การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดและผลของปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักคะน้า

รัชดาภรณ์ โสภาเลิศ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
เมษายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดและผลของปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักคะน้า

รัชดาภรณ์ โสภาเลิศ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
เมษายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

QUALITY IMPROVEMENT OF PELLET ORGANIC FERTILIZER PRODUCTS AND THE EFFECTS OF FERTILIZERS ON GROWTH AND YIELD OF KALE

RATCHADAPRON SOPALERS

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

การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดและผลของปุ๋ยต่อการเจริญเติบโต
และการให้ผลผลิตของผักคะน้า

ของ รัชดาภรณ์ โสภาเลิศ

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: การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดและผลของปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักคะน้า

ผู้วิจัย: รัชดาภรณ์ โสภาเลิศ, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์การเกษตร), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2562

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

คำสำคัญ วัตถุดิบ, ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด, อัตราส่วนที่เหมาะสม, คะน้า

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตโดยโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักคะน้า ในการทดลองที่ 1 วัตถุดิบที่โรงงานร่วมวิจัยใช้ผลิตปุ๋ยประกอบด้วย ปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพดแบบไม่พลิกกลับกอง มูลไก่ไข่ มูลสุกร ปุ๋ยหมักผักตบชวา แร่ลีโอนาร์ไดต์ และหินบะซอลต์บด ผลการศึกษาพบว่าแร่ลีโอนาร์ไดต์มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด เท่ากับ 24.18 เปอร์เซ็นต์ และมูลไก่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 1.28 เปอร์เซ็นต์ การทดลองที่ 2 ศึกษาชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด พบว่า การใช้แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพดแบบไม่กลับกอง : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ ผสมกันในอัตราส่วน 1:1:3:2:3 โดยน้ำหนัก มีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 23.11 เปอร์เซ็นต์ และ 1.10 เปอร์เซ็นต์ การทดลองที่ 3 เมื่อนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในสายพานการผลิตของโรงงานแล้ว พบว่า คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดนั้นมีความสม่ำเสมอ การทดลองที่ 4 การทดสอบผลของการใช้ปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักคะน้า พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ ทำให้คะน้ามีการเจริญเติบโตและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและอัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มพืช ใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี ดังนั้นการนำปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานมาใช้ในการปลูกคะน้า สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตได้ดี

Title: QUALITY IMPROVEMENT OF PELLET ORGANIC FERTILIZER PRODUCTS AND THE EFFECTS OF FERTILIZERS ON GROWTH AND YIELD OF KALE

Author: Ratchadapron Sopalers, Thesis: M.Sc. (Agricultural Science), University of Phayao, 2019

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

Keyword raw materials pelleted organic fertilizer mixture ratio kale

ABSTRACT

Experiments were aimed at productivity improvement of the pellet organic fertilizer from manufacturer and the effect of fertilizers application on growth and yield of kale. In experiment 1, the analysis of major raw materials from participating factory including corn cob compost obtained from an irreversible compost pile, chicken manure, swine manure, leonardite and basalt rock powder. The results showed that the highest amount of organic matter 24.18% and total nitrogen 1.28% were found in leonardite and chicken manure respectively. Experiment 2 the data from the study on the optimal ratio of raw materials used for fertilizer production revealed that the highest organic matter content 23.11% and total nitrogen 1.10% were obtained from leonardite: basalt rock powder: corn cob compost: swine manure: chicken manure mixed in the ratio of 1:1:3:2.3 by weight. Results of experiment 3 showed that the improved pellet organic fertilizer represented the consistently quality and most comprehensive portfolio in the fertilizer production process. In experiment 4 studies on the effect of fertilizers on growth and yield of kale, the improved pellet organic fertilizer was found to enhance growth and yield components in kale when low rate of fertilizer was appropriate to apply.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร. บุญร่วม คิดค้า ประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างยิ่ง ที่กรุณามอบโอกาสทางการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ชี้แนะแนวทางในการเรียนรู้ คอยอบรมสั่งสอนให้ความช่วยเหลือ และดูแลเป็นอย่างดีเสมอมาตลอดจนการให้คำปรึกษา และแนะนำจนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. มนัสทิตย์วรรณ ดร. วิพรพรรณ เนื่องเม็ก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไวพจน์ กันจู และ รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภธิดา อ่ำทอง ที่ให้แนวทางและคำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตร์การเกษตร นักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย และคณาจารย์ในคณะทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความรู้คำปรึกษา และเทคนิควิธีการในการทำวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนเจ้าหน้าที่สำนักเลขานุการและบุคลากรคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติทุก ๆ ท่าน ที่คอยอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่านที่คอยให้โอกาสกำลังใจ และการสนับสนุนที่ดีในทุก ๆ ด้านตลอดมา

ขอขอบคุณทุนโครงการพัฒนานักวิจัย และงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประจำปี 2560 (MSD60I0090) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยและค่าเล่าเรียน ตลอดจนขอบคุณโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์จังหวัดพะเยาร่วมกับองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา และคณะเกษตรเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ที่สนับสนุนวัตถุดิบ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

วิทยานิพนธ์เล่มนี้คงเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษา และใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัย รวมถึงการใช้เพื่อสร้างประโยชน์สืบไป

รัชดาภรณ์ โสภาเลิศ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 2

กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

วัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานที่ร่วมวิจัย 4

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 16

ศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ และส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานที่ร่วมวิจัย 16

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 17

ศึกษาความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในสายพานการผลิตของโรงงาน 18

ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วต่อการให้ผลผลิตของผักคะน้า 19
บทที่ 4 ผลการวิจัย 21
ศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ และส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 21
ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 24
ศึกษาความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในสายพานการผลิตของโรงงาน 27
ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วต่อการให้ผลผลิตของผักคะน้า 30
บทที่ 5 บทสรุป 45
สรุปผลการวิจัย 45
อภิปรายผลการวิจัย 46
บรรณานุกรม 51
ภาคผนวก 55
ภาคผนวก ก 56
ตารางแสดงข้อมูลการเจริญเติบโตของคะน้า 56
ภาคผนวก ข 63
วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ 63
ภาคผนวก ค 71
วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน 71
ภาคผนวก จ 77
วิธีวิเคราะห์คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า 77
ประวัติผู้วิจัย 80

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในปุ๋ยคอกแต่ละชนิด 4

ตาราง 2 แสดงมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่เป็นของเหลว 6

ตาราง 3 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ และส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 23

ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้จากชนิด และอัตราส่วนต่าง ๆ 25

ตาราง 5 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลัก และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้จากชนิด และอัตราส่วนต่าง ๆ 26

ตาราง 6 แสดงความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละรุ่นของการผลิตจริง 28

ตาราง 7 แสดงความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละรุ่นของการผลิตจริง (ต่อ) 29

ตาราง 8 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ (ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 37

ตาราง 9 แสดงปริมาณธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม) ที่สะสมในต้นของคะน้า ในระยะเก็บเกี่ยว 39

ตาราง 10 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูก และหลังปลูก 43

ตาราง 11 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักและอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของดินก่อนปลูก และหลังปลูก 44

ตาราง 12 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณความสูงของของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน 57

ตาราง 13 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน 58

ตาราง 14 แสดงค่าเฉลี่ยขนาดลำต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน 59

ตาราง 15 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของรากคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน 60

ตาราง 16 แสดงน้ำหนักสดต่อต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน..... 61

ตาราง 17 แสดงน้ำหนักแห้งต่อต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน.....62

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 ปริมาณความสูงของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพในระดับโรงเรือน 30

ภาพ 2 จำนวนใบเฉลี่ยของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในระดับโรงเรือน..... 31

ภาพ 3 ขนาดลำต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ แต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน 32

ภาพ 4 น้ำหนักแห้งของรากคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในระดับโรงเรือน.....33

ภาพ 5 น้ำหนักสดต่อต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในระดับโรงเรือน.....34

ภาพ 6 น้ำหนักแห้งต่อต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในระดับโรงเรือน.....35

ภาพ 7 อัตราการเจริญเติบโตของพืชปลูก (Crop growth rate).....40

ภาพ 8 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate) 41

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ร่วมวิจัยมักจะประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบบางชนิดในการผลิตในบางช่วง โดยเฉพาะปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ซึ่งมีต้นทุนสูงในการนำขึ้นมาจากแหล่งน้ำ ค่าขนส่ง และระยะเวลาในการหมัก ดังนั้น แนวทางการแก้ปัญหานั้นมีหลายแนวทาง แต่ที่น่าจะมีความเป็นไปได้มากที่สุดคือ การใช้ปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มาเป็นส่วนผสมของปุ๋ย เพื่อทดแทนปุ๋ยหมักจากผักตบชวาในบางช่วงที่โรงงานผลิตไม่ทัน เนื่องจากปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 สามารถปรับเปลี่ยนสภาพของวัตถุดิบให้มีสภาพใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักได้ภายในระยะเวลา 60 วัน จึงสนใจในการศึกษาวิจัยถึงการนำวัตถุดิบอย่างซังข้าวโพด ซึ่งมีมากในพื้นที่มาทดสอบเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยว่าสามารถนำมาเป็นส่วนผสมทดแทนปุ๋ยหมักจากผักตบชวาได้หรือไม่ และคุณภาพปุ๋ยที่ผลิตได้จะยังคงได้มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด รวมถึงต้องการทราบถึงผลการนำไปใช้จริง และนำมาทดสอบต่อการให้ผลผลิตของพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ เช่น ผักคะน้า

นอกจากนี้ยังพบว่า ปุ๋ยจากโรงงานยังมีคุณภาพของปุ๋ยที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจเกิดจากหลายตำแหน่ง เช่น เกิดการผสมกัน และการแยกตัวของวัตถุดิบในสายพานการผลิต ดังนั้น เมื่อทำการปรับเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบ และอัตราส่วนผสมใหม่จึงเกิดขึ้นจึงต้องศึกษาถึงความสม่ำเสมอของการผลิตในสายพานการผลิตของโรงงานควบคู่ไปด้วย

แนวทางที่คณะผู้วิจัยนำมาใช้ในการแก้ปัญหาของคือ การนำเอาวัตถุดิบที่หาได้ง่ายและไม่ขาดแคลนในพื้นที่มาผสมเป็นปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองตาม วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 โดยการนำซังข้าวโพดมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก แล้วนำปุ๋ยที่ได้มาศึกษาคุณสมบัติและความเหมาะสมในการใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด พร้อมกับการปรับปรุงอัตราส่วนการผสมผลิตให้สามารถผลิตปุ๋ยที่มีความสม่ำเสมอในขั้นตอนการผสม การปั้นเม็ด ซึ่งจะใช้เกณฑ์มาตรฐานของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์เป็นตัวกำหนด อย่างไรก็ตามธรรมชาติของปุ๋ยอินทรีย์นั้นจะมีความไม่สม่ำเสมอของค่าวิเคราะห์คุณภาพอยู่แล้ว แต่ค่าวิเคราะห์ที่ได้ต้องไม่ต่ำกว่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์มาเป็นเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพ และจะใช้แนวทางการทดสอบปุ๋ยกับการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในพื้นที่จังหวัดพะเยา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตโดยโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ร่วมวิจัยให้เป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักคะน้า

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ และส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี ของวัตถุดิบแต่ละชนิด

2. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยการปรับอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ทำการทดลองทั้งหมด 5 กรรมวิธี คุณสมบัติทางเคมี

3. ศึกษาความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละรุ่นของการผลิตด้วยเครื่องผลิตปุ๋ยระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แล้วจึงคัดเลือกกรรมวิธีที่มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงมาทำการผลิตในสายพานการผลิตตามกรรมวิธีของโรงงาน ศึกษาคุณภาพของปุ๋ยที่ผลิตได้ วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี

4. การทดสอบผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากสายพานการผลิตของโรงงานที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วต่อศักยภาพการให้ผลผลิตของผักคะน้า ทำการทดสอบผลของการใช้ปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของผักคะน้าในระดับโรงเรือน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

