอก เป็นดินหรือพื้นคอนกรีต โดยมีวัสดุรองพื้นคอก เช่น แกลบ ขี้เลื่อย หรือวัสดุอื่น ๆ จะใช้รองพื้นคอก เพื่อดูดความชื้นน้ำที่ใช้เลี้ยงไก่และสิ่งที่ไก่ขับถ่ายออกมา เมื่อวัสดุรองพื้นหมดอายุการใช้งานก็จะนำไปเป็นวัสดุบำรุงดิน มูลไก่มีธาตุอาหารที่สูงกว่ามูลสัตว์อื่น ๆ โดยมูลไก่ 1,500 กิโลกรัม จะให้ปริมาณไนโตรเจน 43.3 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 16 กิโลกรัม โพแทสเซียม 26.4 กิโลกรัม แคลเซียม 26.2 กิโลกรัม แมกนีเซียม 7.2 กิโลกรัม ซัลเฟอร์ 7.2 กิโลกรัม แมงกานีส 0.3–0.8 กิโลกรัม ทองแดง 0.3–0.8 กิโลกรัม และสังกะสี 0.3–0.8 กิโลกรัม ซึ่งเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด (ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2556)

3. ลีโอนาร์ไดต์ (leonardite)

เกิดจากการผุพังตามธรรมชาติของถ่านหินชนิดลิกไนต์ มีลักษณะนุ่มไม่แข็งตัว มีสีน้ำตาลอ่อนถึงดำ เกิดจากการผุพังสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ ด้วยกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ ปกติพบอยู่ในแหล่งถ่านหินที่มีความลึกไม่มาก โดยส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของฮิวมัส (humus) กรดฟูลวิค (fulvic acid) กรดฮิวมิค (humic acid) และฮิวมีน (humin) หรือเรียกรวมว่าสารฮิวมิค (humic substances) มีคุณสมบัติในการรักษาโครงสร้างดินให้อุ้มน้ำ ระบายอากาศได้ดี มีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร สามารถยึดประจุบวกของธาตุอาหารเสริมภายใต้สภาวะหนึ่งและจะปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นเมื่อสภาวะเปลี่ยนไป (วิวัฒน์ โตธิรกุล, พลยุทธ ศุขสมิติ และจินดารัตน์ โตกมลธรรม, 2552)

4. บะซอลต์ (basalt)

หินอัคนีพุชนิดหนึ่งเกิดจากภูเขาไฟ มีเนื้อละเอียด สีเข้ม เช่น เทาแก่ น้ำตาลถึงดำ สนิท เหมาะสำหรับการเพาะปลูกพืช ประกอบด้วยแคลซิกแพลจิโอเคลสชนิดแลบราโดไรต์ หรือไบโทว์ไนต์และไพรอกซีนเป็นส่วนใหญ่ หินบะซอลต์หลายแห่งในประเทศไทยเป็นต้นกำเนิดของพลอยแซปไฟร์และทับทิม เช่น ในแหล่งพลอย จังหวัดจันทบุรี ตราด กาญจนบุรี นอกจากนี้ยังมีในที่อื่น ๆ ที่ไม่มีพลอย เช่น จังหวัดลำปาง บุรีรัมย์ (คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541)

5. ปุ๋ยหมักผักตบชวา

ผักตบชวา เป็นวัชพืชน้ำที่เจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ทั้งยังสามารถขยายพันธุ์ได้ทุกฤดูกาล แต่ละต้นจะติดเมล็ดมากถึง 5,000 เมล็ด โดยมีกระแสน้ำและสัตว์ช่วยในการแพร่พันธุ์ เนื่องจากผักตบชวามีระบบรากฝอยจำนวนมาก สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่

ปะปนอยู่ในตะกอนน้ำและเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของลำต้นและใบ เมื่อนำมาหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชสูง โดยมีคุณสมบัติทางเคมีของผักตบชวาสดก่อนทำปุ๋ยหมักโดยทั่วไป ได้แก่ โปรตีน 17–22 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 15–18 เปอร์เซ็นต์ ขี้เถ้า 16–20 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรด–ด่าง 6.85 ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ คาร์บอน (C) 32–35 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน (N) 2.8–3.5 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม (K_2O) 2.0–3.5 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม (Mg) 0.6–1.3 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 0.1–0.4 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม (Ca) 0.6–1.3 เปอร์เซ็นต์ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2560)

ปุ๋ยหมักผักตบชวา เกิดจากการนำผักตบชวามาหมักให้ย่อยสลาย โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนเปลี่ยนไปจากสภาพเดิม คือ มีสีน้ำตาลปนดำมีลักษณะอ่อนนุ่ม และไม่มีกลิ่นเหม็น มีประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารพืช ทำให้ดินมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช โดยส่วนของต้นและรากของผักตบชวา มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่น้อยกว่า 1, 0.25 และ 4 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 30 ต่อ 1 จัดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย ดังนั้นผักตบชวาจึงเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับทำปุ๋ยหมัก (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2560) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ เฉลิมชัย แพะคำ และคณะ (2557) ที่ศึกษาคุณสมบัติและธาตุอาหารหลักของพืชจากปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายโดยเชื้อรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท UPPY19 โดยทำการหมักและสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวา (10, 20, 30, 40, 50 และ 60 วัน) พบว่าความเป็นกรด–ด่าง เท่ากับ 9.00 ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 5.00 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุ เท่ากับ 52.73 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 47.29 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 21.03 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมด 46.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และธาตุโพแทสเซียมทั้งหมด 33.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อตรวจวัดปริมาณเอนไซม์ เซลลูเลส ไซแลนเนส โปรติเอส และยูรีเอส พบว่าปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท UPPY19 มีปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส ไซแลนเนส โปรติเอส และยูรีเอส อยู่ในช่วง 122.50–636.04, 469.49–1,447.77, 198.96–283.26 และ 5.33–6.56 ยูนิตต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ รวมถึง ชัยมงคล ใจหล้า และบุญร่วม คิดค้า (2558) รายงานว่าปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ได้จากการกองทิ้งของผักตบชวาในกว๊านพะเยา มีค่าการนำไฟฟ้า 1.67 เดซิซีเมนต่อเมตร ค่าความเป็นกรด–ด่าง 7.76 ค่าอินทรีย์คาร์บอน 11.74 เปอร์เซ็นต์ ค่าอินทรียวัตถุ 20.24 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมด 5.06 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสทั้งหมด 3.03 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บด: ปุ๋ยหมักผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1:1:3:2 มีปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณไนโตรเจน

ทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 28.36 และ 2.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามที่พระราชบัญญัติปุ๋ยกำหนดไว้

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงปุ๋ยอินทรีย์ จังหวัดพะเยา

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงปุ๋ยอินทรีย์ จังหวัดพะเยา มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยนำวัตถุดิบมาทำการตีป่น ชั่งน้ำหนักและบรรจุใส่กระสอบ ตามส่วนผสม ขั้นตอนที่สอง คือ การคลุกเคล้าวัตถุดิบในเครื่องผสมปุ๋ยด้วยเครื่องกวนแบบริบบิ้น ในขั้นตอนที่สาม คือ ปั้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ นำวัตถุดิบที่ผ่านการผสมแล้วเข้าจานปั้นเม็ด (pan granulator) ขณะปั้นต้องฉีดน้ำบริเวณหน้าจานปั้นเพื่อให้วัตถุดิบเกาะตัวกันเป็นเม็ดกลม เมื่อเม็ดปุ๋ยออกจากจานปั้น จะถูกลำเลียงด้วยสายพานเข้าขั้นตอนที่สี่ คือ การลดความชื้นปุ๋ยอินทรีย์ด้วยความร้อน จำนวน 2 ครั้ง โดยใช้ความร้อนจากเตาไฟที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง เม็ดปุ๋ยจะถูกลำเลียงผ่านท่ออบร้อนจึงถูกลำเลียงเข้าสู่ท่ออบเย็น และขั้นตอนสุดท้าย คือ การคัดขนาดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ และการบรรจุกระสอบ เม็ดปุ๋ยที่ผ่านการอบจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องคัดแยกขนาด แล้วจึงถูกลำเลียงไปยังไซโลเพื่อรอการบรรจุกระสอบต่อไป (พลฤทธิ์ ทองคลี่, 2561)

ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้มาจากอินทรียสารที่ผลิตขึ้นโดยกรรมวิธีต่าง ๆ และก่อนที่จะนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อพืช จะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางชีวภาพเสียก่อน ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ตามความในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 นั้น เน้นความหมายหนักไปในลักษณะของปุ๋ยหมัก กล่าวคือ เป็นปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่น ๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) มีผลในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ทำในดินโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี รากพืชสามารถชอนไชไปหาธาตุอาหารได้ง่ายขึ้น ปรับสภาพทางเคมีโดยการลดความเป็นกรด–ด่างให้อยู่ในสภาพที่เป็นกลาง ลดความเป็นพิษจากโลหะหนัก ให้ธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการ เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ อีกทั้งยังให้ธาตุอาหารรองหรือจุลธาตุที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ในดินและต่อพืช ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ปุ๋ยเคมีไม่สามารถให้แก่พืชได้ (สิริยากร พุกกะเวส, 2555; ออมทรัพย์ นพอมรบดี, 2542)

ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยต้องได้มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดไม่เป็นของเหลว ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องการขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียน และแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2551 ดังตาราง 1 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ต้องระบุชนิดวัสดุอินทรีย์หลักที่ใช้ในการผลิต และผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยสมบูรณ์ จนได้เนื้อปุ๋ยสีน้ำตาลนุ่ม ยุ่ย ขาดจากกันได้ง่าย อุณหภูมิไม่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ และมีคุณลักษณะที่สามารถตรวจสอบได้ (อานัฐ ตันโช, 2558)

ตาราง 1 รายละเอียดข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดไม่เป็นของเหลว

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH)	5.5–8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N)	ไม่เกิน 20:1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC : electrical conductivity)	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (โดยน้ำหนัก)	1. ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ 2. ฟอสฟอรัส (total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ 3. โพแทสเซียม (total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	ไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
11	สารหนู (arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	แคดเมียม (cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	โครเมียม (chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ทองแดง (copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ตะกั่ว (lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ปรอท (mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

จากการทดลองของ สังวรณ์ เสนะโลหิต, พงศ์พันธุ์ เธียรหิรัญ และลัดดา พิศาลบุตร (2558) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตโดยโรงงานที่ได้รับอนุญาตจากกรมวิชาการเกษตร โดยคัดเลือกโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ จำนวน 20 โรงงาน จากโรงงาน 75 โรงงานที่มีผลวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ใน 5 จังหวัด ได้แก่ กาญจนบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี นนทบุรี และสระบุรี ผลการทดลอง พบว่า มีโรงงานที่มีผลวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ผ่านเกณฑ์ จำนวน 15 โรงงาน และไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 5 โรงงาน โดยทุกโรงงานพบปัญหาด้านวัตถุดิบที่มีคุณภาพไม่แน่นอน มีปัญหาในการชั่งวัตถุดิบ และการผสมวัตถุดิบที่ไม่ได้สัดส่วน

เทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน

รูปแบบการเลี้ยงไส้เดือนดินกำจัดขยะอินทรีย์ เพื่อผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนมีหลายรูปแบบ มีตั้งแต่ลักษณะที่ตั้งเป็นกอง ๆ กลางแจ้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด จนถึงแบบซับซ้อนที่ต้องใช้เทคนิคและเทคโนโลยีขั้นสูงหลายอย่างร่วมกัน การตัดสินใจเลือกใช้ระบบในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนนั้นต้องพิจารณาจาก พื้นที่ จำนวนเงินทุน แรงงานคน และชนิดของขยะอินทรีย์ที่จะกำจัด (อานัฐ ตันโช, 2558)

สายพันธุ์ไส้เดือนดิน

สายพันธุ์ที่นำมากำจัดขยะอินทรีย์ทางการค้าส่วนใหญ่ เป็นไส้เดือนดินกลุ่มผิวดินที่มีลำตัวสีแดงอาศัยอยู่ในมูลสัตว์ หรือใต้กองขยะอินทรีย์ สามารถแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วและมีจำนวนมาก สายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมในต่างประเทศ ประกอบด้วย ไส้เดือนสายพันธุ์ *Eisenia foetida* (brandling หรือ tiger worm) *Eisenia Andrei* (red tiger worm) *Eudrilus eugeniae* (african night-crawler) *Dendrobaena veneta*, *Perionyx excavates* (indian blue) และ *Lumbricus rubellus* (red worm) (อานัฐ ตันโช, 2558)

สำหรับประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตร้อน ดังนั้นไส้เดือนดินส่วนใหญ่ที่กระจายตัวอยู่ในประเทศไทย จะเป็นไส้เดือนดินที่อาศัยอยู่ในสภาพความชื้นที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะไส้เดือนดินพันธุ์สีแดงที่อาศัยอยู่ริมแม่น้ำ ในนาข้าว ใต้กองมูลสัตว์ หรือกองปุ๋ยหมัก ไส้เดือนดินที่พบ เช่น ไส้เดือนดิน *Pheretima peguana* (พันธุ์ขี้ตาแร่) จะชอบอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีความชื้นค่อนข้างสูง บางครั้งพบว่าพวกมันสามารถอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีน้ำท่วมขังได้ด้วย ความชื้นที่เหมาะสมประมาณ 70 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (นิรันดร์ หิรัญสุข, 2547) อุณหภูมิ 18 ถึง 25 องศาเซลเซียส จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.0 ถึง 8.0 แต่จะสามารถทนต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 4.7 ถึง 8.7 ได้ อาศัยอยู่ในกองปุ๋ยหมัก และใต้กองมูลสัตว์ และกินอินทรียวัตถุต่าง ๆ เป็นอาหาร (อานัฐ ตันโช, 2560) จากการศึกษาวิจัย พบว่าสายพันธุ์ไส้เดือน

ดินที่เหมาะต่อการนำมาใช้กำจัดขยะอินทรีย์ได้อย่างดีเยี่ยม และมีประสิทธิภาพ คือ *P. peguana* (พันธุ์ขี้ตาแร่) (อานัฐ ตันโช, 2550; อานัฐ ตันโช และคณะ, 2551) เนื่องจากมีความตื่นตัวสูง สามารถกำจัดขยะอินทรีย์จำพวกเศษผัก เปลือกผลไม้ได้อย่างรวดเร็ว มีอัตราการแพร่ขยายพันธุ์สูง และเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย (อานัฐ ตันโช, 2548) ปัจจุบันจึงมีการนำสายพันธุ์นี้มาใช้ประโยชน์ในการกำจัดขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน แต่ใช้สำหรับระบบที่ใช้เทคโนโลยีที่ไม่สูงนัก และใช้ต้นทุนต่ำ

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน (vermicompost)

หมายถึง เศษซากพืชอินทรียวัตถุต่าง ๆ รวมทั้งดินและจุลินทรีย์ที่ไส้เดือนดินกินเข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุเหล่านั้นภายในลำไส้ของไส้เดือนดิน แล้วจึงขับถ่ายเป็นมูลออกมาทางรูทวารเพื่อให้เกิดปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี ปุ๋ยหมักที่ได้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มูลของไส้เดือนดิน เพราะกระบวนการเป็นปุ๋ยหมักไม่ได้เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์เหมือนปุ๋ยหมักทั่วไป แต่เกิดจากการกินของไส้เดือนดินแล้วขับถ่ายเป็นมูลออกมา ซึ่งการกินวัสดุอินทรีย์และการย่อยอาหารของไส้เดือนดินนับเป็นพื้นฐานของกระบวนการทำปุ๋ยหมักที่เร็วที่สุดในปัจจุบัน ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดร่วน สีดำ มีธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ในปริมาณที่สูง และมีจุลินทรีย์จำนวนมาก (Byzov, et al., 2007; อานัฐ ตันโช, 2550)

ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ดังตาราง 2 (นิรันดร์ หิรัญสุข, 2547)

ตาราง 2 ปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ที่ใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ขี้ตาแร่ย่อยสลาย

ชนิดขยะอินทรีย์	ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน						
	%N	ส่วนในล้านส่วน (ppm)				EC (dS/m)	pH
		P	K	Ca	Mg		
มูลวัวนม	0.770	3,664	9,478	3,394	1,332	5,900	9
เปลือกแตงโม	0.035	5,872	9,799	16,466	2,616	6,300	9.1
กากมะพร้าว	0.105	406	1,790	2,943	524	1,420	7.1
เปลือกแตงโมผสมกับกากมะพร้าว	0.280	2,368	5,758	8,206	1,544	2,600	8.1
เปลือกแตงโมผสมกับมูลวัวนม	0.035	6,680	10,828	19,204	3,179	6,100	9.4
เปลือกแตงโมผสมกับมูลวัวนมและกากมะพร้าว	0.070	4,385	9,310	13,660	2,468	4,900	9.2

จากการทดลองของ นริสรา พานพ่วง และสาวิตรี จันทรานุรักษ์ (2555) การเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชที่มีอยู่ในปุ๋ย 3 ชนิด คือปุ๋ยหมักธรรมชาติ ปุ๋ยมูลไส้เดือน *Eudrilus eugeniae* และปุ๋ยหมัก พด.1 โดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้นเป็นมูลโคและเศษผัก ในอัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสเฟตทั้งหมด ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ในปุ๋ยมูลไส้เดือนมีความแตกต่างจากปุ๋ยหมักธรรมชาติ และปุ๋ยหมัก พด.1 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนมีคุณสมบัติดังกล่าวมากที่สุดรองลงมา คือ ปุ๋ยหมักธรรมชาติ และปุ๋ยหมัก พด. 1 ตามลำดับ ส่วนปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่า ปุ๋ยทั้งสามชนิดมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยปุ๋ยหมัก พด. 1 ปุ๋ยมูลไส้เดือน และปุ๋ยหมักธรรมชาติมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเป็น 3.69, 3.38 และ 3.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คุณสมบัติของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน

ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีลักษณะเป็นเม็ดร่วนละเอียด มีสีดำออกน้ำตาล โปร่งเบา มีความพรุนระบายน้ำและอากาศได้ดีมาก มีความจุ ความชื้นสูงและมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงมาก ซึ่งผลจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ที่ไส้เดือนดินดูดกินเข้าไปภายในลำไส้ และด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้และน้ำย่อยของไส้เดือนดิน จะช่วยให้ธาตุอาหารหลาย ๆ ชนิดที่อยู่ในเศษอินทรียวัตถุเหล่านั้นถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น เปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปไนเตรท หรือแอมโมเนีย ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ และนอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบของธาตุอาหารพืชชนิดอื่น และจุลินทรีย์หลายชนิด ที่เป็นประโยชน์ต่อดิน รวมทั้งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในลำไส้ของไส้เดือนดินอีกด้วย (ภฤศญา ปิยนุสรณ์ และวรรณี สุทธใจดี, 2555; สุลีลัก อารักษณ์ธรรม และสุชาดา สานุสันต์, 2557) จากการทดลองของ Sinha, et al. (2009) พบว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน มีปริมาณธาตุอาหารที่สูงสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ยังอุดมไปด้วยปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม (ไนโตรเจน 2–3 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 1.85–2.25 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 1.55–2.25 เปอร์เซ็นต์) จุลธาตุ จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืช ฮอร์โมนพืช และเอนไซม์ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังส่งผลที่ดีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของดิน รวมถึงฟื้นฟูและปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนต่อการเจริญเติบโตของพืชต่าง ๆ โดย

สุลีลัก อารักษณ์ธรรม และสุชาดา สานุสันต์ (2558) ศึกษาผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเทียบกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับการฉีดน้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวหอมมะลิ 105 พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินร่วมกับการฉีดน้ำหมักมูลไส้เดือน มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูง 4,604 และ 4,548 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ และสามารถเพิ่มจำนวนหน่อต่อตารางเมตร ได้สูงถึง 287 และ 276 หน่อต่อตารางเมตร ตามลำดับ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนร่วมกับการฉีดน้ำหมัก สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมี และยังสามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและปรับปรุงสภาพโครงสร้างของดินให้ดีได้

สมชาย ชคตระการ และอัญชลี จาละ (2558) ศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกวางตุ้งดอก (*Brassica rapa* var. *parachinensis*) ในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของขุยมะพร้าว ถ่านแกลบ และมูลโค อัตราส่วน 1:1:1 (โดยปริมาตร) และเติมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน 2 ชนิด (*Eudrilus eugeniae* และ *Pheretima peguana*) อัตราส่วน 30, 40, 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินได้มาจากการเลี้ยงไส้เดือนดินด้วยส่วนเหลือทิ้งจากผลไม้และมูลโค ผลการทดลอง พบว่าการเจริญเติบโตของลำต้นและรากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน *P. peguana* ทำให้ต้นกล้าผักกาดกวางตุ้งดอกเจริญเติบโตได้ดีกว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน *E. eugeniae* โดยเฉพาะเมื่อเติมในอัตราส่วน 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์

สัญญา เล่ห์สิงห์ (2558) ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของจิงจูฉ่าย ซึ่งประกอบด้วย 6 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย 2) ปุ๋ยเคมีอัตรา 10.65 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ 3) ปุ๋ยเคมีอัตรา 21.30 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ 4) ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 10.65 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ 5) ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 21.30 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ และ 6) ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 31.95 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ พบว่า การให้ปุ๋ยมูลไก่ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี และอัตราการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการปลูกจิงจูฉ่าย คือ การใส่ปุ๋ยมูลไก่ที่อัตรา 31.95 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด

อิทธิพล ขึมภูเขียว และอรวรรณ รักสงฆ์ (2560) ศึกษาผลของปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนต่อสมบัติทางเคมีของดินและการเจริญเติบโตของแก่นตะวัน (*Helianthus tuberosus* L.) ผลการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยพืชสดทำให้แก่นตะวันมีความสูงและน้ำหนักหัวสดมากกว่าชุดควบคุม การใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้แก่นตะวันมีขนาดลำต้น

บริเวณโคนต้น ความสูง และน้ำหนักหัวสดไม่ต่างกับการใช้อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมี นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยพืชสดยังมีผลทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าชุดควบคุม และมีแนวโน้มให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าชุดควบคุม

Azarmi, Giglou and Taleshmikail (2008) ทำการศึกษาผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินต่อการปลูกมะเขือเทศ พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน อัตรา 15 ตันต่อเฮกตาร์ สามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม สังกะสี และแมงกานีสมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน (ชุดควบคุม) โดยปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด–ด่างของดินลดลง และคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นรวมของดิน และความพรุนของดินดีขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช

Peyvast, et al. (2008) ทำการศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่แตกต่างกัน (0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์) ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณสมบัติทางเคมีของปวยเล้ง พันธุ์ Virofly ผลการทดลอง พบว่า การเติมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนในดิน สามารถเพิ่มความสูงของต้นและจำนวนใบอย่างมีนัยสำคัญ กรรมวิธีที่เพิ่มปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มพื้นที่ใบ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม รวมถึงจุลธาตุ เช่น เหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสี

Suthar (2009) ทำการศึกษาผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ปุ๋ยคอก และปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ในการปลูกกระเทียม พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน อัตรา 15 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับ ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าความยาวราก ความยาวลำต้น ความยาวใบ น้ำหนักผลกระเทียม จำนวนกลีบของกระเทียม และจำนวนใบต่อต้น มากที่สุด ซึ่งมีค่ามากกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามคำแนะนำ (ชุดควบคุม) การใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนให้ผลผลิตที่ดีกว่าปุ๋ยคอก อีกทั้งยังให้ปริมาณจุลธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ดังนั้นปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจึงเป็นแหล่งที่ให้ธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช

Tharmaraj, et al. (2011) ศึกษาผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ระหว่างการปลูกข้าวพันธุ์ samba โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน น้ำเมือกไส้เดือน และการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนร่วมกับน้ำเมือกไส้เดือน ผลการทดลอง พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ความพรุน ความชื้น ความสามารถในการกักเก็บน้ำ และคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม

แคลเซียม และแมกนีเซียม มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน เมื่อเทียบกับชุดควบคุม การใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนในดินช่วยให้ค่าความเป็นกรด–ด่างลดลง ความสามารถในการกักเก็บน้ำ ปริมาณความชื้น และความพรุนมีแนวโน้มดีขึ้น และยังมีอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตมากกว่าชุดควบคุม

Sanni and Adesina (2012) ศึกษาการตอบสนองของปุ๋ยหมักผักตบชวาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักโขมลากอส จากผลการทดลอง พบว่าปุ๋ยหมักผักตบชวามีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักโขมลากอส โดยการใช้ปุ๋ยหมักผักตบชวา อัตรา 2.64 กิโลกรัมต่อแปลง (60 กรัมต่อต้น) มีประสิทธิภาพดีที่สุด ทั้งในด้านการปรับปรุงและฟื้นฟูดิน ซึ่งเป็นแนวทางในการลดผลกระทบของวัชพืชต่อระบบนิเวศทางน้ำ เพิ่มความสำคัญทางเศรษฐกิจและสังคม

Manh and Wang (2014) ศึกษาผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินต่อคุณภาพและการเจริญเติบโตของแตงไทย ผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ขี้เถ้าแกลบ และขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1:1 สำหรับทำวัสดุปลูกแตงไทย ส่งผลให้แตงไทย มีอัตราการงอก ความสูงของต้น พื้นที่ใบ ปริมาณชีวมวลสูงสุด อีกทั้งยังให้ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของต้นกล้าแตงไทย

Vidya and Girish (2014) ทำการทดสอบปุ๋ยหมักผักตบชวาต่อการเจริญเติบโตของข้าวสาลี โดยทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวสาลีเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) เป็นเวลา 15 วัน ทำการเก็บข้อมูลทางกายภาพ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวส่วนของลำต้น ความยาวราก อัตราส่วนของลำต้นต่อราก และมวลชีวภาพ ข้อมูลทางเคมี ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณโปรตีน และปริมาณน้ำตาล นอกจากนี้ได้ทำการคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด–ด่าง ปริมาณความชื้น และปริมาณอินทรียวัตถุ ผลการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยหมักผักตบชวามีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวสาลีทุกพารามิเตอร์ และให้ค่าที่มากกว่าชุดควบคุม ดังนั้นจึงสามารถนำผักตบชวามาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้

การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน (vermicomposting) (อานัฐ ตันโช, 2560)

เป็นกระบวนการใช้ไส้เดือนดินในการย่อยสลายขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้กลายเป็นปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ซึ่งมีเป้าหมายที่สำคัญคือ แปรสภาพอินทรียวัตถุไปเป็นปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินให้เร็วและได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพสูงที่สุด โดยกระบวนการนี้จะได้ผลผลิตอยู่ 3 ชนิด คือ ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน น้ำหมักมูลไส้เดือน และตัวไส้เดือนดิน จากการทดลองของ Patil, et al. (2012) ผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาและมูลสัตว์ โดยใช้เครื่อง

ปฏิกรณ์ผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน แบบโรตารี หลักการ คือ นำผักตบชวา 70 เปอร์เซ็นต์ มูลสัตว์ 10 เปอร์เซ็นต์ และกระดาษแข็งหั่นย่อย 20 เปอร์เซ็นต์ พร้อมกับไส้เดือนดิน *Eisenia fetida* 0.25 กิโลกรัม ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน แบบโรตารี จากนั้นให้เครื่องหมุนเบา ๆ เพื่อให้ไส้เดือนย่อยอาหารที่ใส่ลงไป และให้อากาศผ่านเป็นการเพิ่มรูพรุนให้กับปุ๋ย เป็นเวลา 45 วัน ผลการทดลอง พบว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ได้ มีความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรด–ด่าง 7.26 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 0.72, 0.51 และ 0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ความหนาแน่นของไส้เดือนดิน พื้นที่ 1 ตารางเมตร จะใส่ไส้เดือนดิน 3 ถึง 5 กิโลกรัม เนื่องจากความหนาแน่นดังกล่าวจะทำให้ขยะอินทรีย์ที่ใส่ให้ไส้เดือนดินย่อยสลายหมดลงอย่างรวดเร็ว ไม่ควรใส่ไส้เดือนดินหนาแน่นมาก เพราะจะทำให้การขยายพันธุ์ไม่ดี มีอัตราการแก่งแย่งอาหาร อากาศ และปลดปล่อยของเสียสูงมาก

สภาพบ่อเลี้ยง ควรสร้างบ่อเลี้ยงให้กว้าง ถ่ายเทอากาศดี มืด และชุ่มชื้นอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ไส้เดือนดินสามารถขึ้นมาที่ผิวดินกินอาหารได้ตลอดเวลา

อาหาร มูลสัตว์ ขยะอินทรีย์ หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทุกชนิดที่มีและหาได้ สามารถนำไปเลี้ยงไส้เดือนดินได้ ยกเว้นขยะอินทรีย์บางชนิด เช่น เศษอาหารที่มีรสเผ็ด เปรี้ยว ต้องหมักให้มีสภาพที่เหมาะสมก่อนให้ไส้เดือนดิน หรือพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยหรือสารที่ไส้เดือนดินไม่ชอบ เช่น เปลือกส้ม ใบสน ยูคาลิปตัส หรือพืชที่มีกลิ่นแรง ไม่ควรนำมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดิน จากการทดลองของ สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ และจักรพันธ์ พิณจีน (2557) ศึกษาประสิทธิภาพของอาหาร 3 ชนิด คือ ผักบุ้งจีน มูลวัว ผักบุ้งจีนผสมมูลวัว (1:1) ต่อการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* แบบชั้นพลาสติก พบว่า การเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินด้วยมูลวัวสามารถผลิตมูลไส้เดือนดินได้ปริมาณสูงสุด โดยมีน้ำหนักของมูลไส้เดือนดิน เท่ากับ 3,886.20 กรัม ในการทดสอบในสภาพโรงเรือนของมูลไส้เดือนดินต่อการปลูกโหระพาและกะเพรา พบว่าการเจริญเติบโตของต้นกล้าโหระพาและกะเพราที่ปลูกในวัสดุปลูก (ดินปลูก 300 กรัม กาบมะพร้าวสับหยาบ 40 กรัม) ที่ผสมปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินด้วยอาหาร 3 ชนิด ในอัตราส่วน 3, 15 และ 30 กรัม พบว่า การเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ความกว้างใบ ความยาวใบ ของโหระพาและกะเพราที่ปลูกในวัสดุปลูกที่ผสมมูลไส้เดือนดินในอัตราส่วนต่าง ๆ สูงกว่าพืชทดสอบที่ปลูกในวัสดุปลูกที่ผสมปุ๋ยเคมี ดังนั้นปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจึงมีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของโหระพาและกะเพราในสภาพโรงเรือน โดยการผสมลงในวัสดุปลูกหรือดินที่ใช้ในการปลูก

พืชที่ใช้ทดสอบปุ๋ย

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว โดยความร่วมมือจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยการผสมพันธุ์ข้ามระหว่างข้าวเจาหอมนิล (พันธุ์พ่อ) กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์แม่) เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง ความสูงประมาณ 106 เซนติเมตร ผลผลิต 300–500 กิโลกรัมต่อไร่ อายุเก็บเกี่ยว 130 วัน ข้าวเปลือกสีม่วงเข้ม (ในระยะเก็บเกี่ยวสีข้าวเปลือกจะเปลี่ยนไป) รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ข้าวกล้องสีม่วงเขม ข้าวกล้องสุกมีความนุ่ม เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง (brown rice) 76 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพการสีได้ต้นข้าวหรือข้าวเต็มเมล็ด (head rice) 50 เปอร์เซ็นต์ ความยาวของเมล็ดข้าวเปลือก 11 มิลลิเมตร ข้าวกลอง 7.5 มิลลิเมตร ข้าวสาร 7.0 มิลลิเมตร ปลูกได้ตลอดทั้งปี ต้านทานต่อโรคไหม้ ไม่ต้านทานต่อโรคถอดฝักดาบ (โรคหลาว) เป็นข้าวที่ต้องการเอาใจใส่เป็นพิเศษ โดยปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ และต้องมีสภาพอากาศเย็น เพื่อสร้างสีเมล็ด (กรมการข้าว, 2560) คุณสมบัติทางโภชนาการ คือ มีธาตุเหล็กและสารต้านอนุมูลอิสระสูง มีใยอาหารที่อยู่ในรำข้าวสูง ช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวกล้องและข้าวขาวขัดทั่วไป จึงเหมาะกับผู้ป่วยเบาหวาน มีสรรพคุณช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล ช่วยทำให้ระบบขับถ่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2558)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana*

เตรียมวัตถุดิบที่ใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงไส้เดือน ได้แก่ ผักตบชวา และมูลวัว โดยการเตรียมผักตบชวาสดจะทำในวันเริ่มการทดลอง ส่วนกรณีผักตบชวาหมักนั้นจะหมักไว้ 15 และ 30 วันก่อนเริ่มทำการทดลอง การเตรียมมูลวัวจะทำโดยการนำมาแช่น้ำเพื่อลดความร้อนเป็นเวลา 3 วันก่อนการทดลอง โดยทำการทดลองในกระบะพลาสติกเหลี่ยมทรงสูง กว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร จากนั้นเตรียมพื้นเลี้ยงไส้เดือน โดยใช้ดินร่วนและมูลวัว ในอัตราส่วน 4:1 ผสมให้เข้ากัน ใส่น้ำให้มีความชื้น 80–90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีวิธีการทดสอบ คือ กำเป็นก้อนได้โดยไม่มีน้ำไหลออกจากมือ เทใส่กระบะพลาสติกเกลี่ยให้เสมอความหนา 3 นิ้ว (อานัฐ ตันโช, 2560) ทำการหมักโดยใช้ระยะเวลา 45 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) 6 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวาสด 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวาสด 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือน *P. peguana* 500 กรัมต่อตารางเมตร

กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 15 วัน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 15 วัน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือน *P. peguana* 500 กรัมต่อตารางเมตร

กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วัน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วัน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือน *P. peguana* 500 กรัมต่อตารางเมตร

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาในแต่ละกรรมวิธี กรรมวิธีละ 1 กิโลกรัม นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้น (moisture content) ตามวิธีการของกรมวิชาการเกษตร (2551) ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter ใช้อัตราส่วนปุ๋ยต่อน้ำกลั่น 1:10 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ด้วยเครื่อง conductivity meter ในอัตราส่วนปุ๋ยต่อน้ำกลั่น 1:10 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ตามวิธีของ Walkley and Black (1947) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ Walkley and Black (1947) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน

ทั้งหมด (total N) โดยวิธี Kjeldahl method ไนโตรเจนในรูป ammonium (NH_4^+) ไนโตรเจนในรูป nitrate (NO_3^-) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) โดยวิธี spectrophotometric molybdatevanadophosphate method ใช้กรดผสม (perchloric acid 69–70% : nitric acid 69–70% อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ย่อยตัวอย่าง และวัดหาปริมาณฟอสฟอรัสด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และโพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) โดยวิธี flame photometric method ใช้กรดผสม (perchloric acid 69–70% : nitric acid 69–70% อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ย่อยตัวอย่าง และวัดหาปริมาณโพแทสเซียมด้วย atomic absorption spectrophotometer AA–6880 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีด้วยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test: DMRT) โดยใช้โปรแกรม R i386 3.5.1

การคัดเลือกวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ระดับห้องปฏิบัติการ

นำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา (การใช้ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วัน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือน *P. peguana* 500 กรัมต่อตารางเมตร) มาทำการผสมกับวัตถุดิบต่าง ๆ ของโรงงานที่ร่วมวิจัย ได้แก่ แร่สีโอนาร์ไดต์ (จังหวัดลำปาง) หินบะซอลต์บดละเอียด (จังหวัดลำปาง) มูลสุกร (จังหวัดราชบุรี) และมูลไก่ไข่ (จังหวัดราชบุรี) จำนวน 13 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังแสดงในตาราง 3

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยในแต่ละกรรมวิธี ๆ ละ 1 กิโลกรัม มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter ใช้อัตราส่วนปุ๋ยต่อน้ำกลั่น 1:10 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ด้วยเครื่อง conductivity meter ในอัตราส่วนปุ๋ยต่อน้ำกลั่น 1:10 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ตามวิธีของ Walkley and Black (1947) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ Walkley and Black (1947) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Kjeldahl method ไนโตรเจนในรูป ammonium (NH_4^+) ไนโตรเจนในรูป nitrate (NO_3^-) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) โดยวิธี spectrophotometric molybdatevanadophosphate method ใช้กรดผสม (perchloric acid 69–70% : nitric acid 69–70% อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ย่อยตัวอย่าง และวัดหาปริมาณฟอสฟอรัสด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และโพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) โดยวิธี flame photometric method ใช้กรดผสม

(perchloric acid 69–70% : nitric acid 69–70% อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ย่อยตัวอย่าง และวัดหาปริมาณโพแทสเซียมด้วย atomic absorption spectrophotometer AA–6880 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: S.D.) และสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน (coefficient of variation: C.V.)