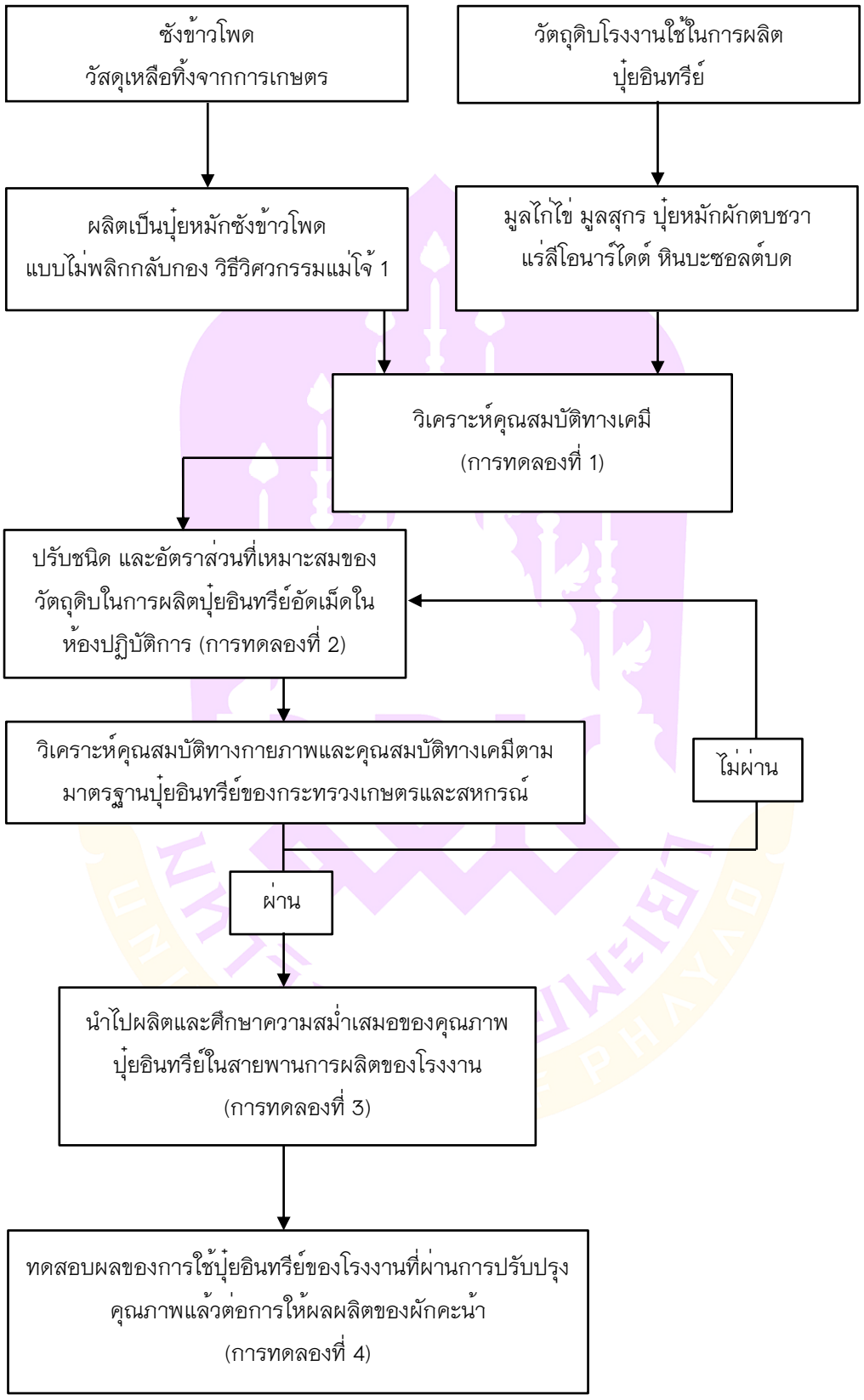
1. สามารถให้คำแนะนำแก่โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ร่วมวิจัยถึงแนวทางการผลิต และการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยให้เป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้

2. ได้องค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมปุ๋ยอินทรีย์ และถ่ายทอดองค์ความรู้ดังกล่าวสู่การเรียนการสอนในระดับมหาวิทยาลัย

3. เป็นต้นแบบการผลิตและปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ให้ผู้ประกอบการด้านปุ๋ยอินทรีย์ และบุคคลทั่วไปได้นำไปปรับใช้ หรือเป็นแหล่งศึกษาหาความรู้ ดูงาน และสร้างเครือข่ายความร่วมมือกันได้

4. เกษตรกรได้ใช้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดีขึ้น

กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานที่ร่วมวิจัย

วัตถุดิบในการผลิตหลายชนิดได้แก่ แร่ลีโอนาร์ไดต์ หินบะซอลต์บดละเอียด ปุ๋ยหมักผักตบชวา มูลสุกร มูลไก่ไข่ ปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกองแบบวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1

แร่ลีโอนาร์ไดต์ เป็นถ่านหินที่เกิดจากการย่อยสลายผุพังเป็นเวลาหลายพันล้านปีของซากพืชซากสัตว์ สามารถพบได้จากส่วนเหลือทิ้งจากการทำเหมืองแร่ลิกไนต์ (จักรพันธ์ อินทจักร, 2555)

หินบะซอลต์บดละเอียด สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย ให้แร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน) และธาตุอาหารเสริมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (ณัฐธีร์ ธีระวิภา, 2555, สื่อออนไลน์)

มูลไก่และมูลเป็ดเป็นมูลที่มีธาตุอาหารค่อนข้างสูง ดังแสดงใน ตาราง 1 ซึ่งมูลไก่สดไม่ควรนำไปใช้ในสวนไม้ผลและพืชผัก ควรนำไปทำปุ๋ยหมักให้สมบูรณ์ก่อน ส่วนมูลเป็ดจะเลี้ยงกันบริเวณริมน้ำและมีมากที่สุดบริเวณริมฝั่งทะเล มูลที่ขุดมาได้จากเล้าอาจจะมีเกลือปะปนมาทำให้คนนิยมน้อยกว่ามูลไก่ (ทรายแก้ว อนากาศ และคณะ, 2556)

ตาราง 1 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในปุ๋ยคอกแต่ละชนิด

ชนิดปุ๋ยคอก	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)
มูลโค	1.90	0.56	1.40
มูลกระบือ	1.23	0.69	1.66
มูลไก่	3.77	1.89	1.76
มูลเป็ด	2.15	1.33	1.15
มูลสุกร	3.11	12.20	1.84
มูลค้างคาว	5.28	8.42	0.58

ที่มา: (สุพจน์ บุญแรง และ อัตถ์ อัจฉริยมนตรี, 2550)

มูลสุกรเป็นมูลที่ธาตุอาหารค่อนข้างสูง โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส ดังแสดงใน ตาราง 1 มูลแห้งนั้นชาวสวนผักนิยมใช้มากที่สุด มูลสุกรมักจะมีปริมาณทองแดงที่มาก การใช้เป็นเวลานาน ๆ อาจจะเกิดการสะสมทำให้เป็นอันตรายต่อพืชได้ ควรนำไปทำปุ๋ยหมักร่วมกับแกลบ ขี้เลื่อย และฟางข้าวก่อนที่จะนำไปใช้ (ทรายแก้ว อนากาศ และคณะ, 2556, อ้างแล้ว)

ปุ๋ยหมักผักตบชวาได้จากการนำผักตบชวามาหมักให้ย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนเปลี่ยนไปจากสภาพเดิม คือ มีสีน้ำตาลปนดำ มีลักษณะอ่อนนุ่ม และไม่มีกลิ่นเหม็นมีประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารพืชทำให้ดินมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ผักตบชวาสดมีน้ำเป็นส่วนประกอบในตัวกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นพืชที่มีระบบรากฝอยจำนวนมากจึงดูดซับแร่ธาตุต่าง ๆ จากตะกอนในน้ำเก็บไว้ในส่วนของต้น และราก เฉลี่ยมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่น้อยกว่า 1, 0.25 และ 4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโลหะหนัก พบในเกณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน นอกจากนี้สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 30 ต่อ 1 จัดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย ดังนั้น ผักตบชวาจึงเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับทำปุ๋ยหมัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560)

ปุ๋ยหมักซังข้าวโพดแบบไม่พลิกกลับกอง แบบวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงได้ในปริมาณครั้งละมาก ๆ โดยไม่ต้องพลิกกลับ ใช้เวลาเพียง 60 วัน วัตถุดิบมีเพียงเศษพืชกับมูลสัตว์เพียง 2 อย่างเท่านั้น ถ้าเศษพืชเป็นฟางข้าวหรือเศษข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือผักตบชวา อัตราส่วนระหว่างฟางข้าวหรือเศษข้าวโพดหรือผักตบกับมูลสัตว์ คือ 4 ต่อ 1 โดยปริมาตร และถ้าเป็นเศษใบไม้ให้ใช้อัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยปริมาตร (ธีรพงษ์ สว่างปัญญากูร, 2558)

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพ และปลอดภัยจะต้องผ่านการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ โดยต้องมีคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2551 แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ได้ออกประกาศกำหนดไว้ ดังแสดงใน ตาราง 2

ตาราง 2 แสดงมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่เป็นของเหลว

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 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)	-ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ -ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ -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

ที่มา: (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(เปรมนภา โชติญาณพิทักษ์ และ จินดารัตน์ พิมพ์สมาน, 2554) ศึกษาผลของสภาวะการผลิตเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ อัตราการฉีดตัวประสาน และ อัตราการป้อนผงปุ๋ย ซึ่งมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดเม็ดที่ได้จากการผลิตด้วยเครื่องปั้นเม็ดปุ๋ยชนิดจานหมุนปั้นเม็ด ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ขอบจานสูง 0.1 เมตร เป็นระยะเวลา 20 นาที

ที่ความเร็วรอบ 18 รอบต่อนาที และฐานของจานทำมุมเอียงกับแนวระนาบ 45 องศา จากการทดลองปั้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ด้วยการฉีดตัวประสานอัตราส่วนต่าง ๆ โดยกำหนดอัตราส่วนระหว่างผงปุ๋ยต่อตัวประสาน คือ 14 : 0.5, 14 : 0.75 และ 14 : 1.0 พบว่าเม็ดปุ๋ยที่ได้จากกระบวนการปั้นเม็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงมวล 1.02, 1.58 และ 1.90 มิลลิเมตร ตามลำดับ และทำการทดลองปั้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ด้วยอัตราป้อนผงปุ๋ย 0.5, 0.75 และ 1.0 กิโลกรัมต่อนาที ทำให้เม็ดปุ๋ยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงมวล 1.5, 3.46 และ 1.90 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าที่อัตราการฉีดตัวประสานมีปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงมวลของเม็ดปุ๋ยมีค่ามากขึ้น และเมื่ออัตราการป้อนผงปุ๋ยเพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงมวลของเม็ดปุ๋ยมีค่าลดลง ยกเว้นที่อัตราการป้อน 0.5 กิโลกรัมต่อนาที เพราะการกระจายตัวของผงปุ๋ยในเครื่องจานปั้นเม็ดไม่เหมาะสมกับบริเวณที่ฉีดตัวประสาน

(สุชาดา โภชาดม, 2556) ศึกษาลักษณะทางเคมีของลีโอนาร์ไดต์จากเหมืองแร่ลิกไนต์ประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า ลีโอนาร์ไดต์มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงถึงร้อยละ 24.4 มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงมากถึง 56.6 เซนติโมลต่อกิโลกรัม มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืชเป็นองค์ประกอบอยู่หลายธาตุและบางธาตุมีในปริมาณสูง โดยเฉพาะธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ลีโอนาร์ไดต์ มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ (4.3 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร) มีธาตุโลหะหนักอันตราย คือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และปรอทในปริมาณต่ำมาก ยกเว้น ธาตุอาร์ซินิก ซึ่งพบว่าค่าวิเคราะห์สูงกว่าธาตุอื่น ๆ และสูงกว่าค่าอาร์ซินิกเฉลี่ยในดินโดยทั่วไปถึง 10 เท่า สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของลีโอนาร์ไดต์พบว่า มีค่าต่ำกว่า 4 ซึ่งเป็นกรดรุนแรง ดังนั้น จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแม้ลีโอนาร์ไดต์จะมีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ แต่จำเป็นต้องมีวิธีการลดปริมาณอาร์ซินิกและหาทางปรับลดค่าความเป็นกรด ก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

(ณธรรศ สมจันทร์ และ อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง, 2557) ทำการปรับปรุงคุณภาพลีโอนาร์ไดต์ เพื่อให้สามารถใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ถึงแม้ว่าลีโอนาร์ไดต์มีสารฮิวมิกสูง แต่มีค่า pH ต่ำ จึงยกระดับ pH ของลีโอนาร์ไดต์จากเหมืองแม่เมาะโดยการใช้โดโลไมต์ ทำการผสมกับโดโลไมต์ในอัตรา 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ บ่มให้มีความชื้นที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด เป็นเวลา 28 วัน โดยใช้ค่า pH และ ค่ากรดฮิวมิกเป็นตัวชี้วัดผลการทดลองพบว่า การใช้ลีโอนาร์ไดต์ผสมโดโลไมต์ในอัตราส่วน 5 เปอร์เซ็นต์เหมาะสมที่สุด โดยมีค่ากรดฮิวมิก (51.69 เปอร์เซ็นต์) สูงที่สุด และมีค่า pH ที่เหมาะสม

(pH 6.14) ส่วนอีกการทดลองหนึ่งได้ทำการศึกษาลีโอนาร์ไดต์ที่ผสมโดโลไมต์อัตรา 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ กับหินฟอสเฟตที่อัตรา 0, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ บ่มไว้ที่ 28 วัน ที่ความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด โดยมีวัตถุประสงค์ในการยกระดับค่า pH และ total P_2O_5 ของลีโอนาร์ไดต์โดยใช้โดโลไมต์ร่วมกับหินฟอสเฟต โดยใช้ค่า pH, total P_2O_5 และค่ากรดฮิวมิกเป็นตัวชี้วัดหาอัตราส่วนที่เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุปรับปรุงบำรุงดิน ผลการศึกษาพบว่าลีโอนาร์ไดต์ผสมโดโลไมต์ 5 เปอร์เซ็นต์ และหินฟอสเฟต 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า pH 6.39, total P_2O_5 เท่ากับ 0.97 เปอร์เซ็นต์ สูงที่สุด และให้ค่ากรดฮิวมิก 42.37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง ลีโอนาร์ไดต์ที่ได้ปรับปรุงแล้วนี้ จึงมีสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมที่จะไปใช้ประโยชน์ในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินทางการเกษตร

(เฉลิมชัย แพะคำ, 2557) ได้ศึกษาคุณสมบัติและธาตุอาหารหลักของพืชจากปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายโดยเชื้อรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท UPPY19 โดยทำการหมักและสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวา (10, 20, 30, 40, 50 และ 60 วัน) พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 9.00, 5.00 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร, 52.73 เปอร์เซ็นต์, 47.29, 21.03 กรัมต่อกิโลกรัม, 46.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 33.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อตรวจวัดปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส 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 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

(วรรณิศา ปัทมะภูษิต และ พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง, 2557) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีต่ออัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตคะน้าพันธุ์บางบัวทอง 35 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ย (ควบคุม), ใส่ปุ๋ยเคมี 46–0–0 + 27–6–6, 46–0–0 + 25–10–10, 46–0–0 + 16–12–8 และ 46–0–0 + 12–12–17 โดยเตรียมแปลงปลูก 3 ตารางเมตร หว่านเมล็ด 5 กรัมต่อแปลง แบ่งใส่ปุ๋ย 3 ครั้งที่อายุ 15, 30 และ 45 วันหลังปลูก โดยที่อายุ 15 และ 45 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยในอัตรากรรมวิธีละ 20 กิโลกรัมต่อไร่และที่อายุ 30 วันหลังปลูก ใส่ปุ๋ยในอัตรากรรมวิธีละ 40 กิโลกรัมต่อไร่ โดยศึกษาอัตราการเจริญเติบโตที่อายุ 25, 35 และ 55 วันหลังปลูก และเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ 55 วันหลังปลูก ศึกษาปริมาณผลผลิตรวม ค่าประสิทธิภาพการผลิตพืช และปริมาณเยื่อใย ผลการทดลองพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีที่มี

ปริมาณไนโตรเจนสูงในกรรมวิธีที่ 2, 3 และ 4 มีอัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนต่ำในกรรมวิธีที่ 5 นอกจากนี้ปุ๋ยที่มีแอมโมเนียมร่วมกับยูเรียในกรรมวิธีที่ 2, 3 และ 4 มีอัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยที่มีแอมโมเนียมร่วมกับไนเตรทในกรรมวิธีที่ 5 และการใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 2 ให้ปริมาณผลผลิตรวมและค่าประสิทธิภาพการผลิตพืชสูงที่สุด

(เกศศิรินทร์ แสงมณี, ชัยนาม ดิสถาพร และสุรชัย สุวรรณชาติ, 2557) ได้ศึกษาเทคโนโลยีชีวภาพของกรมพัฒนาที่ดินและถ่านชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตผักคะน้า ดำเนินการวางแผนการทดลองแบบ Split-split plot in RCB จำนวน 3 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ โดยกรรมวิธีที่ 1 main plot (M1 : ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี, M2 : ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 25-7-7) กรรมวิธีที่ 2 sub plot (I1 น้ำหมักชีวภาพ พด. 2, I2 : ถ่านชีวภาพผสมกับน้ำหมักชีวภาพ พด. 2, I3 : ถ่านชีวภาพผสมกับปุ๋ยหมัก พด. 1, I4 : ถ่านชีวภาพผสมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 และ I5 : ถ่านชีวภาพผสมกับปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง) กรรมวิธีที่ 3 sub – sub plot (B1 : ถ่านชีวภาพอัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ และ B2 : ถ่านชีวภาพอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่) การใส่ถ่านชีวภาพผสมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ให้ผลผลิต ปริมาณอินทรียวัตถุ และความชื้นในดินสูงที่สุดคือ 1,900.00 กิโลกรัมต่อไร่ 1.41 เปอร์เซ็นต์ และ 18.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับปฏิกิริยาดิน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และความอิ่มตัวด้วยน้ำ การใส่ถ่านชีวภาพผสมน้ำหมักชีวภาพ พด. 2 มีค่าสูงสุดคือ 6.96 46.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 395.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 8.50 เซนติเมตรต่อชั่วโมง สำหรับถ่านชีวภาพ 800 กิโลกรัมต่อไร่ เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นสูงที่สุด คือ 1.14 เซนติเมตร

(ชัยมงคล ใจหล้า และ บุญร่วม คิดค้า, 2558) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากผักตบชวาโดยการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา พบว่า กรรมวิธีที่ 4 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บด : ปุ๋ยหมักผักตบชวา : มูลสุกร : มูลไก่ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 3 : 1 : 1 : 3 : 2 นั้น มีอินทรียวัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 28.36 และ 2.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามที่พระราชบัญญัติปุ๋ยกำหนดไว้

(ปรัชญา เครืองรัมย์, ยืนยง สุทธิ และเลิศภูมิ จันทรเพ็ญกุล, 2560) เปรียบเทียบผลการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และอินทรีย์เคมีตามค่าการวิเคราะห์ดินที่มีผลต่อการปลูกผักกาดเขียว วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ Completely random design ทำการทดลองในสภาพดินที่ปลูกเป็นดินเหนียวปนร่วน มีค่า pH ประมาณ 6.5 (กรดอ่อน) มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในระดับธาตุอาหารปานกลาง และมีโพแทสเซียมที่ละลายน้ำในระดับธาตุอาหารปานกลาง ที่ สวนริมห้วย บ้านสวายจีกน้อย ตำบลสนวน อำเภอห้วยราช

จังหวัดบุรีรัมย์ ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) ไม่ใช้ปุ๋ยในการปลูกผักกาดเขียว 2) ใช้ปุ๋ยเคมีในการทดลอง หลังจากปลูกต้นกล้า 10 วันใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-20 0.135 กิโลกรัม หลังจากใส่ปุ๋ยครั้งแรกอีก 10 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.036 กิโลกรัม 3) ใช้ปุ๋ยหมักเติมอากาศในการทดลอง (ปุ๋ยอินทรีย์) ใส่ปุ๋ยหมักเติมอากาศก่อนลงต้นกล้าผักกาดเขียว 16 กิโลกรัม และ 4) ใช้ปุ๋ยอินทรีย์เคมีในการทดลอง ใส่ปุ๋ยหมักเติมอากาศก่อนลงต้นกล้าผักกาดเขียว 10 กิโลกรัม หลังจากลงต้นกล้าผักกาดเขียวได้ 15 วันใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-20 0.1 กิโลกรัม เก็บรวมทางด้านความสูงของต้น และวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูง เก็บข้อมูลความยาวของใบและ น้ำหนักสดในระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษา พบว่า กรรมวิธีที่ 2 ใช้ปุ๋ยเคมีในการทดลอง หลังจากลงต้นกล้าผักกาดเขียว 10 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-20 0.135 กิโลกรัม หลังจากใส่ปุ๋ยครั้งแรกอีก 10 วันใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.036 กิโลกรัม มีผลต่อการปลูกผักกาดเขียวทำให้ผักกาดเขียวมีค่าเฉลี่ยความสูงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาด้านความยาวใบ และน้ำหนักสดมากที่สุด คือ กรรมวิธีที่ 2 ใช้ปุ๋ยเคมีในการทดลอง หลังจากย้ายต้นกล้า 10 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-20 0.135 กิโลกรัม หลังจากใส่ปุ๋ยครั้งแรกอีก 10 วันใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.036 กิโลกรัม รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 ใช้ปุ๋ยหมักเติมอากาศในการทดลอง (ปุ๋ยอินทรีย์) ใส่ปุ๋ยหมักเติมอากาศก่อนลงต้นกล้าผักกาดเขียว 16 กิโลกรัม และที่ส่งผลต่อการปลูกผักกาดเขียวได้ผลผลิตต่ำที่สุดในทุกด้าน คือ กรรมวิธีที่ 1 การไม่ใช้ปุ๋ยเป็นธาตุอาหารแก่ผักกาดเขียว จึงกล่าวได้ว่า กรรมวิธีที่ 2 ใช้ปุ๋ยเคมีในการทดลอง หลังจากย้ายต้นกล้า 10 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-20 0.135 กิโลกรัม หลังจากใส่ปุ๋ยครั้งแรกอีก 10 วันใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.036 กิโลกรัม สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของผักกาดเขียวได้เป็นอย่างดี

(สัญญา เล่ห์สิงห์ และอรประภา อนุกูลประเสริฐ, 2559) ศึกษาผลของชนิด และอัตราการให้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต และปริมาณผลผลิตของคะน้า โดยวางแผนการทดลองแบบเฟคทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial in CRD) เปรียบเทียบกับการทดลองควบคุม ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง คือ ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง สูตร 1 กรมพัฒนาที่ดิน และมูลไก่หมักคุณภาพสูง และอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง 3 ระดับ คือ 1, 2.5 และ 5 กรัมไนโตรเจนต่อดิน 5 กิโลกรัม จากผลการทดลองพบว่าชนิดของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง ทำให้ต้นคะน้ามีปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน ขณะที่ผลดังกล่าวมีค่าแปรผันตามระดับไนโตรเจนที่ให้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการให้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงทั้ง 2 ชนิด ที่ระดับ 2.5 และ 5 กรัมไนโตรเจน ทำให้ต้นคะน้ามีน้ำหนักสดต้น จำนวนใบ และพื้นที่ใบมากกว่าการทดลองควบคุมที่ให้ปุ๋ยเคมี

ร่วมกับมูลโคที่ระดับ 1 กรัมไนโตรเจน สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของต้นคะน้า พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในการทดลอง แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงทั้ง 2 ชนิด ซึ่งจากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการผลิตคะน้าตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ การให้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงทั้ง 2 ชนิดที่ระดับตั้งแต่ 2.5 กรัมไนโตรเจน สามารถใช้ทดแทนการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลโคที่ระดับ 1 กรัมไนโตรเจนได้

(กรวิชญ์ อุบัติ และคณะ, 2560) ศึกษาผลของการใช้ปอเทือง และถั่วเขียวในการผลิตผักคะน้า โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) หน่วยทดลอง คือผักคะน้า อายุ 10 วัน จำนวน 420 ต้น ปลูกในถุงขนาด 5x8 นิ้ว แบ่งการทดลองออกเป็น 7 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 20 ต้น ใช้ระยะเวลาทดลอง 7 สัปดาห์ ผลการทดลองที่อายุ 21 วัน พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางต้น ความยาวใบ และความกว้างใบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนความสูงต้น จำนวนใบ พบว่าที่ผสมดิน 25 เปอร์เซ็นต์กับปุ๋ยหมักถั่วเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าการใช้ปุ๋ยหมักกรรมวิธีอื่น ๆ โดยมีความแตกต่างกันยิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ที่อายุ 35 วัน พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางต้น และความยาวใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนความสูงต้น จำนวนใบ และความกว้างใบ พบว่าที่ผสมดิน 25 เปอร์เซ็นต์กับปุ๋ยหมักถั่วเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าการใช้ปุ๋ยหมักกรรมวิธีอื่น ๆ โดยมีความแตกต่างกันยิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) และที่อายุ 49 วัน พบว่าความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางต้น จำนวนใบ ความยาวใบ และความกว้างใบ พบว่าที่ผสมดิน 25 เปอร์เซ็นต์ กับปุ๋ยหมักถั่วเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ดีกว่าการใช้ปุ๋ยหมักกรรมวิธีอื่น ๆ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ส่วนน้ำหนักผลผลิตรวม น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง พบว่าที่ผสมดิน 25 เปอร์เซ็นต์ กับปุ๋ยหมักถั่วเขียว 75 เปอร์เซ็นต์ ดีกว่าการใช้ปุ๋ยหมักกรรมวิธีอื่น ๆ โดยมีความแตกต่างกันยิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

(วีณา นิลวงศ์, 2562) ได้ศึกษาผลจากใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และน้ำหมักชีวภาพชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชผัก 3 ชนิดที่ปลูกแบบหมุนเวียน ได้แก่ กระเจี๊ยบเขียว ผักกาดหัว และคะน้า โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 12 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่ 1) ควบคุม 2) น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน 3) น้ำหมักปลา 4) ปุ๋ยค้างคาว 5) ปุ๋ยค้างคาว + น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน 6) ปุ๋ยค้างคาวน้ำหมักปลา 7) ปุ๋ยหมัก 8) ปุ๋ยหมัก + น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน 9) ปุ๋ยหมัก + น้ำหมักปลา 10) ปุ๋ยมูลไก่ 11) ปุ๋ยมูลไก่ + น้ำหมักมูลไส้เดือน 12) ปุ๋ยมูลไก่ + น้ำหมักปลา จากการศึกษาพบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และน้ำหมักชีวภาพชนิดต่าง ๆ มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียว ผักกาดหัว และคะน้า โดยปุ๋ยอินทรีย์และน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิดส่งผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต

ของกระเจี๊ยบเขียว ผักกาดหัว และคะน้า แตกต่างกันออกไป การใช้ปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับน้ำหมักมูลไส้เดือนดินทำให้กระเจี๊ยบเขียวมีผลผลิตสูงที่สุด เท่ากับ 2,202.6 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยค้างคาวร่วมกับน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ทำให้ผักกาดหัวมีความยาวหัวมากที่สุด เท่ากับ 17.8 เซนติเมตร และน้ำหนักผลผลิตสูงที่สุด เท่ากับ 1,386.7 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ทำให้คะน้ามีผลผลิตสูงที่สุด เท่ากับ 799.9 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ร่วมน้ำหมักชีวภาพส่งผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืชทั้งสามชนิดมากกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว

(บัญชา รัตนีทู, 2552) ศึกษาปุ๋ยอินทรีย์ในการฟื้นฟูสภาพดินที่มีความเสื่อมโทรม โดยเน้นปุ๋ยอินทรีย์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด โดยกล่าวถึงความสำคัญและประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน รวมถึงการผลิตและการใช้ประโยชน์ ความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดินโดยทั่วไป คือ การปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชสมบัติทางภายภาพของดิน ปุ๋ยอินทรีย์ส่งเสริมให้อนุภาคของดินจับตัวเป็นก้อนทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดี และร่วนมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก มีการระบายน้ำดี ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น สมบัติทางเคมีของดินสามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน เพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชได้สูง เพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างของดิน และช่วยลดความเป็นพิษของธาตุอาหารบางชนิด สมบัติทางชีวภาพของดิน ปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ดิน และช่วยยับยั้งการเจริญและการเกิดโรคพืชของเชื้อโรคบางชนิดได้ จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์มีความสำคัญในการปรับปรุงดินทำให้มีสภาพที่ดี เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ควรมีการแนะนำให้เกษตรกรได้ใช้ในการเกษตร เพื่อให้สามารถใช้ที่ดินได้อย่างยั่งยืน