ตาราง 3 ชนิดและอัตราส่วนของวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

กรรมวิธี	ชนิดและอัตราส่วนของวัตถุดิบ				
	แร่ลีโอนาร์ไดต์	หินบะซอลต์บดละเอียด	ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา	มูลสุกร	มูลไก่ไข่
1	3	1	1	3	2
2	2	2	2	2	2
3	1	1	6	1	1
4	2	1	4	2	1
5	3	1	4	1	1
6	3	1	3	1	2
7	1	1	3	2	3
8	1	1	4	2	2
9	2	1	3	2	2
10	1	1	3	1	4
11	2	1	3	1	3
12	1	1	2	3	3
13	1	1	3	3	2

คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากสายพานการผลิตของโรงงาน

นำสูตรปุ๋ยอินทรีย์ผลิตในสายพานการผลิตของโรงงาน โดยใช้อัตราส่วนผสม (mixture ratio) โดยน้ำหนักดังนี้ แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:3:1:4 (คัดเลือกได้จากการทดลองผลิต และวิเคราะห์คุณภาพในระดับห้องปฏิบัติการ) โดยทำการผลิต จำนวน 1 รุ่น ด้วยกำลังการผลิต 500 กิโลกรัมต่อรุ่น โดยในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด จะทำการเตรียมวัสดุอินทรีย์ โดยนำวัตถุดิบมาทำการตีป่น ชั่งน้ำหนัก และบรรจุใส่กระสอบ ตามส่วนผสม จากนั้นคลุกเคล้าวัตถุดิบในเครื่องผสมปุ๋ยด้วยเครื่องกวนแบบริบบิ้น เมื่อวัตถุดิบผ่านการผสมแล้วลำเลียงเข้าสู่เข้าระบบจานปั้นเม็ด (pan–granulation system factory) โดยจานปั้นเม็ด มีเส้นผ่าศูนย์กลาง

เท่ากับ 1.5 เมตร มุมเอียงของจานเท่ากับ 55 องศา และความเร็วรอบเท่ากับ 65 รอบต่อนาที โดยขณะปั้นต้องทำการฉีดน้ำบริเวณหน้าจานปั้นเพื่อให้วัตถุดิบเกาะตัวกันเป็นเม็ดกลม เมื่อได้เม็ดปุ๋ยออกจากจานปั้น จะลำเลียงด้วยสายพานเข้าสู่การลดความชื้นปุ๋ยอินทรีย์ด้วยความร้อน จำนวน 2 ครั้ง โดยใช้ความร้อนจากเตาไฟที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง เม็ดปุ๋ยที่ผ่านการอบจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องคัดแยกขนาด (ขนาดเม็ดปุ๋ยที่ต้องการ คือ 6 มิลลิเมตร) แล้วจึงถูกลำเลียงไปยังไซโลเพื่อรอการบรรจุกระสอบ การสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยเพื่อนำมาวิเคราะห์ จะทำการเก็บตัวอย่างปุ๋ยจากตำแหน่งสายพานที่ลำเลียงปุ๋ยเข้าสู่ถังพักเก็บปุ๋ยก่อนบรรจุกระสอบ โดยจะคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างปุ๋ยด้วยสูตรของเครซี่ และมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970) โดยกำหนดให้ยอมรับให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$n = \frac{\chi^2 Np(1-p)}{e^2(N-1)+\chi^2 p(1-p)}$$

กำหนดให้ n = จำนวนปุ๋ยที่ต้องการสุ่ม

N = ขนาดของปุ๋ยที่ทำการผลิต

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

χ^2 = ค่าไคสแควร์ที่ df เท่ากับ 1 และระดับความเชื่อมั่น 95% (χ^2 = 3.841)

p = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด p = 0.5)

นำตัวอย่างปุ๋ยที่ผลิตได้ต่อรุ่นการผลิต (500 กิโลกรัม) วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิต (production efficiency) ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยขนาดมาตรฐาน และเปอร์เซ็นต์ที่เกิดการสูญเสียในกระบวนการผลิต (ขนาดเล็กจนลอดตะแกรงคัดขนาด และขนาดใหญ่จนไม่ผ่านตะแกรงคัดขนาด) จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยจากตำแหน่งสายพานที่ลำเลียงปุ๋ยเข้าสู่ถังพักเก็บปุ๋ยก่อนบรรจุกระสอบ เป็นเวลา 10 นาที ๆ ละ 22 กิโลกรัม มาวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยตามข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวตามมาตรฐานตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร ได้แก่ ขนาดของปุ๋ย ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ ปริมาณหิน และกรวดพลาสติก แก้ว วัสดุมีคม โลหะอื่น ๆ ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) และปริมาณโพแทสเซียม

ทั้งหมด (total K_2O) และสุ่มเก็บตัวอย่างของเม็ดปุ๋ยที่บรรจุกระสอบแล้วมาวิเคราะห์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ และปริมาณของสารโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ สารหนู แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และปรอท (กรมวิชาการเกษตร, 2551) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: S.D.) และสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน (coefficient of variation: C.V.)

ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ทำการศึกษาต้นทุนการผลิตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตด้วยสูตรปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ในสายพานการผลิตของโรงงานต่อการผลิตปุ๋ย 1 ตัน โดยใช้ข้อมูลงบประมาณบริหารจัดการโครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อพัฒนาสู่เกษตรปลอดภัย พ.ศ. 2561 ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์จังหวัดพะเยาร่วมกับองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ได้แก่ งบบริหารโรงงาน งบประมาณการจัดซื้อวัตถุดิบ ค่าตอบแทนพนักงาน และทำการคิดต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากการเลี้ยงด้วยผักตบชวา จากนั้นทำการกำหนดราคาขายปุ๋ยตามราคาขายที่โรงงานกำหนด และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนการผลิตปุ๋ยต่อตัน ผลตอบแทนการผลิตปุ๋ยต่อตัน และอัตรากำไรต่อต้นทุน ตามแนวทางการศึกษาของ สุขใจ ตอนปัญญา (2554)

ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ในระดับโรงเรือน

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ โดยเตรียมดินสำหรับปลูกข้าวในกระบะสูง 30 เซนติเมตร (กระบะพลาสติกเหลี่ยมทรงสูง กว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร) จากนั้นเตรียมต้นกล้าข้าว โดยนำเมล็ดข้าวมาห่อในผ้าแช่น้ำ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นมาพักไว้ 24 ชั่วโมง จนเมล็ดข้าวเริ่มมีรากงอกประมาณ 1–2 เซนติเมตร นำไปเพาะในถาดเพาะข้าว 1 เมล็ดต่อหลุม เมื่อข้าวมีอายุได้ 30 วัน จึงทำการคัดต้นที่สมบูรณ์ปักดำลงในกระบะ โดยมีระยะห่างระหว่างกอ 25 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแถว 25 เซนติเมตร จากนั้นใส่ปุ๋ยที่เตรียมไว้ (ของแต่ละกรรมวิธี) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) 6 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังต่อไปนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตราการใช้ 35 กิโลกรัมต่อไร่ หลังวันปักดำ 7 วัน, ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตราการใช้ 13 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนถึงระยะข้าวกำเนิดช่อดอก 30 วัน) (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยครั้งที่ 1 ใส่รองพื้นก่อนวันปักดำ 7 วัน อัตราการใช้ 100 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใส่ในระยะต้นข้าวเริ่มกำเนิดช่อดอก อัตราการใช้ 100 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยครั้งที่ 1 ใส่รองพื้นก่อนวันปักดำ 7 วัน อัตราการใช้ 500 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใส่ในระยะต้นข้าวเริ่มกำเนิดช่อดอก อัตราการใช้ 500 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 5 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยครั้งที่ 1 ใส่รองพื้นก่อนวันปักดำ 7 วัน อัตราการใช้ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใส่ในระยะต้นข้าวเริ่มกำเนิดช่อดอก อัตราการใช้ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 6 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยครั้งที่ 1 ใส่รองพื้นก่อนวันปักดำ 7 วัน อัตราการใช้ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใส่ในระยะต้นข้าวเริ่มกำเนิดช่อดอก อัตราการใช้ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่

การเก็บข้อมูลดินก่อนและหลังการทดลอง

ก่อนการปลูกข้าว ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินภายในกระบะ ไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดให้ละเอียด แล้วทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus: P) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium: K)

หลังการปลูกข้าว ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดิน โดยใช้กระบอกเก็บดินโดยไม่ทำลายโครงสร้าง (core method) จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (partical density) ความพรุนของดิน (porosity) และประเภทของโครงสร้างดิน (types of soil structure)

การเก็บข้อมูลปริมาณธาตุอาหารในต้นข้าว

เมื่อต้นข้าวอายุได้ 45, 92 และ 138 วัน ทำการสุ่มเก็บต้นข้าว กรรมวิธีละ 3 ต้น ล้างทำความสะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดให้

ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในต้นข้าว ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5)

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

ทำการเก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ความสูงของต้น (plant height: PH) โดยสุ่มวัดความสูงของต้นข้าวที่อายุ 45, 112 (วันดอกบาน 50%) และ 138 วัน (วันเก็บเกี่ยว)กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 ต้น โดยทำการวัดจากระดับผิวดินถึงปลายสุดของใบ เมื่อข้าวอายุได้ 138 วัน ทำการเก็บเกี่ยวข้าว นำมาตากให้แห้ง นวด ฝัด และทำความสะอาด ก่อนนำไปบันทึกข้อมูลด้านผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต โดยทำการสุ่มเก็บต้นข้าว กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 กอ มานับจำนวนรวงต่อกอ (panicle number per plant: PN) วัดความยาวรวงต่อกอ (panicle length: PL) ชั่งน้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ (filled grain weight: FGW) น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ (unfilled grain weight: UFGW) และน้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ (total grain weight: TGW) และสุ่มเก็บรวงข้าว กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 รวง โดยจะต้องไม่เก็บซ้ำกับที่สุ่มเก็บเป็นกอ นำไปนับจำนวนเมล็ดดีต่อรวง (filled grain number per panicle: FGN) จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง (unfilled grain number per panicle: UFGN) และเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวง (seed–setting rate: SSR) จากนั้นนำข้อมูลผลผลิตที่ได้ไปคำนวณหาผลผลิตต่อไร่ (grain yield: GY) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีด้วยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test: DMRT) โดยใช้โปรแกรม R i386 3.5.1

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana*

จากการทำปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *P. peguana* เป็นระยะเวลา 45 วัน ทำให้ได้คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ที่มีความแตกต่างกันทางสถิติทุกรายการ ดังนี้

ความชื้น

พบว่า กรรมวิธีที่ 6 (การใช้ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วันก่อนนำมาเลี้ยงไส้เดือน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือนดิน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร) มีค่าเฉลี่ยของความชื้นมากที่สุดเท่ากับ 16.40 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 4 (การใช้ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 15 วันก่อนนำมาเลี้ยงไส้เดือน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือนดิน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร) มีค่าเฉลี่ยของความชื้นเท่ากับ 8.20 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 2 (กรรมวิธีที่ 2 การใช้ผักตบชวาสด 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือนดิน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร) มีค่าเฉลี่ยของความชื้นเท่ากับ 7.93 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง

พบว่า กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่างมากที่สุดเท่ากับ 8.56 รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 1 (การใช้ผักตบชวาสด 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม) มีค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.53 และกรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.43 (ตาราง 4)

ค่าการนำไฟฟ้า

พบว่า กรรมวิธีที่ 3 (การใช้ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 15 วันก่อนนำมาเลี้ยงไส้เดือน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม) มีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 3.02 เดซิซีเมนต่อเมตรมากที่สุด รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 2.84 เดซิซีเมนต่อเมตร และกรรมวิธีที่ 5 (การใช้ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วันก่อนนำมาเลี้ยงไส้เดือน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม) มีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 2.81 เดซิซีเมนต่อเมตร (ตาราง 4)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

พบว่า กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุดเท่ากับ 18.55 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 15.42 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 15.19 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4)

ปริมาณอินทรียวัตถุ

พบว่า กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรียวัตถุมากที่สุดเท่ากับ 31.99 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 26.59 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 26.18 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

พบว่า กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากที่สุดเท่ากับ 24.98 รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 23.94 และกรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 21.22 (ตาราง 4)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N)

พบว่า กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 0.74 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.73 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.72 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4)

ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม

พบว่า กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมมากที่สุดเท่ากับ 99.40 ppm รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมเท่ากับ 44.80 ppm และกรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมเท่ากับ 39.20 ppm (ตาราง 4)

ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรท

พบว่า กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรทมากที่สุดเท่ากับ 6.53 ppm รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรทเท่ากับ 6.07 ppm และกรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรทเท่ากับ 5.60 ppm (ตาราง 4)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5)

พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 2.76 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 2.63 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 2.46 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4)

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O)

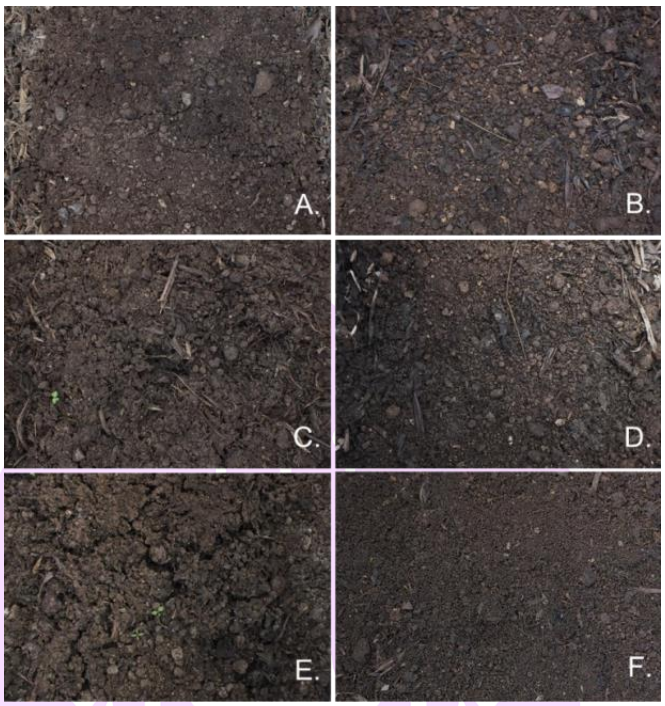
พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 3.63 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับ 3.55 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับ 3.46 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4)

นอกจากนี้ยังพบว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาในกรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 5 ยังมีการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ มีลักษณะเป็นก้อน ค่อนข้างแห้ง มีสีดำ ในกรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ 4 ยังมีการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ มีลักษณะเป็นก้อน มีสีดำ และกรรมวิธีที่ 6 มีการย่อยสลายค่อนข้างสมบูรณ์ มีลักษณะเป็นเม็ด มีสีดำ (ภาพ 1)

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา

กรรมวิธี	ความชื้น (%)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	อินทรีย์คาร์บอน (%)	อินทรียวัตถุ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ไนโตรเจน-แอมโมเนียม (ppm)	ไนโตรเจน-ไนเตรท (ppm)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)
1	7.13±0.23^{c}	8.53±0.06^{a}	2.84±0.01^{b}	15.19±0.55^{b}	26.18±0.95^{b}	23.94±0.31^{a}	0.63±0.03^{c}	30.80±0.00^{cd}	4.20±0.00^{c}	2.20±0.19^{bc}	0.92±0.02^{e}
2	7.93±0.70^{bc}	8.56±0.03^{a}	2.32±0.05^{c}	13.98±1.37^{bc}	24.11±2.36^{bc}	21.22±0.96^{b}	0.66±0.04^{c}	39.20±2.80^{bc}	5.60±0.00^{ab}	2.63±0.07^{a}	3.55±0.04^{ab}
3	7.67±0.31^{bc}	8.00±0.09^{b}	3.02±0.01^{a}	13.96±1.24^{bc}	24.07±2.14^{bc}	20.65±2.02^{b}	0.68±0.01^{bc}	28.93±0.81^{d}	5.13±0.81^{bc}	1.82±0.19^{d}	1.40±0.02^{c}
4	8.20±0.53^{b}	8.43±0.08^{a}	2.35±0.03^{c}	12.12±0.40^{c}	20.90±0.69^{c}	16.76±0.74^{c}	0.72±0.01^{ab}	44.80±6.42^{b}	6.07±0.81^{ab}	1.95±0.15^{cd}	3.63±0.14^{a}
5	5.87±0.46^{d}	7.87±0.07^{c}	2.81±0.06^{b}	15.42±1.62^{b}	26.59±2.79^{b}	21.04±1.29^{b}	0.73±0.05^{ab}	22.40±2.42^{d}	4.20±0.00^{c}	2.46±0.07^{ab}	1.17±0.03^{d}
6	16.40±0.40^{a}	7.73±0.06^{d}	1.70±0.02^{d}	18.55±1.84^{a}	31.99±3.18^{a}	24.98±2.01^{a}	0.74±0.01^{a}	99.40±10.57^{a}	6.53±0.81^{a}	2.76±0.32^{a}	3.46±0.07^{b}
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	5.24	0.82	1.33	8.63	8.63	6.41	4.58	11.93	10.81	8.10	2.80