(ชินกฤต สุวรรณคีรี และคณะ, 2555) ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักจากโรงงานต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ 4 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 2) ใส่ปุ๋ยหมักจากโรงงาน 1,000 กิโลกรัม ต่อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ AG5 500 กิโลกรัม 3) ใส่ปุ๋ยหมักจากโรงงาน 1,000 กิโลกรัม ต่อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ AG5 300 กิโลกรัม 4) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ AG5 3 ตัน/ไร่ ช่วงเตรียมดินและหลังปลูก 30 วัน ผลการวิจัย พบว่า กรรมวิธีที่ 4 ให้ความสูงที่คะน้าอายุ 45 วันมากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนค่าน้อยที่สุดคือ กรรมวิธีที่ 1 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 25.30, 24.88, 23.55 และ 18.70 เซนติเมตร สำหรับความสูงที่ 60 วัน พบว่า กรรมวิธีที่ 1 ให้ความสูงมากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 4 กรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 2 เท่ากับ 28.23, 27.25, 26.25, 25.75 เซนติเมตร

ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนผลผลิตพบว่า กรรมวิธีที่ 2 ให้น้ำหนักสดมากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 3 กรรมวิธีที่ 4 และกรรมวิธีที่ 1 เท่ากับ 3.169, 2.944, 2.862 และ 1.750 กิโลกรัม/ตารางเมตร ตามลำดับ ผลทางสถิติพบว่า กรรมวิธีที่ 2 กรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่กรรมวิธีที่ 1 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) สำหรับน้ำหนักแห้งพบว่า กรรมวิธีที่ 3 ให้น้ำหนักมากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 2 กรรมวิธีที่ 4 และกรรมวิธีที่ 1 เท่ากับ 594.05, 564.72, 487.35 และ 396.43 กรัม/ตารางเมตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณโปรตีนพบว่า กรรมวิธีที่ 1 มีมากที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 2 กรรมวิธีที่ 4 และกรรมวิธีที่ 3 คือ 24.42, 23.85, 18.95 และ 18.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จาก การวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปริมาณโปรตีนในผักคะน้าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

(สำราญ พิมราช, ถวัลย เกษมาลา และทัณฑิกา มุงคุณคำชาว, 2559) ศึกษาผลการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเพิ่มผลผลิตและขนาดหัวของแก่นตะวัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 8 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย 2) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15–15–15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ 3) ใส่ปุ๋ยหมักสูตรพระราชทานอัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ 4) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัตรา 400 กิโลกรัม/ไร่ 5) ใส่ปุ๋ยคอกอัตรา 1,600 กิโลกรัม/ไร่ 6) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15–15–15 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมักสูตรพระราชทาน อัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ 7) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15–15–15 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัตรา 200 กิโลกรัม/ไร่ และ 8) ใส่ปุ๋ยเคมี 15–15–15 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกอัตรา 800 กิโลกรัม/ไร่ ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักสูตรพระราชทานอัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ มีผลทำให้แก่นตะวันได้ผลผลิตน้ำหนักหัวสดมากที่สุด เท่ากับ 2,880 กิโลกรัม/ไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15–15–15 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง อัตรา 200 กิโลกรัม/ไร่ เท่ากับ 2,624 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัตรา 400 กิโลกรัม/ไร่ เท่ากับ 2,317 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15–15–15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตน้ำหนักหัวสดต่ำ เท่ากับ 1,339 และ 1,367 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัตรา 400 กิโลกรัม/ไร่ และการใส่ปุ๋ยหมักสูตรพระราชทานอัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ มีแนวโน้มให้ผลผลิตหัวขนาดใหญ่มากกว่าการใส่ปุ๋ยชนิดอื่น ๆ เท่ากับ 452 และ 409 กิโลกรัม/ไร่ เท่ากับ 19.5 และ 14.2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักหัวทั้งหมด ตามลำดับ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15–15–15 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง อัตรา 200 กิโลกรัม/ไร่ โดยมีหัวขนาดใหญ่ เท่ากับ 333 กิโลกรัม/ไร่ เท่ากับ 12.7 เปอร์เซ็นต์

ของน้ำหนักหัวทั้งหมด สำหรับหัวขนาดใหญ่นั้น พบว่าการ ใส่ปุ๋ยคอกอัตรา 1,600 กิโลกรัม/ไร่ มีแนวโน้มให้ผลผลิตหัวขนาดใหญ่มากที่สุด เท่ากับ 501 กิโลกรัม/ไร่ เท่ากับ 28.2 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักหัวสดทั้งหมด รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงอัตรา 200 กิโลกรัม/ไร่ เท่ากับ 488 กิโลกรัม/ไร่ เท่ากับ 18.6 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักหัวสดทั้งหมด และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง อัตรา 400 กิโลกรัม/ไร่ เท่ากับ 466 กิโลกรัม/ไร่ เท่ากับ 20.1 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักหัวสดทั้งหมด ตามลำดับ

(สกล ศรีวัณโณ และคณะ, 2550) ศึกษาผลของอัตราการใช้ปุ๋ยมูลวัวร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิต และการสะสมธาตุอาหารของผักคะน้า ปลูกในชุดดินบางเขน (Aeric Endoaquept, fine, mixed, isohyperthermic) วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือ 1) การใช้ปุ๋ยมูลวัวอัตรา 0, 500 และ 1,000 กิโลกรัม/ไร่ และปุ๋ยยูเรียอัตรา 0, 25, 50 และ 75 กิโลกรัม/ไร่และ 2) การใช้ปุ๋ยมูลวัวอัตรา 0, 500 และ 1,000 กิโลกรัม/ไร่ และปุ๋ยยูเรียอัตรา 0, 100, 125 และ 150 กิโลกรัม/ไร่ พบวา เมื่อเพิ่มอัตราการใชปุ๋ยยูเรียทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในผักคะน้าเพิ่มขึ้น การใช้ปุ๋ยมูลวัวในอัตราที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น และทำให้ผักคะน้ามีการสะสมโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น การใช้ปุ๋ยมูลวัวร่วมกับปุ๋ยยูเรียมีแนวโน้มที่จะเพิ่มน้ำหนักสดของผักคะน้า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ไม่ทำให้น้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกัน ส่วนผลต่อการสะสมธาตุอาหารในผักคะน้าแสดงผลชัดเจนเฉพาะโพแทสเซียม

(Ed-Haun Chang, Ren-Shih Chung and Yuong-How Tsai, 2007) ทำการปลูกผักเป็นเวลา 3 ปี ต่อเนื่องในสภาพโรงเรือน เพื่อศึกษาผลของการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน โดยใส่ปุ๋ยหมัก (อัตรา 270, 540, 810 และ 1,080 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อแฮกแตร์ต่อปี) เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี และการไม่ใส่ปุ๋ยเลย บันทึกข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดิน ประชากรของจุลินทรีย์ดิน กิจกรรมของเอนไซม์ในดิน พบว่า โดยทั่วไปแล้วค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณของอินทรียวัตถุจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยหมักนั้นมีค่าสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี ส่วนมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ดิน ประชากรของแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีท และกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินนั้นมีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มที่ใส่ปุ๋ยหมักเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี ยิ่งไปกว่านั้นการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ส่วนผลผลิตของผักพบว่า จะให้ค่าที่สูงสุดการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 540 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อแฮกแตร์ต่อปี

แล้วจะคงที่หรือปรับลดลงเมื่อใส่ในอัตราสูงกว่านี้ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราดังกล่าวจึงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของผัก และทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินดีขึ้น

(Junqiu Wu, et al., 2018) ศึกษาบทบาทของแมงกานีสออกไซด์ ในการเกิดปฏิกิริยาสีดำคล้ำของอินทรีย์วัตถุ และประสิทธิผลของการสนับสนุนให้เกิดการสร้างตัวของฮิวมัส โดยเลือกเอาซังข้าวโพด และปุ๋ยมูลไก่เอามาทำปุ๋ยหมัก พบว่า การเติมแมงกานีสออกไซด์ในระหว่างการหมัก จะช่วยลดปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ได้เร็วขึ้น (ลดลง 84.0 เปอร์เซ็นต์) ได้ภายใน 5 วัน และเพิ่มปริมาณฮิวมัสได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเพิ่มขึ้น 38.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่แมงกานีสออกไซด์ ส่วนการเปรียบเทียบการหมักซังข้าวโพดกับมูลไก่พบว่า การใส่แมงกานีสออกไซด์ทำให้เกิดฮิวมัสในมูลไก่ได้มากกว่าซังข้าวโพด ยิ่งไปกว่านั้น การมีอยู่ของแมงกานีสออกไซด์ยังมีผลต่อชนิดของแบคทีเรียในกองปุ๋ยด้วย ดังนั้นแมงกานีสออกไซด์จึงมีบทบาทในการเป็นตัวเร่งในกระบวนการหมักซังข้าวโพดด้วยเช่นกัน

(Zhichen Yang, et al., 2014) ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันของปุ๋ยอินทรีย์และอนินทรีย์ การสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดิน และผลผลิตพืช โดยระบบการปลูกพืชที่สำคัญได้แก่ การปลูกข้าวโพดหมุนเวียนกับข้าวสาลี ในฤดูหนาว – ฤดูร้อน มีทั้งหมด 16 กรรมวิธี ใช้กับฤดูการข้าวสาลี และข้าวโพด ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแปลงหลัก และข้าวโพดเป็นแปลงย่อย แปลงหลัก และแปลงย่อยทั้งหมดมี 4 ระดับ การใส่อินทรีย์ และการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดิน ทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น อัตราการใส่ปุ๋ยที่สูงขึ้นทำให้ผลผลิตพืชผลดีขึ้น สำหรับข้าวสาลีและข้าวโพดอัตราการใส่ปุ๋ยสูงสุดมีผลผลิตสูงสุดคือ 6,400 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และ 8,600 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ และส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานที่ร่วมวิจัย

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างวัตถุดิบ 5 ชนิด ที่โรงงานนำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ดังนี้

ปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพดแบบไม่พลิกกลับกองที่ผลิตโดยวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ซึ่งมี (ธีรพงษ์ สว่างปัญญากูร, 2558) วัตถุดิบที่ใช้ คือ ซังข้าวโพดและมูลสัตว์ อัตราส่วน 4:1 ขั้นตอนการผลิต นำซังข้าวโพด 4 ส่วน วางเป็นชั้นบาง ๆ สูงไม่เกิน 10 เซนติเมตร ฐานกว้าง 2.5 เมตร โดยไม่ต้องเหยียบ โปรยทับด้วยมูลสัตว์ 1 ส่วน แล้วรดน้ำ ทำ 15–17 ชั้น รดน้ำแต่ละชั้นให้มีความชื้น ขึ้นกองเป็นรูปสามเหลี่ยมความสูง 1.50 เมตร และรักษาความชื้นภายในกองปุ๋ยให้มีความเหมาะสมอยู่เสมอ รดน้ำภายนอกกองปุ๋ยวันละครั้ง โดยไม่ให้มีน้ำไหลนองออกมาจากกองปุ๋ยมากเกินไป เมื่อครบ 10 วัน ใช้ไม้แทงกองปุ๋ยให้เป็นรูลึกถึงพื้นด้านล่าง เติมน้ำลงไป ทำเช่นนี้ให้ทั่วกองปุ๋ย ระยะระหว่างรู 40 เซนติเมตร ระยะเวลาห่างกัน 10 วัน เมื่อเติมน้ำเสร็จแล้วให้ปิดรู เมื่อครบ 60 วัน หยุดให้ความชื้น จากนั้นกระจายปุ๋ยให้มีความหนา ประมาณ 20 เซนติเมตร เพื่อทำให้แห้งเสร็จแล้วนำไปบดละเอียด ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างในเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

มูลไก่ไข่ จากวัตถุดิบของโรงงาน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างในเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

มูลสุกร จากวัตถุดิบของโรงงาน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างในเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

ปุ๋ยหมักผักตบชวา จากวัตถุดิบของโรงงาน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างในเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

แร่ลีโอนาไดต์ จากวัตถุดิบของโรงงาน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างในเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

หินบะซอลต์บด จากวัตถุดิบของโรงงาน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างในเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

นำตัวอย่างวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ มาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) โดยเครื่อง Conductivity meter ปริมาณอินทรีย์

คาร์บอน (Organic carbon) ตามวิธีของ Walkley and Black ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) ตามวิธีของ Walkley and Black อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus as P_2O_5) โดยวิธี Molybdate vanado phosphate method ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total potassium as K_2O) โดยวิธี Flame photometric method

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) และสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน (Coefficient of variation)

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

เนื่องจากทางโรงงานไม่ต้องการเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบจากที่เคยใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานแห่งนี้มีพันธกิจที่จะต้องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากผักตบชวา เพื่อเป็นการแก้ปัญหาผักตบชวาในกว๊านพะเยา การทดลองนี้จึงศึกษาการปรับอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบแทนการเปลี่ยนชนิดวัตถุดิบที่โรงงานใช้ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) คือ ส่วนผสมของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ทำการทดลองทั้งหมด 5 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักผักตบชวา : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก อัตราส่วน 1:1:4:2:2

กรรมวิธีที่ 2 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักซังข้าวโพดแบบไม่กลับกอง : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก อัตราส่วน 1:1:4:2:2

กรรมวิธีที่ 3 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักผักตบชวา : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก อัตราส่วน 1:1:3:2:3

กรรมวิธีที่ 4 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักซังข้าวโพดแบบไม่กลับกอง : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก อัตราส่วน 1:1:3:2:3