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test: DMRT), ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), 1 ผักตบชวาสด 7 กิโลกรัม + มูลวัว 3 กิโลกรัม (ชุดควบคุม), 2 ผักตบชวาสด 7 กิโลกรัม + มูลวัว 3 กิโลกรัม + ไส้เดือน *P. peguana* 500 กรัมต่อตารางเมตร, 3 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 15 วัน 7 กิโลกรัม + มูลวัว 3 กิโลกรัม, 4 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 15 วัน 7 กิโลกรัม + มูลวัว 3 กิโลกรัม + ไส้เดือน *P. peguana* 500 กรัมต่อตารางเมตร, 5 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วัน 7 กิโลกรัม + มูลวัว 3 กิโลกรัม และ 6 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วัน 7 กิโลกรัม + มูลวัว 3 กิโลกรัม + ไส้เดือน *P. peguana* 500 กรัมต่อตารางเมตร



ภาพ 1 การเปรียบเทียบปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา

หมายเหตุ: A. = 1 ผักตบชวาสด 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม, B. = 2 ผักตบชวาสด 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร, C. = 3 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 15 วัน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม, D. = 4 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 15 วัน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร, E. = 5 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วัน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และ F. = 6 ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วัน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร

การคัดเลือกวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดระดับห้องปฏิบัติการ

จากการคัดเลือกวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดระดับห้องปฏิบัติการ โดยนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาตามกรรมวิธีที่ 6 (การใช้ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วันก่อนนำมาเลี้ยงไส้เดือน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือนดิน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร) มาทำการผสมกับวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แร่ลีโอนาร์ไดต์ หินบะซอลต์บดละเอียด มูลสุกร และมูลไก่ไข่ ทำให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีคุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง

พบว่า กรรมวิธีที่ 10 (ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:1:3:1:4) มีค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่างมากที่สุดเท่ากับ 7.35 รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 (ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:6:1:1) มีค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.30 และกรรมวิธีที่ 7 (ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:3:2:3) มีค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.23 (ตาราง 5)

ค่าการนำไฟฟ้า

พบว่า กรรมวิธีที่ 10 มีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุด เท่ากับ 6.00 เดซิซีเมนต่อเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 11 (ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 2:1:3:1:3) มีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 5.57 เดซิซีเมนต่อเมตร และกรรมวิธีที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 5.34 เดซิซีเมนต่อเมตร (ตาราง 5)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

พบว่า กรรมวิธีที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุดเท่ากับ 18.93 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 9 (ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 2:1:3:2:2) และกรรมวิธีที่ 12 (ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:2:3:3) มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 18.16 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 10 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 17.32 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 5)

ปริมาณอินทรียวัตถุ

พบว่า กรรมวิธีที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรียวัตถุมากที่สุดเท่ากับ 32.64 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 9 และกรรมวิธีที่ 12 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 31.30 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 10 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 29.85 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 5)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

พบว่า กรรมวิธีที่ 5 (ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 3:1:4:1:1) มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากที่สุดเท่ากับ 23.03 รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 (ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 2:2:2:2:2) มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 22.86 และกรรมวิธีที่ 4 (ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 2:1:4:2:1) มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 22.74 (ตาราง 5)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

พบว่า กรรมวิธีที่ 10 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1.22 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.09 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 12 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.08 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 5)

ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม

พบว่า กรรมวิธีที่ 10 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมมากที่สุดเท่ากับ 1,022.93 ppm รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 12 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมเท่ากับ 1,015.47 ppm และกรรมวิธีที่ 11 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมเท่ากับ 1,012.20 ppm (ตาราง 5)

ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรท

พบว่า กรรมวิธีที่ 10 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรทมากที่สุดเท่ากับ 9.80 ppm รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรทเท่ากับ 8.87 ppm และกรรมวิธีที่ 4 และกรรมวิธีที่ 8 (ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลิโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:4:2:2) มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรทเท่ากับ 6.07 ppm (ตาราง 5)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

พบว่า กรรมวิธีที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 4.96 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 4 และกรรมวิธีที่ 12 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 4.79 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 8 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 4.54 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 5)

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

พบว่า กรรมวิธีที่ 10 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 3.89 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 9 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับ 1.47 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับ 1.38 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 5)

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในระดับห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	อินทรีย์คาร์บอน (%)	อินทรียวัตถุ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ไนโตรเจน-แอมโมเนียม (ppm)	ไนโตรเจน-ไนเตรท (ppm)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)
1	6.90±0.00	3.91±0.21	12.01±0.65	20.71±1.13	20.24±1.88	0.60±0.07	437.27±39.61	5.60±0.00	4.15±0.39	1.11±0.01
2	6.60±0.00	4.23±0.19	16.95±0.20	29.23±0.34	22.86±0.64	0.74±0.03	601.07±16.58	5.60±0.00	4.49±0.15	1.23±0.02
3	7.30±0.10	3.03±0.09	15.52±0.46	26.75±0.79	22.03±0.49	0.70±0.04	479.27±48.14	5.60±0.00	3.18±0.46	1.36±0.03
4	6.90±0.00	3.26±0.10	16.66±0.81	28.73±1.40	22.74±0.86	0.73±0.01	529.67±39.95	6.07±0.81	4.79±0.57	1.12±0.04
5	6.60±0.00	3.39±0.14	15.92±0.20	27.44±0.34	23.03±2.12	0.70±0.07	531.53±39.51	5.60±0.00	2.84±0.07	1.38±0.03
6	6.73±0.06	4.15±0.22	15.23±0.43	26.25±0.75	18.14±0.40	0.84±0.04	846.53±23.61	5.60±0.00	3.90±0.59	1.26±0.03
7	7.23±0.02	5.34±0.05	18.93±0.49	32.64±0.84	17.34±0.18	1.09±0.02	957.60±37.59	8.87±0.81	4.96±0.13	1.36±0.01
8	7.19±0.03	4.45±0.07	15.70±0.19	27.07±0.33	17.37±0.74	0.91±0.05	791.47±12.23	6.07±0.81	4.54±0.19	1.09±0.01
9	6.68±0.03	4.73±0.03	18.16±0.99	31.30±1.71	19.65±0.60	0.92±0.04	798.93±21.79	5.13±0.81	3.86±0.26	1.47±0.04
10	7.35±0.02	6.00±0.03	17.32±0.56	29.85±0.96	14.18±0.46	1.22±0.08	1022.93±38.83	9.80±1.40	4.20±0.13	3.89±0.13
11	6.88±0.01	5.57±0.08	16.22±0.90	27.96±1.54	15.78±1.13	1.03±0.10	1012.20±44.25	5.60±0.00	3.65±0.07	1.20±0.00
12	7.19±0.02	5.30±0.06	18.16±0.59	31.30±1.02	16.77±0.60	1.08±0.02	1015.47±46.23	5.13±0.81	4.79±0.15	1.23±0.04
13	7.10±0.01	4.45±0.09	16.54±0.49	28.52±0.84	17.38±0.65	0.95±0.01	840.47±32.81	5.13±0.81	4.24±0.07	1.22±0.01
CV (%)	0.51	2.73	3.60	3.60	5.21	5.78	4.71	10.96	7.49	3.04

หมายเหตุ: ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, 1 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 3:1:1:3:2 (ชัยมงคล ใจหล้า และบุญร่วม ดิดค้า, 2558), 2 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 2:2:2:2:2, 3 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:6:1:1, 4 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 2:1:4:2:1, แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 3:1:4:1:1, 6 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 3:1:3:1:2, 7 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:3:2:3, 8 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:4:2:2, 9 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 2:1:3:2:2, 10 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:3:1:4, 11 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 2:1:3:1:3, 12 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:2:3:3 และ 13 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:3:3:2

คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากสายพานการผลิตของโรงงาน

จากการศึกษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากสายพานการผลิตของโรงงาน เมื่อนำกรรมวิธีที่ดีที่สุดจากการทดลองข้างต้นที่ผ่านมาตรฐานตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร (กรรมวิธีที่ 10 แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1:1:3:1:4) เข้าผลิตในสายพานการผลิตของโรงงานด้วยระบบจานปั้นเม็ด (pan-granulation system factory) ทำการผลิตจำนวน 500 กิโลกรัมต่อรุ่นการผลิต โดยในการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยจะทำการเก็บตัวอย่างจากตำแหน่งสายพานที่ลำเลียงปุ๋ยเข้าสู่ถังพักเก็บปุ๋ย ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา พบว่า ผลผลิตของปุ๋ยที่ได้ มีเปอร์เซ็นต์ที่พร้อมบรรจุกระสอบ (ขนาดมาตรฐาน) เท่ากับ 81.10 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์ที่เกิดจากการสูญเสียในกระบวนการผลิตเท่ากับ 18.90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีขนาดใหญ่กว่าขนาดมาตรฐานเท่ากับ 3.72 เปอร์เซ็นต์ และมีขนาดเล็กกว่าขนาดมาตรฐานเท่ากับ 15.18 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 6)

ตาราง 6 ประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อรุ่นที่ทำการผลิตในสายพานการผลิตของโรงงาน

ผลผลิตปุ๋ย	ขนาดเม็ดปุ๋ย	เปอร์เซ็นต์
ปุ๋ยที่พร้อมบรรจุกระสอบ	ขนาดมาตรฐาน (6 มิลลิเมตร)	81.10
ปุ๋ยที่เกิดจากการสูญเสียในกระบวนการผลิต	ขนาดใหญ่ (>6 มิลลิเมตร)	3.72
	ขนาดเล็ก (<6 มิลลิเมตร)	15.18

คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้ พบว่า มีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 20.67 ถึง 21.80 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 7.71 ถึง 7.83 ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 3.74 ถึง 3.97 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ระหว่าง 11.75 ถึง 13.52 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 20.26 ถึง 23.30 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 8.99 ถึง 10.24 และปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1.33 ถึง 1.35 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ระหว่าง 4.71 ถึง 5.43 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.67 ถึง 1.48 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 7)

นอกจากนี้ผลการส่งตัวอย่างตรวจ ณ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 จังหวัดเชียงใหม่ ผลการวิเคราะห์ พบว่า ขนาดเม็ดปุ๋ยไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตรเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้เท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบหิน พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ มีค่าปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 22.9 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด–ด่างเท่ากับ 7.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 10:1 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 4.3 เดซิซีเมนต่อเมตร มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์เท่ากับ 185.4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.4, 4.1 และ 1.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ณ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาเชียงใหม่ ผลการวิเคราะห์ พบว่ามีปริมาณสารหนูเท่ากับ 9.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคดเมียมเท่ากับ 0.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโครเมียม เท่ากับ 39.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณทองแดงเท่ากับ 144 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณตะกั่วเท่ากับ 8.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไม่พบปริมาณของปรอท (ตาราง 8)

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในสายพานการผลิตของโรงงาน

นาทีที่	ความชื้น (%)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	อินทรีย์คาร์บอน (%)	อินทรียวัตถุ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)
1	21.27±0.70	7.76±0.01	3.97±0.07	13.16±0.27	22.69±0.46	9.98±0.47	1.35±0.02	5.43±0.26	0.67±0.01
2	21.20±0.72	7.73±0.01	3.91±0.02	13.52±0.27	23.30±0.46	10.10±0.45	1.34±0.01	5.13±0.07	0.90±0.00
3	20.67±0.23	7.82±0.01	3.87±0.03	13.46±0.20	23.20±0.35	10.24±0.47	1.35±0.02	4.79±0.07	1.25±0.05
4	21.73±0.31	7.83±0.00	3.84±0.01	12.93±0.10	22.29±0.18	9.95±0.57	1.33±0.01	4.92±0.07	0.89±0.00
5	21.07±0.61	7.75±0.02	3.82±0.02	11.75±0.20	20.26±0.35	8.99±0.51	1.34±0.01	4.83±0.13	1.47±0.09
6	21.27±0.31	7.72±0.01	3.88±0.03	12.22±0.37	21.07±0.63	9.03±0.31	1.35±0.01	5.09±0.13	1.09±0.01
7	20.67±0.12	7.71±0.01	3.91±0.03	12.05±0.27	20.77±0.46	9.06±0.37	1.35±0.01	4.79±0.26	1.48±0.02
8	21.80±0.20	7.78±0.01	3.88±0.08	13.16±0.10	22.69±0.18	9.79±0.05	1.34±0.01	4.92±0.19	1.12±0.02
9	21.33±0.50	7.77±0.01	3.77±0.02	12.81±0.37	22.09±0.63	9.50±0.22	1.35±0.01	4.71±0.13	1.10±0.05
10	21.40±0.53	7.77±0.01	3.74±0.01	12.93±0.37	22.29±0.63	9.70±0.38	1.34±0.01	4.83±0.13	1.31±0.04
$\overline{X}$	21.24	7.76	3.86	12.80	22.07	9.63	1.34	4.94	1.13
CV (%)	0.14	0.00	0.00	0.36	1.07	0.22	0.00	0.05	0.07

หมายเหตุ: ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 8 ผลการส่งตรวจตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551	ผลการส่งตรวจตัวอย่างปุ๋ย
ขนาดไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร	100 เปอร์เซ็นต์
ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	4 เปอร์เซ็นต์
ปริมาณหิน ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	ไม่พบปริมาณหิน
ต้องไม่มีพลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ	ไม่มีพลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ
ปริมาณอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	22.9 เปอร์เซ็นต์
ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 5.5–8.5	7.5
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)ไม่เกิน 20:1	10:1
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร	4.3 เดซิซีเมนต่อเมตร
ปริมาณธาตุอาหารหลัก	
ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์	1.4 เปอร์เซ็นต์
ฟอสฟอรัส (total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์	4.1 เปอร์เซ็นต์
โพแทสเซียม (total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์	1.7 เปอร์เซ็นต์
การย่อยสลายที่สมบูรณ์ไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์	185.4 เปอร์เซ็นต์
สารหนูไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	9.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียมไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	0.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โครเมียมไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	39.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ทองแดงไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	144 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตะกั่วไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	8.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ปรอทไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่พบ

หมายเหตุ: สถานที่ส่งตรวจตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ได้แก่ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 จังหวัดเชียงใหม่ และบริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาเชียงใหม่

ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

จากการศึกษาต้นทุนการผลิตต่อรุ่นของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตด้วยสูตรปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ โดยใช้ข้อมูลงบประมาณบริหารจัดการ โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อพัฒนาสู่เกษตรปลอดภัย พ.ศ. 2561 ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์จังหวัดพะเยาร่วมกับองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา จำนวน 1 ตัน มีค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น 5,354.54 บาท (ตาราง 9) ได้แก่

1. ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ได้แก่ ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา แร่ลีโอนาร์ไดต์ บะซอลต์บดละเอียด มูลหมู และมูลไก่ไข่ รวมทั้งสิ้น 2,537.82 บาท

2. ค่าใช้จ่ายในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด รวมทั้งสิ้น 1,091.78 บาท ได้แก่

2.1 ค่ากระสอบบรรจุ ถุง แกลอน ขวด และวัสดุอื่น ๆ

2.2 ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าโทรศัพท์ ค่าอินเตอร์เน็ต ค่าน้ำดื่ม ค่าแก๊ส และสาธารณูปโภคอื่น ๆ

2.3 ค่าใช้จ่ายด้านการตลาด ประชาสัมพันธ์ และส่งเสริมการขาย เช่น ค่าสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ ค่าล้างและอัด/ขยายภาพ ทำแผ่นโปสเตอร์ แผ่นพับ ป้ายประชาสัมพันธ์เผยแพร่ วีดีทัศน์ สปอร์ตโฆษณา สื่อวิทยุ งานออกบูธประชาสัมพันธ์ค่าจ้างแรงงานฝีมือควบคุมและซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล (รายวัน)

2.4 ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่น งานด้านการติดตามประเมินผล/สัมมนา/ฝึกอบรม/ศึกษาดูงานในและนอกโรงงาน/ค่าวิจัยคุณภาพ/ค่าธรรมเนียมในอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน/กิจกรรมต่าง ๆ

2.5 ค่าจ้างแรงงานฝีมือควบคุมและซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล (รายวัน)

2.6 ค่าวัสดุอุปกรณ์สำนักงาน วัสดุคอมพิวเตอร์ วัสดุเกษตร สำหรับค่าแปลงสาธิต เครื่องใช้ไฟฟ้า ค่าวารสารสิ่งพิมพ์

2.7 งานซ่อมบำรุง ปรับปรุง ซ่อมแซม ค่าวัสดุติดตั้งบำรุงรักษาอาคาร เครื่องจักรกล ยานพาหนะ และขนส่ง ระบบงานไฟฟ้า–ประปา

3. ค่าแรงงานที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด รวมทั้งสิ้น 1,724.94 บาท

จากนั้นทำการกำหนดราคาขายปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตามที่โรงงานกำหนด ราคา 8,000 บาทต่อตัน เมื่อนำไปคำนวณหาผลตอบแทนที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด พบว่า มีกำไรสุทธิที่ได้จากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด จำนวน 1 ตัน เท่ากับ 2,645.47 บาท และมีอัตรากำไรต่อต้นทุนเท่ากับ 49.41 เปอร์เซ็นต์ โดยมีรูปแบบการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2 รูปแบบ ได้แก่ กระสอบ 25 กิโลกรัม มีกำไรสุทธิ 66.14 บาทต่อกระสอบ และกระสอบ 50 กิโลกรัม มีกำไรสุทธิ 132.27 บาทต่อกระสอบ (ตาราง 10)

ตาราง 9 ต้นทุนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

รายการ			ราคา (บาท)
ค่าวัตถุดิบ			
	ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา	108.00	
	แร่ลิโอนาร์ไดต์	351.00	
	บะซอลต์บดละเอียด	379.00	**2,537.82**
	มูลหมู	320.00	
	มูลไก่ไข่	1,379.82	
ค่าใช้จ่ายในการผลิต			
	ค่ากระสอบบรรจุ ถุง แกลอน ขวด และวัสดุอื่น ๆ	297.62	
	ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าโทรศัพท์ ค่าอินเตอร์เน็ต ค่าน้ำดื่ม ค่าแก๊ส และสาธารณูปโภคอื่น ๆ	342.40	
	ค่าใช้จ่ายด้านการตลาด ประชาสัมพันธ์ และส่งเสริมการขาย เช่น ค่าสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ ค่าล้างและอัด/ขยายภาพ ทำแผ่นโปสเตอร์ แผ่นพับ ป้ายประชาสัมพันธ์เผยแพร่ วีดีทัศน์ สปอร์ตโฆษณา สื่อวิทยุ งานออกบูธประชาสัมพันธ์	32.59	
	ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่น งานด้านการติดตามประเมินผล/สัมมนา/ฝึกอบรม/ศึกษาดูงานในและนอกโรงงาน/ค่าวิจัยคุณภาพ/ค่าธรรมเนียมในอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน/กิจกรรมต่าง ๆ	15.48	**1,091.78**
	ค่าจ้างแรงงานฝีมือควบคุมและซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล (รายวัน)	-	
	ค่าวัสดุอุปกรณ์สำนักงาน วัสดุคอมพิวเตอร์ วัสดุเกษตร สำหรับค่าแปลงสาธิต เครื่องใช้ไฟฟ้า ค่าวารสารสิ่งพิมพ์	59.49	
	งานซ่อมบำรุง ปรับปรุง ซ่อมแซม ค่าวัสดุติดตั้งบำรุงรักษาอาคาร เครื่องจักรกล ยานพาหนะ และขนส่ง ระบบงานไฟฟ้า-ประปา	344.20	
ค่าแรงงาน			**1,724.94**
	รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น		**5,354.54**

ตาราง 10 ผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ผลผลิตปุ๋ย	โรงงานกำหนดราคาขาย (บาท)	ราคาต้นทุน (บาท)	กำไรสุทธิ (บาท)
กระสอบ 25 กิโลกรัม	200.00	133.86	66.14
กระสอบ 50 กิโลกรัม	400.00	267.73	132.27
ขนาด big bag 1,000 กิโลกรัม	8,000.00	5,354.54	2,645.47

ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ในระดับโรงเรือน

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการทดลองต่อผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พบว่าคุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยดินในแต่ละกรรมวิธีมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 8.78 ถึง 8.90 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 0.07 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 19.40 ถึง 20.85 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.21 ถึง 0.23 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ระหว่าง 3,035.16 ถึง 3,613.23 ppm และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ระหว่าง 15,386.07 ถึง 16,314.73 ppm (ตาราง 11)

ตาราง 11 คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการทดลอง

กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	อินทรียวัตถุ (%)	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm)
1	8.78±0.05	0.07±0.01	19.94±1.37	0.23±0.01	3035.16±0.09	16063.11±0.48
2	8.84±0.07	0.07±0.01	20.45±1.61	0.23±0.02	3017.71±0.09	15642.87±0.13
3	8.89±0.07	0.07±0.00	19.40±1.15	0.23±0.02	3167.29±0.04	15386.07±0.08
4	8.90±0.09	0.07±0.00	20.85±1.14	0.21±0.04	3600.49±0.08	15756.58±0.14
5	8.86±0.12	0.07±0.01	19.81±1.05	0.23±0.02	3588.30±0.09	15768.07±0.36
6	8.90±0.14	0.07±0.00	19.93±1.59	0.22±0.03	3613.23±0.10	16314.73±0.17
F-test	ns	Ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.05	5.97	6.66	11.77	25.64	16.87

หมายเหตุ: ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม), 2 ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตราการใช้ 35 กิโลกรัมต่อไร่ หลังวันปักดำ 7 วัน, ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตราการใช้ 13 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะข้าวกำเนิดช่อดอก) (กรมวิชาการเกษตร, 2548), 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่, 4 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่, 5 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และ 6 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดินหลังทำการทดลอง พบว่าความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ที่เป็นตัวบ่งบอกระดับการอัดตัวของอนุภาคดิน มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยความหนาแน่นรวมของดินแต่กรรมวิธีมีค่าอยู่ระหว่าง 1.51 ถึง 1.68 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของอนุภาคดิน (partical density) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าความหนาแน่นอนุภาคดินแต่ละกรรมวิธีมีค่าอยู่ระหว่าง 2.47 ถึง 2.50 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความพรุนของดิน (porosity) คือช่องว่างในดิน มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยความพรุนของดินแต่ละกรรมวิธีมีค่าอยู่ระหว่าง 32.11 ถึง 39.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบ (ตาราง 12) และประเภทของโครงสร้างของดินหลังการทดลอง พบว่าแต่กรรมวิธีพบประเภทของโครงสร้างดินทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ โครงสร้างดินแบบก้อนเหลี่ยม โครงสร้างดินแบบก้อนกลม และไม่มีโครงสร้าง โดยมีโครงสร้างดินแบบก้อนเหลี่ยมอยู่ระหว่าง 60.08 ถึง 73.28 เปอร์เซ็นต์ โครงสร้างดินแบบก้อนกลมอยู่ระหว่าง 20.83 ถึง 31.39 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีโครงสร้างอยู่ระหว่าง 3.76 ถึง 8.53 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 13)

ตาราง 12 คุณสมบัติทางกายภาพของดินหลังทำการทดลอง

กรรมวิธี	ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	ความหนาแน่นอนุภาค (g/cm^3)	ความพรุน (%)
1	1.62 ± 0.01^{c}	2.50 ± 0.03	34.95 ± 1.04^{c}
2	1.58 ± 0.01^{d}	2.48 ± 0.00	36.48 ± 0.27^{b}
3	1.51 ± 0.00^{e}	2.49 ± 0.03	39.58 ± 0.97^{a}
4	1.59 ± 0.01^{d}	2.47 ± 0.01	35.77 ± 0.43^{bc}
5	1.65 ± 0.01^{b}	2.47 ± 0.02	33.32 ± 0.86^{d}
6	1.68 ± 0.01^{a}	2.47 ± 0.01	32.11 ± 0.56^{d}
F-test	*	ns	*
CV (%)	0.49	0.83	2.11

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test: DMRT), ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม), 2 ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตราการใช้ 35 กิโลกรัมต่อไร่ หลังวันปักดำ 7 วัน, ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตราการใช้ 13 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะข้าวกำเนิดช่อดอก) (กรมวิชาการเกษตร, 2548), 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่, 4 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่, 5 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และ 6 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่

ตาราง 13 ประเภทของโครงสร้างของดินหลังการทดลอง

กรรมวิธี	ประเภทของโครงสร้างของดิน (types of soil structure)			รวม (%)
	โครงสร้างดินแบบก้อนเหลี่ยม (blocky structure) (%)	โครงสร้างดินแบบก้อนกลม (granular structure) (%)	ไม่มีโครงสร้าง (single grain) (%)	
1	66.40	26.71	6.89	100.00
2	67.20	26.47	6.33	100.00
3	60.08	31.39	8.53	100.00
4	72.73	23.51	3.76	100.00
5	72.84	21.66	5.50	100.00
6	73.28	20.83	5.88	100.00

หมายเหตุ: 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม), 2 ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตราการใช้ 35 กิโลกรัมต่อไร่ หลังวันปักดำ 7 วัน, ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตราการใช้ 13 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะข้าวกำเนิดช่อดอก) (กรมวิชาการเกษตร, 2548), 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่, 4 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่, 5 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และ 6 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่

จากการเปรียบเทียบผลของการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตราการใช้ที่แตกต่างกันที่มีผลต่อความสูงของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ที่อายุ 45, 112 และ 138 วัน มีผลดังนี้

ความสูงของต้นข้าวที่อายุ 45 วัน

พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 3 (การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าเฉลี่ยของความสูงมากที่สุดเท่ากับ 38.20 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 (การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าเฉลี่ยของความสูงเท่ากับ 38.13 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 1 (ไม่ใส่ปุ๋ย) มีค่าเฉลี่ยของความสูงเท่ากับ 38.00 เซนติเมตร (ตาราง 14)

ความสูงของต้นข้าวที่อายุ 112 วัน (วันดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์)

พบว่า กรรมวิธีที่ 2 (การใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร) มีค่าเฉลี่ยของความสูงมากที่สุดเท่ากับ 102.60 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของความสูงเท่ากับ 99.00 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 4 (การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าเฉลี่ยของความสูงเท่ากับ 97.70 เซนติเมตร (ตาราง 14)

ความสูงของต้นข้าวที่อายุ 138 วัน (วันเก็บเกี่ยว)

พบว่า กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของความสูงมากที่สุดเท่ากับ 108.50 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของความสูงเท่ากับ 103.20 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของความสูงเท่ากับ 102.30 เซนติเมตร (ตาราง 14)

ตาราง 14 ความสูงของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

กรรมวิธี	ความสูง (cm)		
	อายุ 45 วัน	อายุ 112 (วันดอกบาน 50%)	อายุ 138 วัน (วันเก็บเกี่ยว)
1	38.00±0.20	91.60±0.60^{c}	97.60±3.00^{c}
2	37.53±0.99	102.60±1.40^{a}	108.50±0.50^{a}
3	38.20±0.69	96.50±1.30^{b}	101.00±0.80^{bc}
4	37.33±0.50	97.70±0.70^{b}	102.30±0.50^{b}
5	38.13±0.61	99.00±2.40^{ab}	103.20±0.60^{b}
6	37.00±0.80	96.00±4.60^{b}	99.30±4.10^{bc}
F-test	ns	*	*
CV (%)	1.80	2.35	2.09

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test: DMRT), ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม), 2 ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตราการใช้ 35 กิโลกรัมต่อไร่ หลังวันปักดำ 7 วัน, ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตราการใช้ 13 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะข้าวกำเนิดช่อดอก) (กรมวิชาการเกษตร, 2548), 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่, 4 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่, 5 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และ 6 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่

จากการเปรียบเทียบผลของการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตราการใช้ที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในต้นข้าวที่อายุ 45, 112 และ 138 วัน มีผลดังนี้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในต้นข้าว ได้แก่

ต้นข้าวอายุ 45 วัน

พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 3.08 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 6 (การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่) มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 2.95 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 2.94 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15)

ต้นข้าวอายุ 92 วัน (ระยะกำเนิดช่อดอก)

พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1.85 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.82 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.77 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15)

ต้นข้าวอายุ 138 วัน

พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 0.73 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.72 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.71 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในต้นข้าว ได้แก่

ต้นข้าวอายุ 45 วัน

พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 3, 4, 5 และ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1.48 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 1.44 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 1.27 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15)

ต้นข้าวอายุ 92 วัน (ระยะกำเนิดช่อดอก)

พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน โดยกรรมวิธีที่ 2, 5 และ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1.53 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 1.48 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 1.40 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15)

ต้นข้าวอายุ 138 วัน

พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1.53 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 4 และ 6 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 1.44 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 1.40 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15)

ตาราง 15 ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดในต้นข้าว

กรรมวิธี	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)			ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)		
	45 วัน	92 วัน	138 วัน	45 วัน	92 วัน	138 วัน
1	2.29±0.16^{c}	1.41±0.07^{c}	0.69±0.01^{ab}	1.27±0.00^{b}	1.40±0.00	1.36±0.07^{bc}
2	3.08±0.09^{a}	1.82±0.08^{ab}	0.57±0.11^{b}	1.44±0.07^{a}	1.53±0.13	1.27±0.00^{c}
3	2.31±0.11^{c}	1.56±0.07^{bc}	0.70±0.02^{a}	1.48±0.07^{a}	1.48±0.07	1.40±0.00^{abc}
4	2.61±0.21^{b}	1.58±0.32^{abc}	0.71±0.06^{a}	1.48±0.07^{a}	1.48±0.07	1.44±0.07^{ab}
5	2.94±0.04^{a}	1.77±0.12^{ab}	0.72±0.07^{a}	1.48±0.07^{a}	1.53±0.00	1.53±0.13^{a}
6	2.95±0.07^{a}	1.85±0.06^{a}	0.73±0.06^{a}	1.48±0.07^{a}	1.53±0.00	1.44±0.07^{ab}
F-test	*	*	*	*	ns	*
CV (%)	4.74	8.95	9.32	4.75	4.48	5.23

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test: DMRT), ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม), 2 ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตราการใช้ 35 กิโลกรัมต่อไร่ หลังวันปักดำ 7 วัน, ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตราการใช้ 13 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะข้าวกำเนิดช่อดอก) (กรมวิชาการเกษตร, 2548), 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่, 4 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่, 5 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และ 6 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่

และจากการเปรียบเทียบผลของการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตราการใช้ที่แตกต่างกันที่มีผลต่อองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พบว่า ไม่มีผลทำให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีผลทำให้จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวง น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ และผลผลิตต่อไร่ มีความความแตกต่างกันทางสถิติ โดย

จำนวนรวงต่อกอ

พบว่า กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนรวงต่อกอมากที่สุดเท่ากับ 13.44 รวง รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนรวงต่อกอเท่ากับ 12.67 รวง และกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนรวงต่อกอเท่ากับ 12.33 รวง (ตาราง 16)

ความยาวรวงต่อกอ

พบว่า กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของความยาวรวงต่อกอมากที่สุดเท่ากับ 25.51 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของความยาวรวงต่อกอเท่ากับ 25.18 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของความยาวรวงต่อกอเท่ากับ 24.88 เซนติเมตร (ตาราง 16)

จำนวนเมล็ดดีต่อรวง

พบว่า กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดดีต่อรวงมากที่สุดเท่ากับ 153.60 เมล็ด รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดดีต่อรวงเท่ากับ 151.73 เมล็ด และกรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดดีต่อรวงเท่ากับ 141.87 เมล็ด (ตาราง 16)

จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง

พบว่า กรรมวิธีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงมากที่สุดเท่ากับ 24.00 เมล็ด รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงเท่ากับ 22.20 เมล็ด และกรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงเท่ากับ 20.67 เมล็ด (ตาราง 16)

เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวง

พบว่า กรรมวิธีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวงมากที่สุดเท่ากับ 90.38 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวงเท่ากับ 88.60 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวงเท่ากับ 88.56 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 16)

น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ

พบว่า กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดดีต่อกอมากที่สุดเท่ากับ 35.41 กรัม รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดดีต่อกอเท่ากับ 32.30 กรัม และกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดดีต่อกอเท่ากับ 29.00 กรัม (ตาราง 16)

น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ

พบว่า กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอมากที่สุดเท่ากับ 1.39 กรัม รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอเท่ากับ 1.36 กรัม และกรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอเท่ากับ 1.15 กรัม (ตาราง 16)

น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ

พบว่า กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอมากที่สุดเท่ากับ 36.57 กรัม รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอเท่ากับ 33.70 กรัม และกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอเท่ากับ 30.03 กรัม (ตาราง 16)

ผลผลิตต่อไร่

พบว่า กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของผลผลิตต่อไร่มากที่สุดเท่ากับ 696.87 กิโลกรัม รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเฉลี่ยของผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 550.67 กิโลกรัม และกรรมวิธีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 503.39 กิโลกรัม (ตาราง 16)

ตาราง 16 องค์ประกอบของผลผลิตข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

กรรมวิธี	จำนวนรวงต่อกอ (รวง)	ความยาวรวงต่อกอ (เซนติเมตร)	จำนวนเมล็ดดีต่อรวง (เมล็ด)	จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง (เมล็ด)	เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวง	น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ (กรัม)	น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ (กรัม)	น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ (กรัม)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่)
1	10.78±0.77^{b}	23.97±0.47^{b}	132.13±18.72	24.00±7.27^{a}	84.46±5.47^{ab}	22.28±3.01^{c}	1.06±0.45	23.34±3.42^{b}	432.62^{b}
2	13.44±0.96^{a}	24.88±0.49^{ab}	139.40±12.24	22.20±3.56^{ab}	86.26±1.79^{b}	35.41±6.61^{a}	1.15±0.18	36.57±6.79^{a}	696.87^{a}
3	10.78±0.77^{b}	24.59±0.49^{ab}	137.80±8.38	14.60±1.91^{b}	90.38±1.54^{a}	26.45±1.71^{bc}	1.36±0.09	27.81±1.63^{ab}	463.49^{b}
4	11.89±0.19^{ab}	24.77±0.62^{ab}	141.87±8.82	18.33±1.60^{ab}	88.56±0.66^{ab}	26.70±4.04^{bc}	1.05±0.11	27.75±4.05^{ab}	476.65^{b}
5	12.33±1.33^{ab}	25.51±0.69^{a}	153.60±12.26	19.93±4.24^{ab}	88.60±1.52^{ab}	29.00±1.66^{abc}	1.03±0.14	30.03±1.54^{ab}	550.67^{b}
6	12.67±0.88^{a}	25.18±0.34^{a}	151.73±6.85	20.67±5.32^{ab}	88.10±2.31^{ab}	32.30±5.97^{ab}	1.39±0.75	33.70±6.72^{a}	503.39^{b}
F-test	*	*	ns	*	*	*	ns	*	*
CV (%)	7.41	2.14	8.32	22.22	3.07	14.95	31.96	15.24	12.78

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิง พหุคันแคน (Duncan's new multiple range test: DMRT), ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม), 2 ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตราการใช้ 35 กิโลกรัมต่อไร่ หลังวันปักดำ 7 วัน, ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตราการใช้ 13 กิโลกรัมต่อไร่ ในระยะข้าวกำเนิดช่อดอก) (กรมวิชาการเกษตร, 2548), 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่, 4 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่, 5 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และ 6 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

ปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana*

จากการปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *P. peguana* เพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด พบว่าการใช้ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วันก่อนนำมาเลี้ยงไส้เดือน ปริมาณ 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือนดิน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้ได้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ผลิตจากผักตบชวาที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด โดยปุ๋ยที่ได้มีการย่อยสลายที่ค่อนข้างสมบูรณ์ ลักษณะเป็นเม็ด มีสีดำ ค่าความเป็นกรด–ด่างเท่ากับ 7.73 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 1.70 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 31.99 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ยังพบว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนที่เลี้ยงด้วยผักตบชวานั้นมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.74, 2.76 และ 3.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมถึงมีไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมกับไนโตรเจนในรูปไนเตรท เท่ากับ 99.40 และ 6.53 ppm ตามลำดับ

การคัดเลือกวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดระดับห้องปฏิบัติการ

จากการคัดเลือกวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีส่วนประกอบของแร่ลิโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ1:1:3:1:4 ตามลำดับ ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพสูง โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 29.85 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.22, 4.20 และ 3.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมถึงมีไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมกับไนโตรเจนในรูปไนเตรท เท่ากับ 1,022.93 และ 9.80 ppm ตามลำดับ

คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากสายพานการผลิตของโรงงาน

จากการศึกษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากสายพานการผลิตของโรงงานด้วยวัตถุดิบซึ่งได้แก่ แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1:3:1:4 ตามลำดับ ในสายพานการผลิตของโรงงานด้วยระบบจานปั้นเม็ด พบว่า ปุ๋ยที่ผลิตได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ สอดคล้องตามข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวตามมาตรฐานตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 และเม็ดปุ๋ยที่ผลิตได้มีขนาดมาตรฐานพร้อมบรรจุกระสอบต่อรุ่นการผลิต คิดเป็น 81.10 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียจากกระบวนการผลิตคิดเป็น 18.90 เปอร์เซ็นต์

ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

จากการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการผลิตปุ๋ยจำนวน 1 ตัน ซึ่งประกอบด้วยค่าวัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายในการผลิต และค่าแรงงาน พบว่า ต้นทุนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดสูตรที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ มีค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น 5,354.54 บาท มีกำไรสุทธิที่ได้จากการผลิตปุ๋ย เท่ากับ 2,645.47 บาท และมีอัตรากำไรต่อต้นทุน เท่ากับ 49.41 เปอร์เซ็นต์

ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ในระดับโรงเรือน

จากผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ในระดับโรงเรือน พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร มีผลทำให้การเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตมีมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยและกรรมวิธีที่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตราการใช้ที่แตกต่างกัน โดยมีความสูงของต้นข้าวที่อายุ 138 วัน (วันเก็บเกี่ยว) เท่ากับ 108.50 เซนติเมตร และมีผลผลิตต่อไร่ เท่ากับ 696.87 กิโลกรัมต่อไร่ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตราที่แตกต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตโดยรวมที่ดีที่สุด โดยมีความสูงของต้นข้าวที่อายุ 138 วัน (วันเก็บเกี่ยว) เท่ากับ 103.20 เซนติเมตร และมีผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 550.67 กิโลกรัมต่อไร่

อภิปรายผลการวิจัย

ปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน *Pheretima peguana*

จากการทำปุ๋ยหมักผักตบชวาด้วยไส้เดือนดิน *P. peguana* เป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่าคุณภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาโดยรวมที่ดีที่สุด คือ กรรมวิธีที่ 6 การใช้ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วันก่อนการทดลอง ปริมาณ 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือนดิน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร โดยปุ๋ยที่ได้มีการย่อยสลายที่ค่อนข้างสมบูรณ์ ลักษณะเป็นเม็ด มีสีดำ มีความชื้นเท่ากับ 16.40 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด–ด่างเท่ากับ 7.73 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 1.70 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 18.55 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 31.99 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 24.98 นอกจากนี้ ยังพบว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนที่เลี้ยงด้วยผักตบชวานั้นมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.74, 2.76 และ 3.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมถึงมีไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมกับไนโตรเจนในรูปไนเตรท เท่ากับ 99.40 และ 6.53 ppm ตามลำดับ ซึ่งได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับ Patil, et al. (2012) ที่ผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาและมูลสัตว์ด้วยการนำผักตบชวา 70 เปอร์เซ็นต์ มูลสัตว์ 10 เปอร์เซ็นต์ และกระดาษแข็งหั่นย่อย 20 เปอร์เซ็นต์ พร้อมกับปล่อยไส้เดือนดิน *Eisenia fetida* อัตรา 0.25 กิโลกรัม ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนแบบโรตารีจากนั้นให้เครื่องหมุนเบา ๆ เพื่อให้ไส้เดือนย่อยอาหารที่ใส่ลงไป และให้อากาศผ่านเป็นการเพิ่มรูพรุนให้กับปุ๋ย เป็นเวลา 45 วัน และพบว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่ได้มีความชื้นเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรด–ด่างเท่ากับ 7.26 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.72, 0.51 และ 0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมถึง สกุลเทพ ชูพงษ์, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ และพิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร (2559) ที่ศึกษาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน โดยวัสดุอินทรีย์ผสม ได้แก่ มูลวัวขี้เลื่อย ฟางข้าวแห้ง เปลือกไข่บด กระดาษเหลือทิ้ง วัสดุเพาะเห็ด และผักตบชวา ผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วน 1:1:1:1:1:1:3 ใช้เป็นซับสเตรทในการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน โดยใช้ไส้เดือนสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* ผลการทดลอง พบว่า ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจากวัสดุผสมผักตบชวามีค่าความชื้น 24.67 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด–ด่าง 8.2 ค่าการนำไฟฟ้า 1.86 เดซิซีเมนต่อเมตร ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดถั่วเขียวเท่ากับ 93.68 เปอร์เซ็นต์ ค่าอินทรียวัตถุเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ ค่าธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 1.44, 1.05 และ 2.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นผักตบชวาจึงเป็นวัสดุหนึ่งที่

เหมาะสมและมีศักยภาพในการนำมาผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินใช้แปลงปลูกพืช เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน (2560) รายงานว่าปุ๋ยหมักผักตบชวามีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ไม่น้อยกว่า 0.25 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีเนื้อปุ๋ยมีสีน้ำตาลปนดำ มีลักษณะอ่อนนุ่ม และไม่มีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ ยังพบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยที่ผลิตได้จากการทดลองสอดคล้องกับ นริสรา พานพ่วง และสาวิตรี จันทรานุรักษ์ (2555) ที่รายงานว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเป็น 3.38 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งไปกว่านั้น การผลิตปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับการปล่อยไส้เดือนจะทำให้การย่อยสลายของปุ๋ยหมักผักตบชวาดีขึ้น โดยปุ๋ยที่ผลิตได้นั้นมีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 16.76–24.98 ซึ่งต่ำกว่าที่ กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน (2560) รายงานไว้ว่าปุ๋ยหมักผักตบชวาจะมีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30 ต่อ 1 รวมถึง เฉลิมชัย แพะคำ และคณะ (2557) ที่ผลิตปุ๋ยหมักผักตบชวาด้วยการใช้เชื้อรายย่อยสลายชนิด *Trichoderma* sp. ไอโซเลท UPPY19 ที่รายงานว่าปุ๋ยที่ผลิตได้มีความเป็นกรด–ด่างเท่ากับ 9.00 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 5.00 เดซิซีเมนต่อเมตร และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 47.29 เป็นต้น

การคัดเลือกวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดระดับห้องปฏิบัติการ

จากการคัดเลือกวัตถุดิบและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดระดับห้องปฏิบัติการ โดยนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวาตามกรรมวิธีที่ 6 (ใช้ผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา 30 วันก่อนนำมาเลี้ยงไส้เดือน 7 กิโลกรัม ร่วมกับมูลวัว 3 กิโลกรัม และปล่อยไส้เดือนดิน *P. peguana* อัตรา 500 กรัมต่อตารางเมตร) มาทำการผสมกับวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แร่ลีโอนาร์ไดต์ หินบะซอลต์บดละเอียด มูลสุกร และมูลไก่ไข่ ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด จากนั้นทำการคัดเลือกสูตรปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตามข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวตามมาตรฐานตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 พบว่า กรรมวิธีที่ 10 ที่ใช้แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1:3:1:4 ตามลำดับ ได้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีคุณภาพโดยรวมที่ดีที่สุด ที่มีค่าความเป็นกรด–ด่างเท่ากับ 7.35 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 6.00 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 17.32 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 29.85 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.22, 4.20 และ 3.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมถึงมีไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมกับไนโตรเจนในรูป

ไนเตรท เท่ากับ 1,022.93 และ 9.80 ppm ตามลำดับ ซึ่งค่าวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่กำหนดให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่เป็นของเหลวนั้นต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 5.5 ถึง 8.5 ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ไม่เกิน 20:1 และปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ไม่น้อยกว่า 1, 0.5 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับ ชัยมงคล ใจหล้า และบุญร่วม คิดค้า (2558) ที่ใช้ปุ๋ยหมักผักตบชวาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา โดยใช้ แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 3:1:1:3:2 มีปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 28.36 และ 2.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าจะมีการใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบที่แตกต่างกันก็ตาม หากใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณที่มากขึ้น โดยมีอัตราส่วน 1:1:3:1:4 จะสามารถนำมาใช้ทดแทนอัตราส่วน 3:1:1:3:2 ได้ (ชัยมงคล ใจหล้า และบุญร่วม คิดค้า, 2558) โดยปุ๋ยที่ได้ยังมีคุณภาพตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบที่มีค่าใช้จ่ายที่สูงได้ เช่น แร่ลีโอนาร์ไดต์ เป็นต้น ได้อีกด้วย

คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากสายพานการผลิตของโรงงาน

จากการศึกษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ได้จากสายพานการผลิตของโรงงานด้วยวัตถุดิบที่ประกอบด้วย แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1:3:1:4 ตามลำดับ พบว่า ได้เม็ดปุ๋ยที่มีขนาดได้มาตรฐาน (6 มิลลิเมตร) ที่พร้อมบรรจุกระสอบ คิดเป็น 81.10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่ผลิตได้ และมีเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียจากกระบวนการผลิตคิดเป็น 18.90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีขนาดใหญ่กว่าขนาดมาตรฐานเท่ากับ 3.72 เปอร์เซ็นต์ และมีขนาดเล็กกว่าขนาดมาตรฐานเท่ากับ 15.18 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยที่ผลิตได้ พบว่า มีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 20.67 ถึง 21.80 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 7.71 ถึง 7.83 ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 3.74 ถึง 3.97 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ระหว่าง 11.75 ถึง 13.52 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 20.26 ถึง 23.30 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 8.99 ถึง 10.24 และปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1.33 ถึง 1.35 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ระหว่าง 4.71 ถึง 5.43 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.67 ถึง 1.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าวิเคราะห์ที่ได้สอดคล้องกับประกาศของกรมวิชาการเกษตร ที่กำหนดให้มีปริมาณความชื้น และสิ่งที่ระเหยได้ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด–ด่างอยู่ระหว่าง 5.5 ถึง 8.5 ค่าการนำไฟฟ้า ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณอินทรียวัตถุ ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ไม่เกิน 20:1 และปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ไม่น้อยกว่า 1, 0.5 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2551) สังวร เสนะโลหิต, พงศ์พันธุ์ เธียรหิรัญ และลัดดา พิศาลบุตร (2558) รายงานว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนใหญ่พบปัญหาด้านคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของปุ๋ย มีคุณภาพไม่แน่นอน เช่นเดียวกับ กัญจน์กรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช (2554) ซึ่งรายงานว่าคุณภาพของปุ๋ยที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุอินทรีย์ที่นำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิต โดยในส่วนของกระบวนการผลิตของโรงงาน ไม่มีผลต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้ ดังนั้นโรงงานผลิตปุ๋ยควรมีการควบคุมคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ที่จะนำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เพื่อจะได้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีคุณภาพที่สอดคล้องกับประกาศของกรมวิชาการเกษตร

ต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

จากการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดสูตรที่ปรับปรุงได้จากงานวิจัยครั้งนี้ (แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:1:3:1:4 ตามลำดับ) จำนวน 1 ตัน โดยคิดต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากการเลี้ยงด้วยผักตบชวารวมกับข้อมูลงบประมาณบริหารจัดการโครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อพัฒนาสู่เกษตรปลอดภัย ประจำปี 2561 ซึ่งประกอบด้วยค่าวัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายในการผลิต และค่าแรงงาน พบว่า ต้นทุนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดสูตรที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ มีค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น 5,354.54 บาท แบ่งเป็น ค่าวัตถุดิบ 2,537.82 บาท ค่าใช้จ่ายในการผลิต 1,091.78 บาท และค่าแรงงาน 1,724.94 บาท มีกำไรสุทธิที่ได้จากการผลิตปุ๋ย เท่ากับ 2,645.47 บาท และมีอัตรากำไรต่อต้นทุน เท่ากับ 49.41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดน้อยกว่าสูตรของโรงงานที่ร่วมวิจัย ณ ปี พ.ศ. 2561 (แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนจากผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 2:2:3:1.5:1.5 ตามลำดับ) โดยมีค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น 5,788.15 บาทต่อตัน มีกำไรสุทธิที่ได้จากการผลิตปุ๋ย เท่ากับ 2,211.85 บาท และมีอัตรากำไรต่อต้นทุน เท่ากับ 38.21 เปอร์เซ็นต์

ผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ในระดับโรงเรือน

จากผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ในระดับโรงเรือน พบว่า กรรมวิธีที่ 2 การใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำทั่วไปของกรมวิชาการเกษตร มีผลทำให้การเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตมีมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย และกรรมวิธีที่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตราการใช้ที่แตกต่างกัน โดยมีความสูงของต้นข้าวที่อายุ 138 วัน (วันเก็บเกี่ยว) มากที่สุดเท่ากับ 108.50 เซนติเมตร จำนวนรวงต่อกอมากที่สุดเท่ากับ 13.44 รวง น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอมากที่สุดเท่ากับ 35.41 กรัม น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอมากที่สุดเท่ากับ 36.57 กรัม และมีผลผลิตต่อไร่มากที่สุดเท่ากับ 696.87 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสอดคล้องกับพักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และคณะ (2559) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยเคมีมีผลทำให้การเจริญเติบโตและปริมาณผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในอัตราที่แตกต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตที่ดีที่สุด โดยมีความสูงของต้นข้าวที่อายุ 138 วัน (วันเก็บเกี่ยว) เท่ากับ 103.20 เซนติเมตร จำนวนเมล็ดดีต่อรวงเท่ากับ 153.60 เมล็ด เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดเท่ากับ 88.60 เปอร์เซ็นต์ และมีผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 550.67 กิโลกรัมต่อไร่ แต่หากทำการพิจารณาถึงต้นทุนในการปลูกข้าวต่อผลผลิตข้าวต่อไร่ พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีต้นทุนในการปลูกข้าวที่ค่อนข้างสูง เท่ากับ 8,000 บาทต่อไร่ จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดต้นทุนในการปลูกข้าวและต้องหาวิธีการจัดการปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 100 หรือ 500 กิโลกรัมต่อไร่ (ให้ผลผลิตต่อไร่ไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี โดยปุ๋ยเคมีจะช่วยเพิ่มธาตุอาหาร และบำรุงรักษาความสมบูรณ์ของดิน ส่วนปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหาร การระบายอากาศ อุ้มน้ำ และบำรุงรักษาความร่วนซุยของดิน นอกจากนี้ต้องมีการพิจารณาถึงชนิดของปุ๋ยที่ใช้และปริมาณของปุ๋ยที่ใช้ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับข้าวที่ปลูกร่วมด้วย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2555) จากรายงานของ กรรณิกา นากลาง และสว่าง โรจนกุศล (2549) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวเท่ากับ 546 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวที่ให้ผลผลิตข้าวเท่ากับ 518 กิโลกรัมต่อไร่ เช่นเดียวกับ เบ็ญจพร กุลนิตย์ และวันเฉลิม ศรีบุญโรจน์ (2560) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เป็นแนวทางการจัดการปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว และเพิ่มผลตอบแทนได้เป็นอย่างดีสำหรับเกษตรกร

รวมถึง Xu, et al. (2008) ทำการเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าวเป็นระยะเวลา 6 ปี พบว่า ปุ๋ยเคมีสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต และปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ได้มากกว่าปุ๋ยอินทรีย์ และเมื่อใช้อัตราปุ๋ยที่ให้ปริมาณธาตุอาหารที่ใกล้เคียงกัน พบว่า ข้าวสามารถดูดใช้ปริมาณไนโตรเจนจากการใส่ปุ๋ยเคมีได้มากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยเฉพาะในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพการดูดใช้ปริมาณไนโตรเจนได้อีกด้วย เนื่องจากปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และมีอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างรวดเร็ว ทำให้พืชสามารถดูดไปใช้ได้ทันที ตรงข้ามกับอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมีการปลดปล่อยอย่างช้า ๆ เนื่องจากธาตุอาหารพืชจะอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ ต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายก่อน พืชจึงจะสามารถดูดไปใช้ได้ (Choi, Ro and Hobbie, 2003)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ในการทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ไม่ว่าวัตถุดิบจะเป็นผักตบชวา หรือวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ ควรทำการศึกษาขั้นตอนในการผลิตให้ดีก่อน เพื่อป้องกันการเกิดข้อผิดพลาดและความเสียหายจากกระบวนการผลิต

2. ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด วัตถุดิบที่นำมาผลิตแต่ละรอบการผลิตควรมาจากที่เดียวกัน หรือมีคุณภาพใกล้เคียงกัน เพื่อให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีคุณภาพและมีความสม่ำเสมอกันทุกครั้งที่ทำการผลิต

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรทำการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบก่อนทำการซื้อขาย หากไม่ทำการตรวจสอบอาจได้วัตถุดิบที่ไม่มีคุณภาพ หรือมีสิ่งอื่น ๆ ที่ไม่พึงประสงค์เจือปนได้ เช่น กรวดหิน เป็นต้น

2. ควรหาวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ มาทดแทนวัตถุดิบที่อาจจะขาดแคลน หรืออาจมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต เพื่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ต่อเนื่อง

3. ควรนำความรู้ด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม มาช่วยในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดให้มีคุณภาพ และมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดีมากขึ้น

บรรณานุกรม

Azarmi, R., Giglou, M. T. and Taleshmikail, R. D. (2008). Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. **African Journal of Biotechnology**, 7(14), 2397–2401.