กรรมวิธีที่ 5 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักผักตบชวา : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก อัตราส่วน 1:1:1:1:1 (สูตรที่ผลิตเชิงการค้าของโรงงานในปัจจุบัน)

ผลิตปุ๋ยที่มีส่วนผสมของแต่ละกรรมวิธีด้วยเครื่องผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดยี่ห้อ Lion 1 รุ่นกำลังการผลิต 5 ตันต่อวัน แล้วจึงเก็บตัวอย่างปุ๋ยที่ผลิตได้จากแต่กรรมวิธี มาทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) โดยเครื่อง Conductivity meter ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

(Organic carbon) ตามวิธีของ Walkley and Black ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) ตามวิธีของ Walkley and Black อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus as P_2O_5) โดยวิธี Spectrophotometer molybdate vanado phosphate method และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total potassium as K_2O) โดยวิธี Flame photometric method

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีด้วย Duncan's New Multiple Range Test

ศึกษาความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในสายพานการผลิตของโรงงาน

คัดเลือกกรรมวิธีการผลิตที่ปุ๋ยอินทรีย์จากการทดลองข้างต้นในระดับห้องปฏิบัติการได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ได้กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2551 มาทำการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในสายพานการผลิตของโรงงานปุ๋ยที่ร่วมทำการวิจัย โดยใช้การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง ตามสูตรของ เครซี่และมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970) โดยกำหนดให้ยอมรับให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และจากการสำรวจในเบื้องต้นพบว่า ใน 1 วัน โรงงานผลิตปุ๋ยได้ 8,000 กิโลกรัม ซึ่งจะทำให้มีขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องทำการสุ่มเท่ากับ 367 กิโลกรัม ดังนั้น ในการเก็บตัวอย่าง จึงทำการเก็บตัวอย่างที่บรรจุกระสอบแล้ว จำนวน 14 กระสอบ (น้ำหนักรวม 350 กิโลกรัม) ทำการเก็บตัวอย่างปุ๋ยแต่ละกระสอบ จำนวน 3 ซ้ำ จากการคำนวณสูตร ดังนี้

การคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยสูตรของเครซี่และมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970)

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

กำหนดให้ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากร

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

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

p = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด p = 0.5)

จากนั้นนำตัวอย่างปุ๋ยที่สุ่มเก็บมาวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ และบันทึกข้อมูลตามข้อกำหนดด้านคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวตามมาตรฐานตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ได้แก่ ขนาดของปุ๋ย ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ ปริมาณหิน และกรวด พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) ค่าความเป็นกรด-ด่าง อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus as P_2O_5) และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total potassium as K_2O)

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) และสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน (Coefficient of variation)

ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วต่อการให้ผลผลิตของผักคะน้า

การทดสอบผลของการใช้ปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักคะน้า ในระดับโรงเรือน โดยทำการเพาะเมล็ดคะน้าในถาดเพาะโดยใช้วัสดุเพาะสำเร็จรูป จนคะน้ามีอายุ 14 วัน จึงทำการย้ายกล้าลงแปลงปลูกภายในโรงเรือน

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design จำนวนทั้งหมด 6 กรรมวิธี (ขนาดแปลงย่อย 1 x 7 เมตร) ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้น อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า ในอัตรา 250 กิโลกรัมต่อไร่ ที่อายุ 20 วัน

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 250 กิโลกรัมต่อไร่ ที่อายุ 20 วัน

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่อายุ 20 วัน

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช โดยเก็บข้อมูล

ความสูงของต้น จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น ขนาดลำต้น น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักสดต่อต้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งต่อต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณธาตุอาหารพืช [ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen: N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus: P) และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total potassium: K)] ที่สะสมในต้นของคะน้าในระยะเก็บเกี่ยว วิเคราะห์การเจริญเติบโตโดยวิธี หาอัตราการเจริญเติบโตของพืชปลูก (Crop growth rate: CGR) และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate: RGR)

$$CGR = (1/G) \times [(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)]$$

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1)/(T_2 - T_1)$$

โดย G คือ ขนาดพื้นที่ดิน

T คือ จำนวนสัปดาห์หลังย้ายปลูก

W_2 และ W_1 คือ น้ำหนักแห้งของต้นพืชที่เวลา T_2 และ T_1

บันทึกข้อมูลคุณสมบัติของดิน

โดยเก็บตัวอย่างดินในแปลงทดลองทั้งก่อนปลูก และหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต อย่างละ 1 กิโลกรัม มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติ ดังนี้ วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) โดยเครื่อง Conductivity meter อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) ตามวิธีของ Walkley and Black (1997) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available phosphorus) โดยวิธี Bray II ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable potassium) โดยวิธี Flame photometric method

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีด้วย Duncan's New Multiple Range Test

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ และส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ศึกษาถึงคุณสมบัติ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักของวัตถุดิบที่โรงงานใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด พบว่า วัตถุดิบนั้นมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันดังนี้

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า แร่ลีโอนาร์ไดต์ และหินบะซอลต์บดมีคุณสมบัติเป็นกรดจัด (pH = 2.74 และ 5.27) ปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพดมีคุณสมบัติเป็นด่างจัด (pH = 8.80) ขณะที่มูลไก่ไข่ มูลสุกร และปุ๋ยหมักผักตบชวา มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (ตาราง 3) เป็นไปตามที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 5.5-8.5

2. ค่าการนำไฟฟ้า พบว่า แร่ลีโอนาไดต์มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.77 เดซิซีเมนต์/เมตร รองลงมา คือ ปุ๋ยหมักผักตบชวา เท่ากับ 0.71 เดซิซีเมนต์/เมตร มูลสุกร เท่ากับ 0.53 เดซิซีเมนต์/เมตร มูลไก่ไข่ เท่ากับ 0.23 เดซิซีเมนต์/เมตร หินบะซอลต์บด เท่ากับ 0.22 เดซิซีเมนต์/เมตร และปุ๋ยหมักซังข้าวโพด เท่ากับ 0.13 เดซิซีเมนต์/เมตร (ตาราง 3)

3. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน พบว่า ปุ๋ยหมักผักตบชวามีค่ามากที่สุดเท่ากับ 30.49 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ มูลไก่ไข่ เท่ากับ 18.06 เปอร์เซ็นต์ ปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพดแบบไม่พลิกกลับกอง เท่ากับ 11.60 เปอร์เซ็นต์ แร่ลีโอนาร์ไดต์ เท่ากับ 10.49 เปอร์เซ็นต์ มูลสุกร เท่ากับ 9.72 เปอร์เซ็นต์ และหินบะซอลต์บดมีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 2.71 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 3)

4. ปริมาณอินทรียวัตถุ พบว่า หินบะซอลต์บดที่นำมาผลิตปุ๋ยมีค่าอินทรียวัตถุต่ำที่สุด เท่ากับ 4.67 ส่วนปุ๋ยหมักผักตบชวามีค่าเท่ากับ 52.56 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 3) แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักผักตบชวา และแร่ลีโอนาร์ไดต์เป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด

5. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า แร่ลีโอนาร์ไดต์มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.10 เปอร์เซ็นต์ และมูลไก่ไข่มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.35 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 3)

6. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ปุ๋ยหมักผักตบชวามีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.54 เปอร์เซ็นต์ และมูลสุกรมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.59 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 3)

7. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่า หินบะซอลต์บดมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.03 เปอร์เซ็นต์ และมูลไก่ไข่มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.52 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 3)

8. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน จากการทดลองพบว่า ปุ๋ยหมักซังข้าวโพด มูลไก่และมูลสุกรมีค่าอยู่ระหว่าง 11.38–22.38 : 1 แต่ปุ๋ยหมักผักตบชวา และ แร่ลีโอนาร์ไดต์มีค่า 125.04 และ 107.48 : 1 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สูงเกิน 20 แสดงถึงการย่อยสลายที่ยังไม่สมบูรณ์ของวัตถุดิบที่นำมาทำปุ๋ย (ตาราง 3)

ตาราง 3 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ และส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

กรรมวิธี	[1/]กรด-ด่าง	[1/]ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)	อินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
ปุ๋ยหมักซังข้าวโพด	8.80±0.07	0.13±0.00	11.60±4.73	20.00±8.16	22.38±8.81	0.52±0.02	0.60±0.01	0.23±0.01
มูลไก่ไข่	7.84±0.01	0.23±0.00	18.06±2.87	31.13±4.96	13.52±2.67	1.35±0.19	1.10±0.01	0.52±0.03
มูลสุกร	7.04±0.09	0.53±0.01	9.72±2.75	16.76±4.74	11.38±3.32	0.86±0.06	1.59±0.08	0.25±0.06
ปุ๋ยหมักผักตบชวา	7.46±0.03	0.71±0.05	30.49±1.88	52.56±3.24	125.04±30.71	0.25±0.05	0.54±0.00	0.12±0.03
แร่ลีโอนาไดต์	2.74±0.03	0.77±0.04	10.49±3.62	18.08±6.25	107.48±36.14	0.10±0.01	0.55±0.01	0.04±0.01
หินบะซอลต์บด	5.27±1.69	0.22±0.02	2.71±1.10	4.67±1.90	7.32±4.05	0.40±0.08	0.57±0.02	0.03±0.01
CV (%)	11.42	7.36	23.86	23.86	44.78	17.04	6.69	16.87

หมายเหตุ [1/]หมายถึง อัตราส่วนวัตถุดิบ: น้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก/ปริมาตร, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ส่วนผสมของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ นั้น พบว่า ปุ๋ยที่ผลิตตามกรรมวิธีที่ 4 ใช้แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพด: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ ผสมกันในอัตราส่วน 1: 1: 3: 2: 3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีค่า pH เป็นด่างอ่อน มีปริมาณอินทรียวัตถุ 23.11 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.10, 0.66 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมถึงพบว่ามีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 12.12 : 1 (ตาราง 5) ซึ่งเป็นไปตามที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวต้องมีปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมทั้งหมดไม่น้อยกว่า 20, 1.0, 0.5 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกิน 20:1 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ขณะที่กรรมวิธีอื่น ๆ มีค่าวิเคราะห์หลายพารามิเตอร์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ตามประกาศดังกล่าว

ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้จากชนิด และอัตราส่วนต่าง ๆ

กรรมวิธี	[1/]กรด-ด่าง	[2/]การแปลผลกรด-ด่าง	[1/]ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)	อินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)
กรรมวิธีที่ 1	7.00±0.03^{c}	กลาง	3.21±0.11^{c}	8.12±1.04^{c}	14.00±1.80^{c}
กรรมวิธีที่ 2	7.02±0.03^{c}	กลาง	3.52±0.12^{b}	12.29±0.21^{a}	21.19±0.36^{a}
กรรมวิธีที่ 3	7.08±0.01^{b}	กลาง	3.58±0.09^{b}	9.86±0.84^{b}	17.00±1.45^{b}
กรรมวิธีที่ 4	7.30±0.05^{a}	ด่างอ่อน	4.14±0.03^{a}	13.40±0.52^{a}	23.11±0.90^{a}
กรรมวิธีที่ 5	6.56±0.02^{c}	กรดอ่อน	3.62±0.12^{b}	8.40±1.39^{bc}	14.48±2.39^{bc}
F-test	*		*	*	*
CV (%)	0.41		2.69	6.61	8.63

หมายเหตุ: [1/]หมายถึง อัตราส่วนปุ๋ย: น้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก/ปริมาตร, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

[2/]การแปลผลโดยอ้างอิงจากการประเมินค่า pH ของดิน Hall (2008)

กรรมวิธีที่ 1 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักผักตบชวา : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:4:2:2 โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 2 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:4:2:2 โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 3 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักผักตบชวา : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:3:2:3 โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 4 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:3:2:3 โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 5 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักผักตบชวา : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:1:1:1 โดยน้ำหนัก

ตาราง 5 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลัก และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้จากชนิดและอัตราส่วนต่าง ๆ

	ไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
กรรมวิธีที่ 1	0.54±0.05^{d}	0.47±0.01^{c}	0.40±0.01^{d}	15.25±3.47
กรรมวิธีที่ 2	0.86±0.01^{b}	0.58±0.03^{b}	0.48±0.01^{ab}	14.24±0.36
กรรมวิธีที่ 3	0.67±0.04^{c}	0.57±0.02^{b}	0.44±0.03^{c}	14.79±2.43
กรรมวิธีที่ 4	1.10±0.01^{a}	0.66±0.04^{a}	0.50±0.01^{a}	12.12±0.58
กรรมวิธีที่ 5	0.63±0.05^{c}	0.58±0.04^{b}	0.46±0.01^{bc}	13.24±2.66
F-test	*	*	*	ns
CV (%)	5.61	4.49	3.34	16.2

หมายเหตุ: ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักผักตบชวา : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:4:2:2 โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 2 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:4:2:2 โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 3 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักผักตบชวา : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:3:2:3 โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 4 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:3:2:3 โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 5 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักผักตบชวา : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:1:1:1 โดยน้ำหนัก

ศึกษาความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในสายพานการผลิตของโรงงาน

ทำการเลือกสูตรปุ๋ยอินทรีย์จากกรรมวิธีที่ 4 แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:3:2:3 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในสายพานการผลิตของโรงงานแล้ว ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มาทำการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีชนิดและอัตราส่วนตามที่ได้คัดเลือกไว้ โดยใช้วัตถุดิบ และผลิตในสายพานการผลิตของโรงงานปุ๋ยที่ร่วมทำการวิจัย โดยใช้การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง ตามสูตรของ เครซี่และมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970) โดยกำหนดให้ยอมรับให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และจากการสำรวจในเบื้องต้นพบว่า ใน 1 วัน โรงงานผลิตปุ๋ยได้ 8,000 กิโลกรัม ซึ่งจะทำให้มีขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องทำการสุ่มเท่ากับ 367 กิโลกรัม ดังนั้น ในการเก็บตัวอย่าง จึงทำการเก็บตัวอย่างที่บรรจุกระสอบแล้ว จำนวน 14 กระสอบ พบว่า แต่ละตัวอย่างที่ทำการสุ่มวิเคราะห์ความสม่ำเสมอนั้น มีอินทรียวัตถุ มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 21.31 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 31.73 (ตาราง 6) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.99 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในแต่ละตัวอย่างนั้นมีความสม่ำเสมอ และผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดไว้ (ตาราง 7)