Byzov, B. A., Khomyakov, N. V., Kharin, S. A. and Kurakov, A. V. (2007). Fate of soil bacteria and fungi in the gut of earthworms. **European Journal of Soil Biology**, 43, 149–156.

Choi, W. J., Ro, H. M., and Hobbie, E. A. (2003). Patterns of natural 15N in soils and plants from chemically and organically fertilized uplands. **Soil Biology and Biochemistry**, 35(11), 1493–1500.

Gunnarsson, C. C. and Petersen, C. M. (2007). Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review. **Waste Management**, 27, 117–129.

Krejcie, R. V. and Morgan, D. W. (1970). Determining Sample Size for Research Activities. **Educational and Psychological Measurement**, 30, 607–610.

Manh, V. H. and Wang, C. H. (2014). Vermicompost as an Important Component in Substrate: Effects on Seedling Quality and Growth of Muskmelon (*Cucumis melo* L.). **APCBEE Procedia**, 8, 32–40.

Padmavathiamma, P. K., Li, L. Y. and Kumari, U. K. (2008). An experimental study of vermi–biowaste composting for agricultural soil improvement. **Bioresource Technology**, 99, 1672–1681.

Patil, J. H., Sanil, P. H., Malini, B. M., Manoj, V., Deepika, D. and Chaitra, D. (2012). Vermicomposting of water hyacinth with poultry litter using rotary drum reactor. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, 4(5), 2585–2589.

Peyvast, G., Olfati, J. A., Madeni, S. and Forghani, A. (2008). Effect of vermicompost on the growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). **Journal of Food, Agriculture and Environment**, 6(1), 110–113.

Sanni, K. O. and Adesina, J. M. (2012). Response of water hyacinth manure on growth attributes and yield of *Celosia argentea* L. (Lagos Spinach). **Journal of Agricultural Technology**, 8(3), 1109–1118.

Sinha, R. K., Herat, S., Valani, D. B. and Chauhan, K. A. (2009). Earthworms vermicompost: A powerful crop nutrient over the conventional compost and protective soil conditioner against the destructive chemical fertilizers for food safety and security. **American–Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 5, 1–55.

Sotolu, A. O. (2010). Digestibility value and nutrient utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) meal as plant protein supplement in the diet of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) juveniles. **American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 9(5), 539–544.

Suthar, S. (2009). Impact of vermicompost and composted farmyard manure on growth and yield of garlic (*Allium stivum* L.) field crop. **International Journal of Plant Production**, 3(1), 27–38.

Tharmaraj, K., Ganesh, P., Kolanjinathan, K., Suresh, K. R. and Anandan A. (2011). Influence of vermicompost and vermiwash on physico chemical properties of rice cultivated soil. **Current Botany**, 2(3), 18–21.

Vidya, S. and Girish, L. (2014). Water hyacinth as a green manure for organic farming. **International Journal of Research in Applied Natural and Social Sciences**, 2(6), 65–72.

Xu, M. G., Li, D. C., Li, J. M., Qin, D. Z., Kazuyuki, Y., and Hosen, Y. (2008). Effects of organic manure application with chemical fertilizers on nutrient absorption and yield of rice in Hunan of Southern China. **Agricultural Sciences in China**, 7(10), 1245–1252.

กรมการข้าว. (2560). **คู่มือพันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์ข้าว** (พิมพ์ครั้งที่ 1). พิษณุโลก: ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก.

กรมวิชาการเกษตร. (2548). **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขานุการกรม กรมการข้าว.

กรมวิชาการเกษตร. (2551). **คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ควิกปริ๊นท์ออฟเซ็ท.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2558). **ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวดี มีประโยชน์** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

กรรณิกา นากลาง และสว่าง โรจนกุศล. (2549). ผลและผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ระยะยาวที่มีต่อผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105. ใน **รายงานการประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2549**. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยข้าว.

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. (2560). **การทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่ขุดลอกจากแหล่งน้ำ** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กัญจน์กรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช. (2554). **การประเมินลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ที่จำหน่ายในเขตภาคกลาง และผลของกระบวนการผลิตแบบปั้นเม็ดต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์**. วิทยานิพนธ์ วท.บ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา. (2541). **ปทานุกรมปฐพีวิทยา** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย** (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เฉลิมชัย แพะคำ, บุญร่วม คิดค้า, มนัส ทิตย์วรรณ และวิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก. (2557). การศึกษาปริมาณธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายโดยเชื้อรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท UPPY19. **วารสารแก่นเกษตร**, 42(1), 671–676.

ชัยมงคล ใจหล้า และบุญร่วม คิดค้า. (2558). การปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา. ใน **รายงานการประชุมวิชาการในงานการประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 4** (หน้า 196–205). สงขลา.

เชาว์วัช หนูทอง. (2550). เคล็ดลับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ดคุณภาพสูง. **วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ**, 9, 64–68.

ทัศนีย์ ศรีโสภา, สุวรรณ หาญวิริยะพันธุ์ และสำอาง เกตุวราภรณ์. (ม.ป.ป.). **การทำปุ๋ยหมักโดยใช้ไส้เดือนดินช่วยย่อยสลายในระบบการผลิตพืช**. เชียงใหม่: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 กรมวิชาการเกษตร.

นริสรา พานพ่วง และสาวิตรี จันทรานุรักษ์. (2555). การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหาร

หลักของพืชในปุ๋ยหมักธรรมชาติ ปุ๋ยมูลไส้เดือน โดยไส้เดือนดิน *Eudrilus eugeniae* และปุ๋ยหมักพด.1. ใน **เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50** (หน้า 442–447). กรุงเทพฯ.

นิรันดร์ หิรัญสุข. (2547). **ศักยภาพจากไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima peguana* ในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ และการผลิตปุ๋ยหมักในสภาพเลียนแบบธรรมชาติ.** เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยและพัฒนาเกษตรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

เบ็ญจพร กุลนิตย์ และวันเฉลิม ศรีบุญโรจน์. (2560). การจัดการปุ๋ยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105. **วารสารเกษตรพระวรุณ**. 14(1), 61–70.

พลฤทธิ์ ทองคลี่. (2561). **การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา และการควบคุมคุณภาพการผลิตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ตรากว๊านพะเยา.** วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์, สมชาย ชคตระการ, วรภัทร ลัคนทินวงศ์, ชวินทร์ ปลื้มเจริญ และภิรญา ชมพูผิว. (2559). การเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อคุณภาพข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 24(5), 753–765.

ภฤศญา ปิยนุสรณ์ และวรรณี สุทธใจดี. (2555). **การศึกษาการเลี้ยงไส้เดือนเชิงพานิชย์ในการจัดการขยะอินทรีย์** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

มงคล ต๊ะอุ่น, เชาว์วัช หนูทอง, สมบูรณ์ ประภาพรรณพงศ์ และณัฐภูมิ สุดแก้ว. (2551). **คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด–ปั้นเม็ด** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกษตรธรรมชาติ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. (2560). **ปุ๋ยอินทรีย์ (ฉบับปรับปรุง) Organic fertilizer** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์บ้านและสวน.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. (2556). **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิวัฒน์ โตธิรกุล, พลยุทธ ศุขสมิติ และจินดารัตน์ โตกมลธรรม. (2552). **การเตรียมสารประกอบเกลือฮิวเมตจากดินปนถ่านหิน จากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กาญจนบุรี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี.

สกุลเทพ ชูพงษ์, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ และพิชญ์ ตั้งสมบัติวิจิตร. (2559). การศึกษาศักยภาพ

การผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจากผักตบชวาบริเวณคลองส่งน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่** 1 (หน้า 519–524). พระนครศรีอยุธยา.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2555). **ตามรอยพระบาท จอมปราชญ์แห่งดิน**. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่งจำกัด.

สมชาย ชคตระการ และอัญชลี จาละ. (2558). การเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกวางตุ้งดอกบนวัสดุปลูกที่เติมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 4(3), 236–243.

สังวรณ์ เสนะโลหิต, พงศ์พันธุ์ เธียรหิรัญ และลัดดา พิศาลบุตร. (2558). ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตโดยโรงงานที่ได้รับอนุญาตจากกรมวิชาการเกษตร. ใน **รายงานการจัดประชุมเสนอผลงานระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่** 5. นนทบุรี.

สัญญา เล่ห์สิงห์. (2558). **อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของจิงจูฉ่าย**. วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). **สถานการณ์การผลิตข้าว ปี 2559 ถึง 2560** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สิริยากร พุกกะเวส. (2555). **ปุ๋ยและธาตุอาหารพืช** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ บริษัท บ้านอุ้ม จำกัด.

สิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ และจักรพันธ์ พิณจีน. (2557). คุณสมบัติของมูลไส้เดือนในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของกะเพราและโหระพา. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, 45(2), 257–260.

สุขใจ ตอนปัญญา. (2554). **ต้นทุนและผลตอบแทนในการลงทุนปลูกข้าวของเกษตรกร หมู่ 5 ตำบลหัวดง อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร.** การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง บธ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

สุลีลัก อารักษณ์ธรรม และสุชาดา สานุสันต์. (2558). **อิทธิพลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากไส้เดือนดินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ดินและการปรับปรุงโครงสร้างของดิน.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ออมทรัพย์ นพอมรบดี. (2542). **ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ**. กรุงเทพฯ: กองปฐพีวิทยา กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อานัฐ ตันโช. (2548). **เทคนิคการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน** (พิมพ์ครั้งที่ 1). ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

อานัฐ ตันโช. (2550). **ไส้เดือนดิน** (พิมพ์ครั้งที่ 2). เชียงใหม่: บริษัท ทรีโอแอดเวอร์ไทซิ่งแอนด์มีเดีย จำกัด.

อานัฐ ตันโช. (2558). **คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐาน ระดับอุตสาหกรรม** (พิมพ์ครั้งที่ 1). เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยและพัฒนาเกษตรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อานัฐ ตันโช. (2560). **ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อไส้เดือนดิน** (พิมพ์ครั้งที่ 1). เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยและพัฒนาเกษตรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อานัฐ ตันโช, อมรา ทีปะปาล, สามารถ ใจเตี้ย และสุลีรัก อารักษณ์ธรรม. (2551). **การทดสอบเลี้ยงไส้เดือนดินในแปลงปลูกพืชเพื่อปรับปรุงโครงสร้างและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน** (พิมพ์ครั้งที่ 1). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อิทธิพล ขึมภูเขียว และอรวรรณ รักสงฆ์. (2560). ผลของปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนต่อสมบัติทางเคมีของดินและการเจริญเติบโตของแก่นตะวัน. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**, 35(1), 1–10.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

1. วิธีวิเคราะห์ความชื้น

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ยที่ยังไม่ได้บด จำนวน 5 กรัม ใส่ลงใน moisture can บันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำตัวอย่างปุ๋ยที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์หลังอบ

วิธีคำนวณ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักปุ๋ยก่อนอบ} - \text{น้ำหนักปุ๋ยหลังอบ}}{\text{น้ำหนักปุ๋ยก่อนอบ}} \times 100$$

2. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรดด่าง

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ยปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 4 ออนซ์ และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงไปแล้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH-meter โดยนำ glass electrode จุ่มลงในสารละลายตัวอย่าง จนค่าตัวเลขที่แสดงนิ่ง แล้วอ่านค่า pH พร้อมทำการบันทึกผล

3. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ยปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 4 ออนซ์ และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 30 นาที จากนั้นทำการกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ลงใน beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง conductivity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พร้อมบันทึกข้อมูล

4. วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน

4.1 วิธีการเตรียม reagent

4.1.1 สารละลาย potassium dichromate (oxidizing agent) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล

ทำการชั่ง potassium dichromate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 49.0247 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร คนให้ละลายหมด ถ่ายและล้างใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

4.1.2 สารละลาย ferrous sulfate (reducing agent) ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล

ทำการชั่ง ferrous sulfate จำนวน 139.0085 กรัม (หรือใช้ ferrous ammonium sulfate) จำนวน 196.07 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น

600 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ถ่ายและล้างใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติม 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4.1.3 สารละลาย o-phenonthroline ferrous sulfate indicator

ทำการชั่ง o-phenontholine จำนวน 0.74 กรัม และ ferrous sulfate จำนวน 0.35 กรัม ใส่บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนจนละลายหมด

4.1.4 สารละลาย silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid

ทำการชั่ง silver sulfate จำนวน 15 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร เติม 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน

4.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ยจำนวน 0.1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย potassium dichromate ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในตัวอย่างปุ๋ย เติม sulfuric acid ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์หรือสารละลาย silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างปุ๋ยอย่างช้า ๆ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน 16 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย o-phenontroline ferrous sulphate ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร

4.3 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรต ด้วยสารละลาย ferrous sulfate จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง แสดงว่าถึงจุดยุติ บันทึกผล

หมายเหตุ วิธีการทำ blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างปุ๋ย เตรียมและทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างปุ๋ย

4.4 วิธีคำนวณ

$$\% \text{ อินทรีย์คาร์บอน (OC)} = \frac{0.3896 \times N \times \text{ml of } K_2Cr_2O_7 \text{ (C–D)}}{\text{weight of sample (g)} \times C} \times 100$$

B = ปริมาตร $K_2Cr_2O_7$ ที่เติมลงไปในตัวอย่างและ blank (ml)

C = ปริมาตรของ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ tritrate พอดีกับ $K_2Cr_2O_7$ ใน blank (ml)

D = ปริมาตรของ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ tritrate พอดีกับ $K_2Cr_2O_7$ ในตัวอย่าง (ml)

N = ความเข้มข้นเป็น normal ของสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$

$$\% \text{ อินทรียวัตถุ (OM)} = \%OC \times 1.7241 \text{ (equivalent to soil)}$$

$$\text{ค่า C/N} = \frac{\%OC}{\% \text{ total nitrogen}}$$

5. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 0.5 กรัม ใส่ในหลอดย่อยขนาด 800 มิลลิลิตร เติม salicylic acid จำนวน 2 กรัม เติม 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid ปริมาณ 40 มิลลิลิตร และ sodium thiosulfate pentahydrate จำนวน 5 กรัม นำไปตั้งบนเตาย่อยตัวอย่าง ทำการย่อยตัวอย่าง โดยใช้ไฟปานกลาง จนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำตาล ปิดไฟ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติม mixed catalyst จำนวน 10 กรัม แล้วทำการย่อยอีกครั้งจนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดไฟ ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย sodium hydroxide ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และ zinc granular จำนวน 5 กรัม นำหลอดย่อยต่อกับเครื่องกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และสารละลาย mixed indicator ปริมาณ 4–5 หยด ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายในขวดปรับปริมาตร ปริมาณ 350 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทกับสารละลาย hydrochloric acid มาตรฐาน 0.2 นอร์มัล บันทึกผล ทำ blank โดยไม่ใส่ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

วิธีคำนวณ

$$\%\text{total N} = \frac{\text{N (HCl)} \times \{\text{ml (HCl)} - \text{ml (blank)}\} \times 1.40067}{\text{wt. of sample (g)}}$$

6. วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

6.1 การเตรียม reagent

6.1.1 กรดผสม nitric acid: perchloric acid อัตรา 1:1

ทำการผสม 69–70 เปอร์เซ็นต์ nitric acid กับ 69–70 เปอร์เซ็นต์ perchloric acid อัตราส่วน 1:1

6.1.2 molybdovanadate reagent

ทำการชั่ง ammonium molybdate tetrahydrate จำนวน 40 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น (น้ำร้อน) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นทำการชั่ง ammonium metavanadate ปริมาณ 2 กรัม ใส่บีกเกอร์ ขนาด 1,000

มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม 69–70 เปอร์เซ็นต์ perchloric acid ปริมาณ 450 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันทิ้งไว้ให้เย็น ค่อย ๆ รินผสมสารละลาย ammonium molybdate tetrahydrate ลงในสารละลาย ammonium metavanadate ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 2,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เขย่าให้เข้ากัน และถ่ายเก็บไว้ในขวดสีชา

6.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

6.2.1 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 ppm

ทำการชั่ง potassium dihydrogen phosphate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.0984 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

6.2.2 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm

ทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

6.2.3 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm

ทำการปิเปต สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปริมาณ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ 100 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

6.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 0.1 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 125 มิลลิลิตร หรือใส่ digestion tube เติมกรดผสม nitric acid: perchloric acid ปริมาณ 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน hot plate หรือ digestion block ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือสารละลายมีลักษณะสีใส โดยใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จากนั้นยกลงจาก hot plate หรือ digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็นสารละลายมีตะกอนขุ่น นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

6.4 วิธีวิเคราะห์

ทำการปิเปตสารละลายตัวอย่าง ปริมาณ 5 มิลลิลิตร หรือตามความเหมาะสม ปริมาณความเข้มข้นของตัวอย่าง ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติม molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:10 ของปริมาตรขวดปรับ

ปริมาตร) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายมาตรฐาน 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm เติม molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐานไปวัดความเข้มของสี ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) หรือค่าร้อยละของสัดส่วนที่แสงส่องผ่านสารตัวอย่างที่วัด (transmittance) หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่างกับกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และค่าการดูดกลืนแสงหรือค่าร้อยละของสัดส่วนที่แสงส่องผ่านสารตัวอย่างที่วัดของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (กราฟมาตรฐาน)

6.5 วิธีคำนวณ

$$P\ (\%) = \frac{\text{ppm P ของกราฟมาตรฐาน} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} \times 10^6}$$

$$\text{total } P_2O_5\ (\%) = \frac{\%P \times [(2 \times \text{atomic wt. of P}) + (5 \times \text{atomic wt. of O})}{2 \times \text{atomic wt. of P}}$$

7. วิธีวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

7.1 การเตรียม reagent

7.1.1 สารละลาย suppressor

ทำการชั่ง calcium carbonate จำนวน 12.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติม 36–38 เปอร์เซ็นต์ hydrochloric acid ปริมาณ 105 มิลลิลิตร ลงไปทีละน้อย นำไปต้มจนเดือด ทิ้งไว้ให้เย็น เทใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

7.1.2 กรดผสม nitric acid: perchloric acid อัตรา 1:1

ทำการผสม 69–70 เปอร์เซ็นต์ nitric acid กับ 69–70 เปอร์เซ็นต์ perchloric acid ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

7.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

7.2.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm

ทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1,000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

7.2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm

ทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

7.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 1 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดผสม nitric acid: perchloric acid จำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน hot plate หรือ digestion block ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลายหรือสารละลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จากนั้นยกลงจาก hot plate หรือ digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็นสารละลายมีตะกอนขุ่น นำไปผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

7.4 วิธีวิเคราะห์

ทำการปิเปตสารละลายตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 0–15 ppm ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย suppressor 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm เติมสารละลาย suppressor 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายไปวัดค่า intensive of emission ด้วย flame photometer หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่างกับกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโพแทสเซียม กับค่า intensive of emission ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (กราฟมาตรฐาน)

7.5 วิธีคำนวณ

$$\text{total } K_2O\ (\%) = \frac{1.2046 \times \text{ppm K} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} \times 10^6}$$

ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ดิน

วิธีวิเคราะห์ดินทางเคมี

1. วิธีวิเคราะห์ความชื้น

ทำการชั่งตัวอย่างดินที่ยังไม่ได้บด จำนวน 5 กรัม ใส่ลงใน moisture can บันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำตัวอย่างปุ๋ยที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์หลังอบ

วิธีคำนวณ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักปุ๋ยก่อนอบ} - \text{น้ำหนักปุ๋ยหลังอบ}}{\text{น้ำหนักปุ๋ยก่อนอบ}} \times 100$$

2. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ทำการชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม (ที่ผึ่งให้แห้งในที่ร่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร) ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 4 ออนซ์ แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH-meter โดยนำ glass electrode จุ่มลงในสารละลายตัวอย่าง เมื่อตัวเลขที่แสดงผลนิ่ง อ่านค่า pH และบันทึกผลการทดลอง

3. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

ทำการชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม (ที่ผึ่งให้แห้งในที่ร่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร) ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 4 ออนซ์ แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้อนุภาคดินตกตะกอน จากนั้นรินสารละลายส่วนบนใส่บีกเกอร์ ขนาด 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วย conductivity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกข้อมูล

4. วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน

4.1 วิธีการเตรียม reagent

4.1.1 สารละลาย potassium dichromate (oxidizing agent) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล

ทำการชั่ง potassium dichromate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 49.04 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำ

กลั่น 500 มิลลิลิตร คนให้ละลายหมด ถ่ายและล้างใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

4.1.2 สารละลาย ferrous sulfate (reducing agent) ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล

ทำการชั่ง ferrous sulfate จำนวน 140 กรัม (หรือใช้ ammonium ferrous sulfate) จำนวน 196 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ถ่ายและล้างใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติม 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4.1.3 สารละลาย o–phenonthroline ferrous sulfate indicator

ทำการชั่ง o–phenontholine จำนวน 3.00 กรัม และ ferrous sulfate จำนวน 1.40 กรัม ใส่บีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร คนจนละลายหมด

4.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างดิน (ที่ผึ่งให้แห้งในที่ร่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร) จำนวน 2 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย potassium dichromate ปริมาณ 5 มิลลิลิตร เติมลงไปในตัวอย่างปุ๋ย เติม sulfuric acid ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างปุ๋ยอย่างช้า ๆ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมสารละลาย o–phenontroline ferrous sulphate ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร

4.3 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรต ด้วยสารละลาย ferrous sulfate ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ที่จุดยุติ จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง บันทึกผล

4.4 วิธีคำนวณ

$$OC\ (\%) = [(ml\ K_2Cr_2O_7 \times N\ K_2Cr_2O_7) - (ml\ FeSO_4 \times N\ FeSO_4)] \times \frac{(0.003 \times 100)}{wt.\ of\ soil\ (g)} \times \frac{100}{77}$$

$$OM\ (\%) = [(ml\ K_2Cr_2O_7 \times N\ K_2Cr_2O_7) - (ml\ FeSO_4 \times N\ FeSO_4)] \times \frac{(0.003 \times 100)}{wt.\ of\ soil\ (g)} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58}$$

5. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

5.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างดิน (ที่ผึ่งให้แห้งในที่ร่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร) จำนวน 2 กรัม ใส่ในหลอดย่อยขนาด 800 มิลลิลิตร เติม catalyst mixture ประมาณ 1 กรัม เติม 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid ปริมาณ 10 มิลลิลิตร นำเข้าเตาย่อย

ตัวอย่าง โดยใช้อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างใสไม่มีสี และส่วนที่เป็นดินจะมีสีขาว ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง จากนั้นปิดเครื่อง ทิ้งไว้จนเย็นจึงนำออกจากเตาย่อย เติมน้ำกลั่นประมาณ 10 มิลลิลิตร กรองใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

5.2 วิธีวิเคราะห์

ทำการกลั่นตัวอย่าง โดยปิเปตสารละลายตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดย่อย เติม 40 เปอร์เซ็นต์ sodium hydroxide ปริมาณ 10 มิลลิลิตร สวมหลอดย่อยเข้ากับเครื่องนำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ที่มี 2 เปอร์เซ็นต์ บอริกอินดิเคเตอร์ รองรับใต้ condenser ทำการกลั่นจนปริมาตรสารละลายได้ 75 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายมาไทเทรต ด้วยสารละลาย sulfuric acid ความเข้มข้น 0.005 นอร์มัล ที่จุดยุติจนได้สารละลายสีม่วง-แดง บันทึกผล

5.3 วิธีคำนวณ

$$\text{total N (\%)} = \frac{[0.014 \times (\text{ml std.}H_2SO_4\ \text{sample} - \text{ml std.}H_2SO_4\ \text{blank}) \times \text{N std.}H_2SO_4 \times \text{extractant (ml)} \times 100]}{[\text{aliq (ml)} \times \text{wt. of soil (g)}]}$$

6. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ในรูปแอมโมเนียมและไนเตรท (inorganic nitrogen)

6.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติม 2 โมล potassium chloride ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ตัวอย่างดิน ปิดด้วยจุกยาง เขย่าด้วยเครื่องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำสารละลายตัวอย่างที่กรองได้ไปกลั่นหาปริมาณ inorganic nitrogen โดยวิธี magnesium oxide devada's alloy methods

6.2 **วิธีการกลั่นหาแอมโมเนียม**

ทำการปิเปตสารละลายตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ใส่หลอดย่อยเติม magnesium oxide ปริมาณ 0.2 กรัม แล้วสวมหลอดย่อยเข้ากับเครื่องกลั่น นำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งมี 2 เปอร์เซ็นต์ บอริกอินดิเคเตอร์ 10 มิลลิลิตร รองรับใต้ condenser ทำการกลั่นจนปริมาตรสารละลายได้ 75 มิลลิลิตร

6.3 วิธีการกลั่นหาไนเตรท

นำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งมี 2 เปอร์เซ็นต์ บอริกอินดิเคเตอร์ 10 มิลลิลิตร รองรับใต้ condenser ของเครื่องกลั่น จากนั้นนำหลอดย่อย ที่บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการกลั่นหาปริมาณแอมโมเนียม และทิ้งไว้ให้เย็นแล้วมาเติม devada's alloy ปริมาณ 0.2 กรัม แล้วนำไปกลั่นทันที กลั่นจนปริมาตรของสารละลายในขวดรูปชมพู่ที่รองรับใต้ condenser เพิ่มขึ้นถึงระดับ 75 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับ sulfuric acid ความเข้มข้น 0.005 นอร์มัล จนถึงที่จุดยุติซึ่งจะได้สารละลายสีม่วงอมแดง ทำการบันทึกผล

6.4 วิธีคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรท

$$\text{inorganic nitrogen (ppm)} = \frac{(\text{ml std.}H_2SO_4\ \text{sample} - \text{ml std.}H_2SO_4\ \text{blank}) \times \text{N std.}H_2SO_4 \times 0.014 \times \text{extractant (ml)} \times 10^6}{\text{aliq (ml)} \times \text{wt. of soil (g)}}$$

7. การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

7.1 การเตรียม reagent

7.1.1 สารละลาย ammonium fluoride ความเข้มข้น 1 นอร์มัล

ทำการละลาย ammonium fluoride ปริมาณ 37 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวด polyethylene

7.1.2 สารละลาย hydrogen chloride ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล

ทำการเจือจาง conc. hydrogen chloride ปริมาตร 41.7 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

7.1.3 น้ำยาสกัด bray II

ทำการละลาย ammonium fluoride ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ร่วมกับ hydrogen chloride (HCL) ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

7.1.4 เตรียม 2 เปอร์เซ็นต์ boric acid (H_3BO_3)

ทำการชั่งสาร bromocresol green ปริมาณ 0.132 กรัม และ methyl red ปริมาณ 0.066 กรัม ใส่ผสมกันลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 200 มิลลิลิตร แล้วทำการละลายด้วย ethanol และปรับปริมาตรให้เป็น 200 มิลลิลิตร ละลายกรดบอริก ปริมาณ 20 กรัม ในน้ำร้อนปริมาตร 700 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติม ethanol ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ตามด้วย mixed indicator ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และกรดบอริกปริมาตร 700 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อให้สารผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

แล้วเติม sodium hydroxide ความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล ลงไปทีละ 2-3 หยด จนกระทั่งสารละลายมีระดับค่า pH ประมาณ 5 ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยการนำสารละลายที่ปรับ pH แล้ว ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 1 มิลลิลิตร จนสีของสารละลายที่ทดสอบเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อน จึงปรับปริมาตรของสารละลายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

7.1.5 murphy's reagent

ทำการชั่ง ammonium molybdate ปริมาณ 12 กรัม และ antimony potassium tartate ปริมาณ 0.291 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นพอประมาณ จากนั้นเทสารละลายข้างต้นลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 2,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้ได้ประมาณ 1,500 มิลลิลิตร และค่อย ๆ เติม conc.sulfuric acid ปริมาตร 148 มิลลิลิตร ผ่านกรวยกรองลงในสารละลาย แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 2,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

7.1.6 เตรียม 2.5 เปอร์เซ็นต์ ascorbic acid solution

ทำการละลาย ascorbic acid ปริมาณ 2.5 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (เก็บได้นานประมาณ 2 สัปดาห์)

7.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

7.2.1 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (standard P) 100 ppm

ทำการชั่ง potassium di-hydrogen phosphate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณ 0.4394 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นเทผ่านกรวยกรองลงขวดรูปชมพู่ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

7.2.2 สารละลาย intermidiate standard solution 5 ppm

ทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและเขย่าให้เข้ากัน

7.2.3 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm (working standard)

ทำการดูดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสปริมาตร 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 25 มิลลิลิตร (ปรับสภาพให้เป็นเช่นเดียวกับสารละลายตัวอย่าง)

7.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างดิน (ที่ผึ่งให้แห้งในที่ร่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร) ปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำยาสกัด bray II ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างดิน ปิดด้วยจุกยางแล้วเขย่าให้เข้ากัน ประมาณ 1 นาที แล้วกรองทันทีด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และเก็บสารละลายตัวอย่างที่ได้ใส่ไว้ในขวด

7.4 วิธีวิเคราะห์

ทำการดูสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 25 มิลลิลิตร เติม 2% boric acid (H_3BO_3) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และ murphy's reagent ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติม 2.5% ascorbic acid solution ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วปิดจุกเขย่าให้สารละลายเข้ากัน จะได้สารละลายที่มีสีน้ำเงิน หากสารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นเกินสีของ working standard ให้ทำใหม่ โดยลดปริมาตรของสารละลายตัวอย่างลง และถ้าสารละลายตัวอย่างเจือจางมาก ให้เพิ่มปริมาตรสารละลายตัวอย่าง แล้วทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที จึงนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร

7.5 วิธีคำนวณ

$$\text{extr. P (ppm)} = \frac{\text{ppm P curve x final volume (ml) x extractant (ml)}}{\text{aliq. (ml) x wt. of soil (g)}}$$

8. วิธีวิเคราะห์โพแทสเซียม

8.1 การเตรียม reagent

8.1.1 สารละลาย ammonium acetate ความเข้มข้น 1 นอร์มัล

ทำการชั่ง ammonium acetate ปริมาณ 77.08 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 1 ลิตร หรืออาจเตรียม acetic acid 57 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 600 มิลลิลิตร จากนั้นเติม acetic acid ปริมาตร 69 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 900–950 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงปรับให้ระดับค่า pH เท่ากับ 7.0

8.1.2 สารละลายมาตรฐาน 1000 ppm K

ทำการชั่ง potassium chloride ปริมาณ 1.9066 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทผ่านกรวยกรองลงขวดรูปชมพู่ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตร

8.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

8.2.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (standard K) 100 ppm

ทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1000 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

8.2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 0, 2, 4, 8 และ 10 ppm

ทำการดูสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม ความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 0, 2, 4, 8 และ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

8.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างดิน (ที่ผึ่งให้แห้งในที่ร่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร) ปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย ammonium acetate ความเข้มข้น 1 นอร์มัล แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างดิน ปิดด้วยจุกยางแล้วเขย่าให้เข้ากัน เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปกรองแล้วเก็บไว้ในขวดพลาสติก

8.4 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ มาทำการตรวจวัดความเข้มข้น โดยตรวจวัดค่า working standard ด้วย atomic absorption spectrophotometer

8.5 วิธีคำนวณ จากสูตร

$$\text{extr. } K_2O \text{ (ppm)} = \frac{\text{ppm from curve x final volume (ml) x extractant (ml)}}{\text{aliq. (ml) x wt. of soil (g)}}$$

วิธีวิเคราะห์ดินทางกายภาพ

1. วิธีวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (bulk density)

ทำการเก็บดิน โดยใช้กระบอกเก็บดินโดยไม่ทำลายโครงสร้าง (core method)

1.1 วิธีเก็บตัวอย่างดิน

ทำการวัดหาปริมาตรของตัวอย่างดินที่ไม่ถูกทำลายโครงสร้าง (undisturbed sample) (V_b) นำตัวอย่างดินใส่ในกระป๋องความชื้นแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปใส่ในโถดูดความชื้นจนตัวอย่างดินเย็น

1.2 วิธีคำนวณ จากสูตร

$D_b = m_s/V_b$

2. วิธีวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาค (partical density)

ทำการชั่งน้ำหนักพิคโนมิเตอร์ พร้อมจุกปิด (m_1) นำตัวอย่างดิน (ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร) บรรจุลงในขวดพิคโนมิเตอร์ประมาณ 1/3 ของปริมาตรทั้งหมด แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (m_2) เติมน้ำกลั่นที่ต้มสุกและไล่อากาศออกลงไปประมาณ 2/3 ของปริมาตร เขย่าดินและน้ำผสมให้เข้ากัน นำไปอุ่นบนแผ่นความร้อนเพื่อไล่อากาศออกให้หมด จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นต้มสุกที่ไล่อากาศออกจนถึงขีดบอกปริมาตร แล้วนำไปชั่ง จะได้น้ำหนักของดิน + พิคโนมิเตอร์ + น้ำ (m_3) เทดินและน้ำทิ้ง ล้างพิคโนมิเตอร์ให้สะอาด แล้วเติมน้ำกลั่นต้มสุกจนถึงขีดบอกปริมาตร นำไปชั่ง จะได้น้ำหนักของพิคโนมิเตอร์ + น้ำ (m_4)

วิธีคำนวณ

$D_s = (m_2-m_1)/[(m_4-m_1)-(m_3-m_2)]$

3. วิธีวิเคราะห์ความพรุนของดิน (porosity)

วิธีคำนวณ จากสูตร

$E = (1-(D_b/D_s)) \times 100$

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	กชกร ชาวเวียง
วัน เดือน ปี เกิด	21 พฤศจิกายน 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2559 วท.บ.(เกษตรศาสตร์), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	27/2 หมู่ 7 ตำบลหนองบัวเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000
ผลงานตีพิมพ์	กชกร ชาวเวียง, วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก, มนัส ทิตย์วรรณ และบุญร่วม คิดค้า. (2562). ผลของการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักผักตบชวา ด้วยไส้เดือนดิน Pheretima peguana ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติวลัยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ 11. นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. กชกร ชาวเวียง และบุญร่วมคิดค้า. (2562). ผลของชนิดวัตถุดิบ และอัตราส่วนผสมต่อคุณภาพของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ และประสิทธิภาพในการผลิตด้วยจานปั้นเม็ด. ใน การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 6. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. บุญร่วม คิดค้า, วิชญ์พล ปัญญายม และกชกร ชาวเวียง. (2562). การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยสารละลายอินทรีย์สำหรับปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 50(1) พิเศษ, 328-334. บุญร่วม คิดค้า, เสฏฐวุฒิ พันธุ์ปั้น และกชกร ชาวเวียง. (2562). ผลของผักตบชวาต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 50(1) พิเศษ, 335-341.