ตาราง 6 แสดงความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละรุ่นของการผลิตจริง

กรรมวิธี	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	[1/]กรด-ด่าง	[1/]ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)	อินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)
ตัวอย่างที่ 1	15.27±1.63	7.31±0.01	4.14±0.03	15.21±2.11	26.22±3.65
ตัวอย่างที่ 2	18.47±1.23	7.30±0.01	4.17±0.02	14.65±1.32	25.26±2.28
ตัวอย่างที่ 3	19.47±2.64	7.15±0.07	4.18±0.02	15.70±1.45	27.06±2.49
ตัวอย่างที่ 4	15.27±3.30	7.32±0.02	4.17±0.01	12.36±0.39	21.31±0.67
ตัวอย่างที่ 5	18.40±2.51	7.25±0.02	4.15±0.03	13.82±0.69	23.83±1.20
ตัวอย่างที่ 6	15.73±0.47	7.23±0.01	4.13±0.01	17.64±1.25	30.41±2.16
ตัวอย่างที่ 7	21.07±1.27	7.31±0.01	4.16±0.00	15.00±2.05	25.86±3.54
ตัวอย่างที่ 8	20.13±5.47	7.40±0.04	4.12±0.01	12.78±0.62	22.03±1.60
ตัวอย่างที่ 9	19.47±0.18	7.35±0.08	4.16±0.03	18.40±1.01	31.73±1.74
ตัวอย่างที่ 10	13.20±4.72	7.27±0.03	4.17±0.01	16.11±1.69	27.78±2.91
ตัวอย่างที่ 11	18.13±3.57	7.25±0.02	4.13±0.01	13.47±0.92	23.23±1.58
ตัวอย่างที่ 12	15.27±0.93	7.22±0.01	4.13±0.01	13.33±0.12	22.99±0.21
ตัวอย่างที่ 13	14.40±1.06	7.24±0.01	4.18±0.04	14.03±1.94	24.19±3.35
ตัวอย่างที่ 14	12.73±4.57	7.33±0.04	4.16±0.03	15.35±0.49	26.46±0.84
$\overline{X}$ ± SE	16.93±0.45	7.28±0.01	4.16±0.0	14.85±0.17	25.60±0.30
CV (%)	24.13	0.01	0	6.38	18.98

หมายเหตุ: [1/]หมายถึง อัตราส่วนปุ๋ย: น้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก/ปริมาตร, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, $\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ย, S.E. = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตราฐาน

ตาราง 7 แสดงความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละรุ่นของการผลิตจริง (ต่อ)

กรรมวิธี	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
ตัวอย่างที่ 1	1.14±0.06	0.53±0.02	0.40±0.01	12.28±2.41
ตัวอย่างที่ 2	1.04±0.08	0.50±0.01	0.38±0.01	12.15±0.96
ตัวอย่างที่ 3	0.99±0.14	0.53±0.02	0.43±0.03	13.10±1.16
ตัวอย่างที่ 4	1.07±0.08	0.54±0.01	0.45±0.01	9.72±0.45
ตัวอย่างที่ 5	1.08±0.06	0.53±0.02	0.48±0.02	11.82±0.79
ตัวอย่างที่ 6	1.11±0.06	0.54±0.01	0.48±0.02	14.82±1.02
ตัวอย่างที่ 7	1.11±0.06	0.54±0.01	0.48±0.02	12.97±1.92
ตัวอย่างที่ 8	1.09±0.07	0.49±0.02	0.50±0.02	11.01±0.38
ตัวอย่างที่ 9	1.08±0.05	0.55±0.02	0.47±0.03	16.04±0.82
ตัวอย่างที่ 10	1.19±0.11	0.61±0.01	0.50±0.02	12.85±1.04
ตัวอย่างที่ 11	1.15±0.10	0.66±0.01	0.48±0.02	11.05±0.15
ตัวอย่างที่ 12	1.10±0.05	0.57±0.02	0.46±0.00	12.15±0.45
ตัวอย่างที่ 13	1.10±0.06	0.61±0.02	0.50±0.02	11.47±1.38
ตัวอย่างที่ 14	1.14±0.05	0.61±0.04	0.52±0.00	12.49±0.67
$\overline{X}$ ± SE	1.10±0.01	0.56±0.00	0.47±0.00	12.42±0.16
CV (%)	0.01	0.00	0.00	5.02

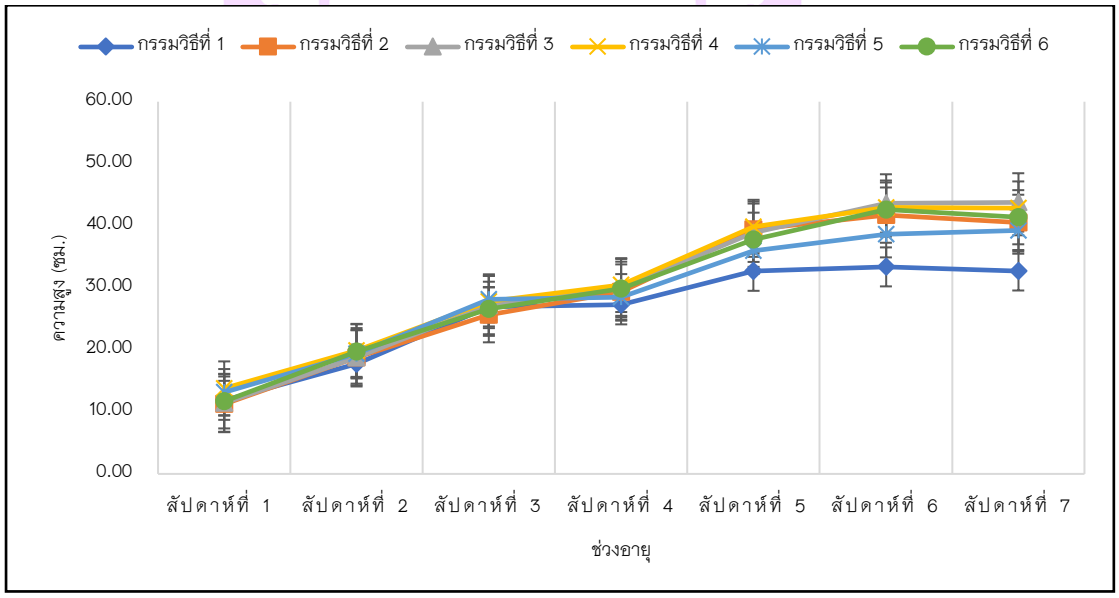
หมายเหตุ: ± =ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, $\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ย, S.E. = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตราฐาน

ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วต่อการให้ผลผลิตของผักคะน้า

จากการทดสอบผลของการใช้ปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักคะน้า ในระดับโรงเรือน

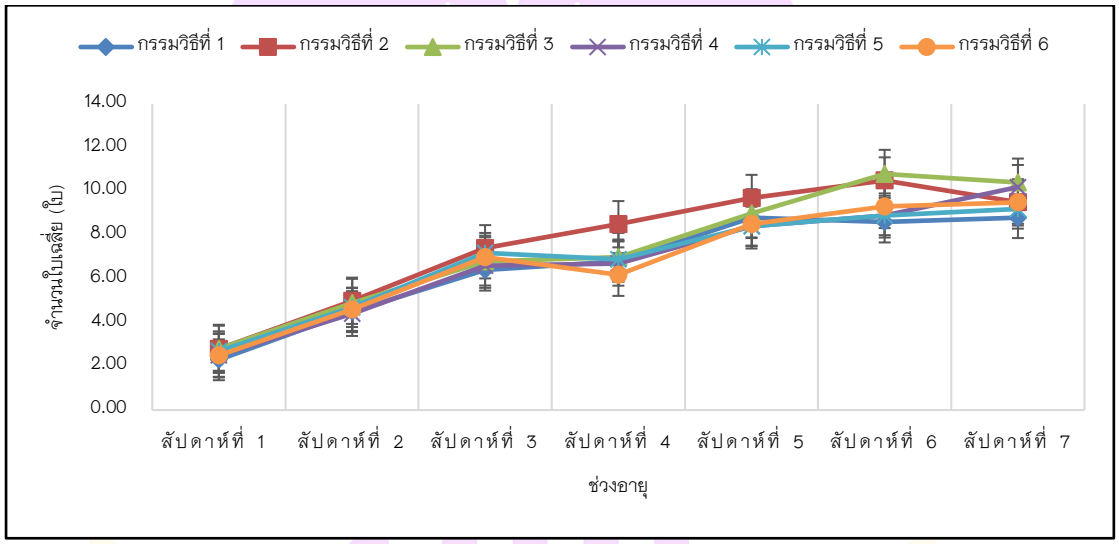
ข้อมูลการเจริญเติบโต

ความสูงของต้นคะน้า พบว่า กรรมวิธีที่ 3 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 43.77 เซนติเมตร รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 4 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้น และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า) เท่ากับ 42.81 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 6 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง) เท่ากับ 41.38 เซนติเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีที่ 2 (ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) กรรมวิธีที่ 5 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ) กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) ที่มีความสูงเฉลี่ยต่ำ เท่ากับ 32.71, 40.55, และ 39.25 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพ 1) (ตารางผนวก 12)



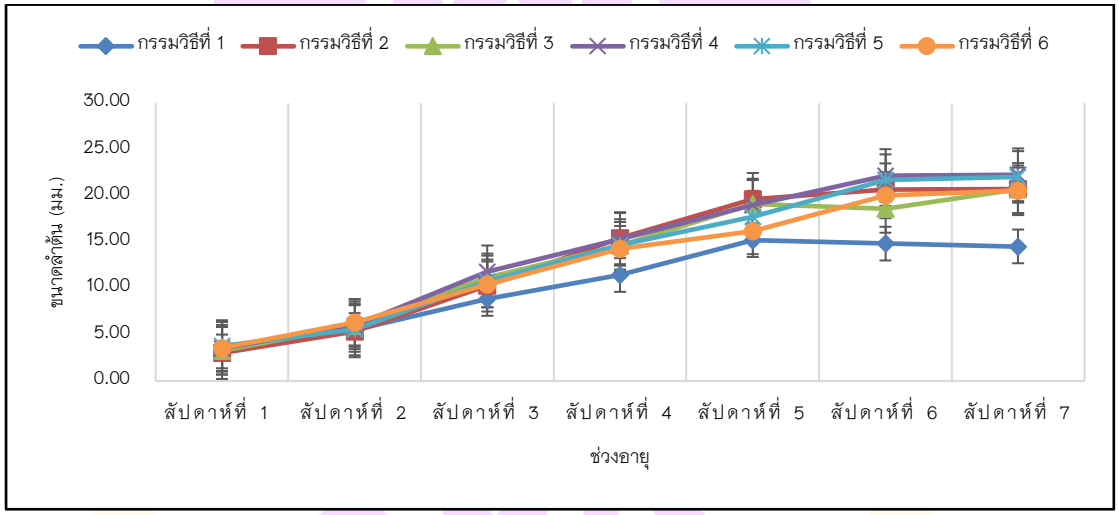
ภาพ 1 ปริมาณความสูงของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในระดับโรงเรือน

ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของคะน้า พบว่า กรรมวิธีที่ 3 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นและปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 10.40 ใบ รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 4 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้น และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า) เท่ากับ 10.20 ใบ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีที่ 2 (ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) กรรมวิธีที่ 6 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง) เท่ากับ 9.50 ใบ และกรรมวิธีที่ 5 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ) กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบที่ต่ำ เท่ากับ 9.20 และ 8.80 ใบ ตามลำดับ (ภาพ 2) (ตารางผนวก 13)



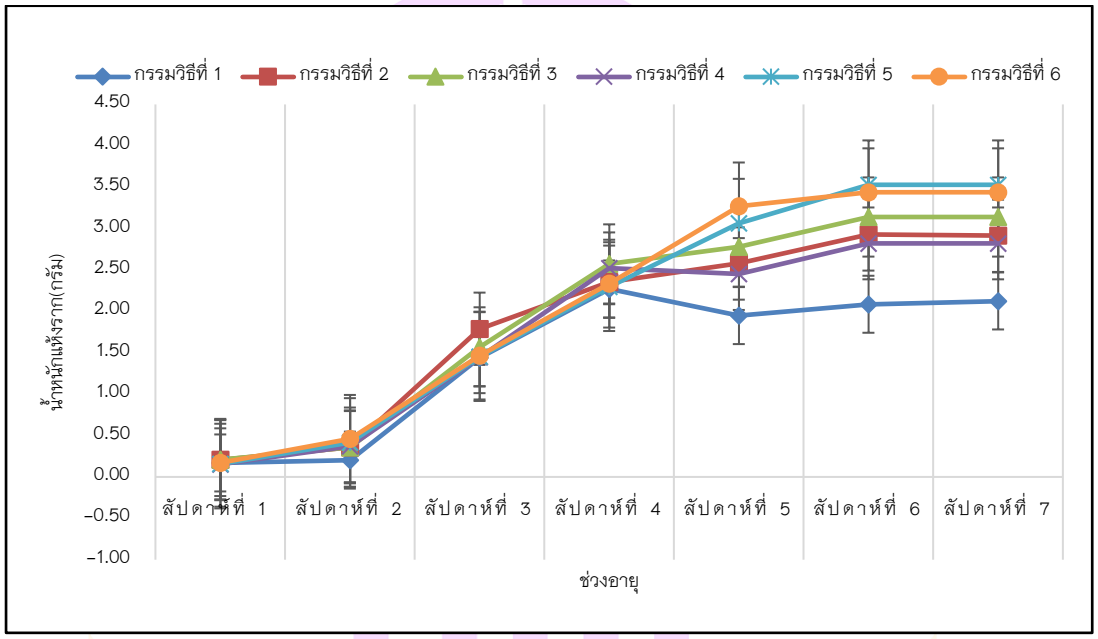
ภาพ 2 จำนวนใบเฉลี่ยของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในระดับโรงเรือน

ขนาดลำต้นของคะน้า พบว่า กรรมวิธีที่ 4 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นและปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า) มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 22.28 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ 5 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ) เท่ากับ 22.05 มิลลิเมตร ส่วนกรรมวิธีที่ 2 (ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) กรรมวิธีที่ 3 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) กรรมวิธีที่ 6 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง) และกรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) มีค่าเฉลี่ยที่ต่ำเท่ากับ 20.73 มิลลิเมตร 20.71 มิลลิเมตร และ 14.54 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ภาพ 3) (ตารางผนวก 14)



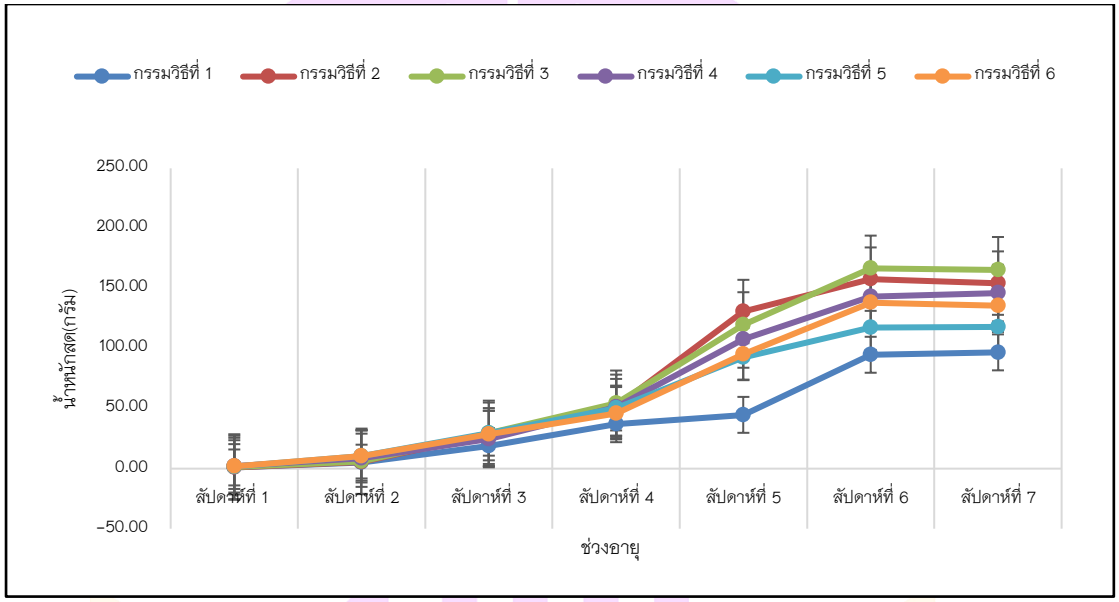
ภาพ 3 ขนาดลำต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน

น้ำหนักแห้งของรากคะน้า พบว่า กรรมวิธีที่ 5 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ) มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 3.53 กรัม รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 6 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง) เท่ากับ 3.44 กรัม และกรรมวิธีที่ 3 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) เท่ากับ 3.14 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ (ภาพ 4) (ตารางผนวก 15)



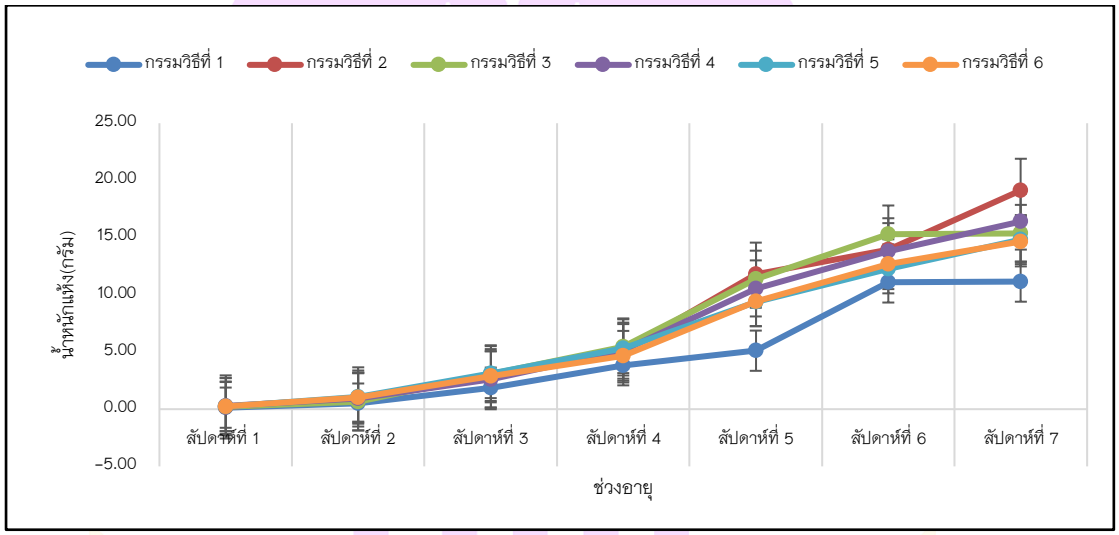
ภาพ 4 น้ำหนักแห้งของรากคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในระดับโรงเรือน

น้ำหนักสดต่อต้นของคะน้า พบว่า กรรมวิธีที่ 3 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 165.56 กรัม รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 2 (ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) เท่ากับ 154.46 กรัม และกรรมวิธีที่ 4 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้น และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า) เท่ากับ 146.12 กรัมแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ กรรมวิธีที่ 5 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ) เท่ากับ 117.99 กรัม (ภาพ 5) (ตารางผนวก 16)



ภาพ 5 น้ำหนักสดต่อต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในระดับโรงเรือน

น้ำหนักแห้งต่อต้นของคะน้า พบว่า กรรมวิธีที่ 2 (ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 19.13 กรัม รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 4 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้น และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า) ส่วนกรรมวิธีที่ 3 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) กรรมวิธีที่ 5 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ) กรรมวิธีที่ 6 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง) และกรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) เท่ากับ 15.37 กรัม 14.83 กรัม 14.66 กรัม และ 11.15 กรัม ตามลำดับ (ภาพ 6) (ตารางผนวก 17)



ภาพ 6 น้ำหนักแห้งต่อต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบผลของปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในระดับโรงเรือน

จากการทดสอบปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 0.08–0.13 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 0.04–0.06 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 0.07–0.18 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า กรรมวิธีที่ 6 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง) มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 1210.12 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด กรรมวิธีที่ 4 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15–15–15 รองพื้น และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า) มีค่าที่ต่ำ เท่ากับ 866.92 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด (ตาราง 8)

ตาราง 8 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ (ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

กรรมวิธี	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (mg/100g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (mg/100g FW)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/100g FW)	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (µg GAE/g FW)
กรรมวิธีที่ 1	0.10±0.01	0.05±0.00	0.15±0.01	1069.48±164.70^{ab}
กรรมวิธีที่ 2	0.13±0.01	0.06±0.01	0.18±0.01	874.27±76.62^{b}
กรรมวิธีที่ 3	0.12±0.02	0.05±0.01	0.17±0.03	1163.94±44.61^{ab}
กรรมวิธีที่ 4	0.11±0.00	0.05±0.00	0.07±0.00	866.92±86.12^{b}
กรรมวิธีที่ 5	0.08±0.00	0.04±0.00	0.12±0.01	1210.12±126.55^{a}
กรรมวิธีที่ 6	0.10±0.03	0.05±0.01	0.15±0.04	1065.28±32.02^{ab}
F-test	ns	ns	ns	*
CV (%)	24.25	22.87	25.03	16.55

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test), ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้นอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า ในอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 500 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 1,000 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม) ที่สะสมในต้นของคะน้าในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า กรรมวิธีที่ 5 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำที่สุด เท่ากับ 0.51 เปอร์เซ็นต์ และ 0.11 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) ที่มีปริมาณสูง เท่ากับ 0.81 เปอร์เซ็นต์ และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่า กรรมวิธีที่ 6 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง) มีปริมาณที่ต่ำ เท่ากับ 0.81 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับ กรรมวิธีที่ 2 (ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0) เท่ากับ 1.57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 9)

ตาราง 9 แสดงปริมาณธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม) ที่สะสมในต้นของคะน้า ในระยะเก็บเกี่ยว

กรรมวิธี	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
กรรมวิธีที่ 1	0.81[a]	0.13[a]	0.82[c]
กรรมวิธีที่ 2	0.60[b]	0.13[ab]	1.57[a]
กรรมวิธีที่ 3	0.59[b]	0.12[bcd]	1.29[ab]
กรรมวิธีที่ 4	0.50[c]	0.12[cd]	0.81[c]
กรรมวิธีที่ 5	0.51[c]	0.11[d]	0.82[c]
กรรมวิธีที่ 6	0.53[c]	0.12[bd]	0.81[c]
F-test	*	*	*
CV (%)	4.26	3.83	24.09

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้นอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

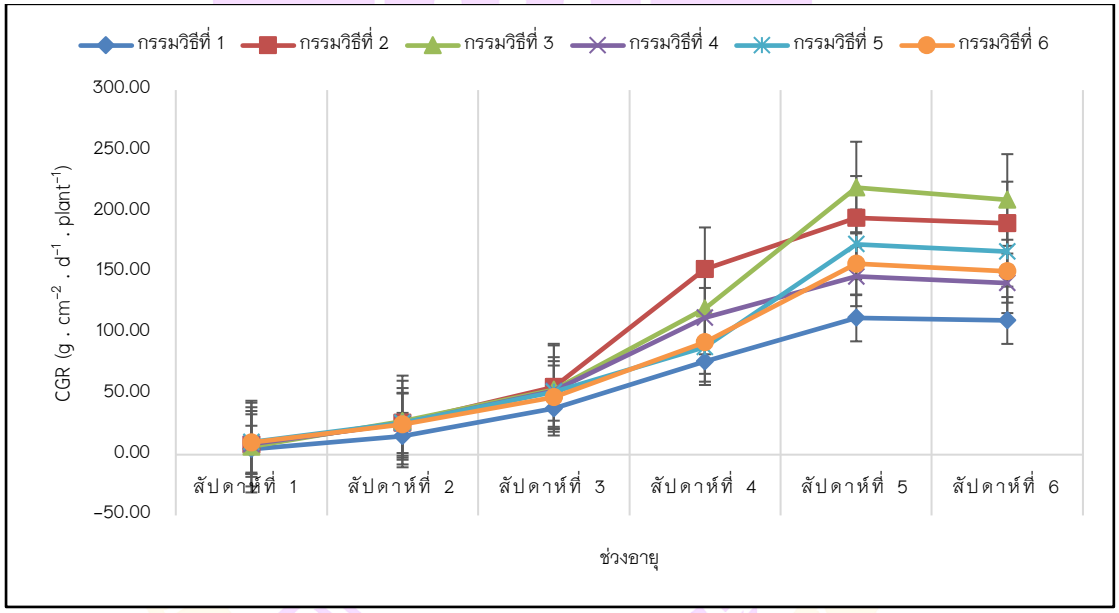
กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า ในอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน

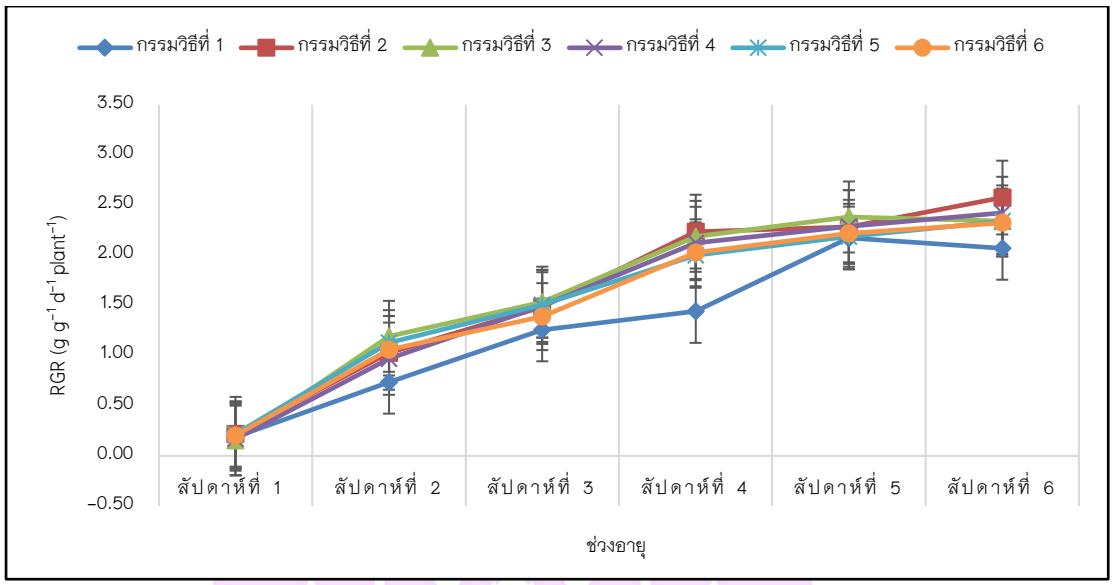
กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 500 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 1,000 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน

จากผลการทดลองผลของการใช้ปุ๋ยหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของพืชปลูก Crop growth rate (CGR) ที่ได้รับการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันแต่ละกรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีที่ 3 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15–15–15 รองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46–0–0) มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 2 (ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้น และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46–0–0) ส่วนกรรมวิธีที่ 5 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ) กรรมวิธีที่ 4 (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15–15–15 รองพื้น และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า) และกรรมวิธีที่ 6 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง) มีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) (ภาพ 7) และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ Relative growth rate (RGR) ที่ได้รับการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันแต่ละกรรมวิธี พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพ 8)



ภาพ 7 อัตราการเจริญเติบโตของพืชปลูก (Crop growth rate)



ภาพ 8 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate)

บันทึกข้อมูลคุณสมบัติของดิน

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินในแปลงทดลองก่อนปลูก พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเป็นด่างเล็กน้อย (pH= 7.26-7.82) ค่าการนำไฟฟ้า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.13 – 2.24 เดซิซีเมนต์/เมตร อินทรีย์คาร์บอน มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 1.89-4.81 เปอร์เซ็นต์ อินทรียวัตถุ มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 3.27-8.30 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าอยู่ระหว่าง 7.87-19.04 : 1 (ตาราง 10)

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักดินในแปลงทดลองก่อนปลูก พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.19-0.40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อดิน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.7 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.33-0.64 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 11)

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินในแปลงทดลองหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเป็นกลาง ถึง ด่างเล็กน้อย (pH= 7.10-7.82) ค่าการนำไฟฟ้า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.04-0.55 เดซิซีเมนต์/เมตร อินทรีย์คาร์บอน มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 4.84-15.15 เปอร์เซ็นต์ อินทรียวัตถุ มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 8.36-26.12 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าอยู่ระหว่าง 16.13-33.87 : 1 (ตาราง 10)

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักดินในแปลงทดลองหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 0.35-0.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทั้งดินก่อนปลูกและหลังปลูกคะน้า ที่มีการใส่ปุ๋ยแต่ละกรรมวิธีมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 0.78-0.92 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 0.42-1.95 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 11)

ตาราง 10 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูก และหลังปลูก

กรรมวิธี	[1/]กรด-ด่าง		ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)		อินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)		อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
กรรมวิธีที่ 1	7.35^{b}	7.10^{d}	0.19^{c}	0.55^{a}	4.23^{a}	4.84^{d}	7.29^{a}	8.36^{d}
กรรมวิธีที่ 2	7.82^{a}	7.35^{b}	0.23^{ab}	0.55^{a}	1.89^{c}	11.34^{b}	3.27^{c}	19.55^{b}
กรรมวิธีที่ 3	7.38^{b}	7.82^{a}	0.13^{d}	0.54^{ab}	3.94^{ab}	8.48^{c}	$6.79a^{b}$	14.62^{c}
กรรมวิธีที่ 4	7.30^{bc}	7.29^{bc}	0.22^{ab}	0.04^{abc}	4.81^{a}	12.81^{b}	8.30^{a}	22.09^{b}
กรรมวิธีที่ 5	7.29^{bc}	7.30^{c}	0.24^{a}	0.39^{bc}	3.06^{b}	12.81^{b}	5.28^{b}	22.09^{b}
กรรมวิธีที่ 6	7.26^{c}	7.26^{c}	0.21^{c}	0.38^{c}	3.94^{ab}	15.15^{a}	6.79^{ab}	26.12^{a}
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	0.59	0.55	7.25	17.62	13.59	10.36	13.57	10.38

หมายเหตุ: [1/]หมายถึง อัตราส่วนปุ๋ย: น้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก/ปริมาตร

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test) * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตาราง 11 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักและอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของดินก่อนปลูก และหลังปลูก

กรรมวิธี	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)		ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (เปอร์เซ็นต์)		ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (เปอร์เซ็นต์)		อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
กรรมวิธีที่ 1	0.27^{bc}	0.35	0.74	0.79^{bc}	0.33^{b}	0.42^{d}	15.66^{a}	16.13^{d}
กรรมวิธีที่ 2	0.24^{cd}	0.44	0.72	0.78^{c}	0.57^{a}	1.63^{b}	7.87^{b}	25.37^{bc}
กรรมวิธีที่ 3	0.40^{a}	0.38	0.72	0.91^{a}	0.41^{b}	1.95^{a}	9.80^{b}	22.16^{cd}
กรรมวิธีที่ 4	0.30^{b}	0.40	0.77	0.92^{a}	0.64^{a}	0.99^{c}	15.67^{a}	31.54^{ab}
กรรมวิธีที่ 5	0.19^{e}	0.40	0.75	0.84^{b}	0.42^{b}	0.90^{c}	15.75^{a}	31.95^{ab}
กรรมวิธีที่ 6	0.21^{de}	0.44	0.74	0.81^{bc}	0.35^{b}	1.11^{c}	19.04^{a}	33.87^{a}
F-test	*	ns	ns	*	*	*	*	*
CV (%)	8.13	18.81	4.64	3.79	15.46	10.42	18.84	14.85

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test) * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ และส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด พบว่า วัตถุดิบที่มีคุณภาพดีที่สุด คือ มูลไก่ไข่ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุมากที่สุด เท่ากับ 31.13 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 1.35 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ปุ๋ยหมักซังข้าวโพด มีปริมาณอินทรียวัตถุ เท่ากับ 20.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ มีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ไม่แตกต่างกัน

2. จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ย คือ แร่ลีโอนาร์ไดต์ : หินบะซอลต์บดละเอียด : ปุ๋ยหมักซังข้าวโพดแบบไม่กลับกอง : มูลสุกร : มูลไก่ไข่ อัตราส่วน 1:1:3:2:3 โดยน้ำหนัก (กรรมวิธีที่ 4) ที่มีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 23.11 และ 1.10 เปอร์เซ็นต์

3. จากการศึกษาความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละรุ่นในสายพานการผลิตของโรงงาน พบว่า มีความคงที่ของคุณภาพปุ๋ยในกระบวนการผลิตโดยมีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ระหว่าง 21.34–31.73 และ 0.9–1.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานตามประกาศของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่กำหนดไว้

4. จากการทดสอบผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วต่อศักยภาพการให้ผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ

4.1 ข้อมูลการเจริญเติบโตของคะน้า จากการทดสอบการตอบสนองของปุ๋ยแต่ละกรรมวิธีของคะน้า ระบุได้ว่า การใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15–15–15 รองพื้นอัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46–0–0 อัตรา 40 กิโลกรัม/ไร่ (กรรมวิธีที่ 3) ทำให้ผักคะน้ามีน้ำหนักสดต่อต้นดีที่สุด ขณะที่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่พิจารณานั้นตามการวิจัยครั้งนี้ ให้น้ำหนักสดต่อต้นน้อยกว่าการให้ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3 ประมาณ 30 กรัมต่อต้น อย่างไรก็ตาม พบว่าการให้ปุ๋ยอินทรีย์มีการเจริญเติบโตปกติ แต่ขนาดต้นเล็กกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี

4.2 ข้อมูลคุณสมบัติของดิน ในแปลงทดลองหลังปลูกนั้นจะมีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณธาตุอาหารหลักที่เพิ่มมากขึ้นในกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน

อภิปรายผลการวิจัย

ศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ และส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบทุกชนิดที่โรงงานใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า แร่ลีโอนาร์ไดต์ มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 2.74 ในขณะที่ปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพด มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 8.80 ส่วนค่าการนำไฟฟ้า พบว่า วัตถุดิบทั้ง 6 ชนิด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.13-0.77 เดซิซีเมนต์/เมตร เป็นค่าที่ใช้ในการประเมินความเข้มข้นของเกลือที่ละลายได้ในดิน ซึ่งเกลือที่ละลายได้ในดินที่สำคัญ ๆ ได้แก่ Na^+, K^+, Ca_2^+, Mg_2^+, NH_4^+, Cl^-, NO_3^-, HCO_3^- และ SO_4^{2-} (Raymen and Higginson, 1992) เมื่อแปลผลตาม (Wolf, 1999) พบว่า มีค่าในระดับ “ต่ำมาก” และอยู่ในระดับ “ไม่เค็ม” ของการจัดชั้นความเค็ม ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอน พบว่า ปุ๋ยหมักผักตบชวามีค่ามากที่สุดเท่ากับ 30.49 เปอร์เซ็นต์ และหินบะซอลต์บดมีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 2.71 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุ พบว่า หินบะซอลต์บดมีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 4.67 เปอร์เซ็นต์ และปุ๋ยหมักผักตบชวา มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 52.56 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า แร่ลีโอนาร์ไดต์มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.10 เปอร์เซ็นต์ และมูลไก่ไข่มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 1.35 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุเป็นคุณสมบัติทางเคมีที่มักนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Radojevic and Bashkin, 2006) ดินในพื้นที่เกษตรเขตร้อนส่วนใหญ่จะมีอินทรีย์วัตถุอยู่ระหว่าง 0.1-2 เปอร์เซ็นต์ (VanLoon and Duffy, 2005) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า ปุ๋ยหมักผักตบชวามีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.54 เปอร์เซ็นต์ และมูลสุกรมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 1.59 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่า หินบะซอลต์บดมีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.03 เปอร์เซ็นต์ และมูลไก่ไข่มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.52 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารพืชของวัตถุดิบบางชนิด โดยงานวิจัย พบว่า ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาจะมีปริมาณที่สูงกว่าที่ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) รายงานไว้ว่าผักตบชวาที่หมักแล้วจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 1.88 และ 0.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการหมักของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ตรากว้านพะเยาได้มีการเติมปุ๋ยคอก (มูลสุกรและมูลไก่ไข่) ส่วนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นตัวชี้วัดมาตรฐานที่ใช้กำหนดสภาพของปุ๋ยหมักว่าแปรสภาพได้ที่ดีแล้วหรือไม่ โดยถือว่าปุ๋ยหมักที่แปรสภาพดีแล้วมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 ค่าที่สูงกว่านี้จะทำให้การแปรสภาพสารอินทรีย์ไปเป็นสารฮิวมิก (Humic substance)ยังไม่สมบูรณ์ (ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, และชวลิต ฮงประยูร, 2556) ส่วนมูลไก่ไข่ และมูลสุกรที่ใช้เป็นวัตถุดิบนั้นมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่สอดคล้องกับ Brady and Weil (2002 อ้างอิงใน ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) ที่

รายงานว่ามูลไก่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 4.4 และ 2.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในมูลสุกรมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 2.1 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่แร่ลิโอนาร์ไดต์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่ามีค่า เท่ากับ 4.5, 55.41, 13.85 และ 3.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ (ณธรรศ สมจันทร์ และอรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง, 2557) พบว่า สมบัติทางเคมีของแร่ลิโอนาร์ไดต์จากเหมืองแร่ถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.62 มีปริมาณอินทรียวัตถุ เท่ากับ 0.80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.54 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 0.04 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.66 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปัญหาที่โรงงานปุ๋ยต้องแก้ไขคือต้องเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้ ซึ่งต้องศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตุดิบที่ใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตได้จริงในสาพานการผลิตของโรงงาน และมีคุณภาพเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดไว้

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดอัตราส่วนที่ได้ คือ ส่วนผสมของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ นั้น พบว่า ปุ๋ยที่ผลิตตามกรรมวิธีที่ 4 ที่ใช้แร่ลิโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพด: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ ผสมกันในอัตราส่วน 1:1:3:2:3 โดยน้ำหนัก มีปริมาณอินทรียวัตถุ เท่ากับ 23.11 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.10, 0.66 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมถึงพบว่ามีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 12.12:1 ซึ่งได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับ (ชัยมงคล ใจหล้า และบุญร่วม คิดค้า, 2558) ที่ใช้ปุ๋ยหมักผักตบชวาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา โดยใช้แร่ลิโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บด: ปุ๋ยหมักผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ ในอัตราส่วน 3:1:1:3:2 มีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 28.36 เปอร์เซ็นต์ และ 2.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นไปตามที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวตามมาตรฐานตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 ต้องมีปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมดไม่น้อยกว่า 20, 1.0, 0.5 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2551) และมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกิน 20:1 การใช้ปุ๋ยหมักซังข้าวโพดมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ในอัตรา 1:1:3:2:3 โดยน้ำหนัก โดยปุ๋ยที่ได้ยังผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร

ศึกษาความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในสายพานการผลิตของโรงงาน

จากการศึกษาความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตโดยสายพานการผลิตของโรงงาน ที่มีส่วนผสมประกอบไปด้วย แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์บดละเอียด: ปุ๋ยหมักจากซังข้าวโพด: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ ผสมกันในอัตราส่วน 1:1:3:2:3 โดยน้ำหนัก พบว่า มีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 12.73–21.07 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด–ด่างอยู่ระหว่าง 7.15–7.40 เดซิซีเมน/เมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ระหว่าง 12.36–18.40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 22.99–30.41 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 9.72–16.4 และปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.99–1.10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อยู่ระหว่าง 0.49–0.66 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมอยู่ระหว่าง 0.38–0.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าวิเคราะห์ที่ได้สอดคล้องกับประกาศของกรมวิชาการเกษตรที่กำหนดให้มีปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด–ด่างอยู่ระหว่าง 5.5–8.5 ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 เดซิซีเมน/เมตร ปริมาณอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกิน 20:1 และปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ไม่น้อยกว่า 1, 0.5 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

การทดสอบผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วต่อศักยภาพการให้ผลผลิตของผักคะน้า

จากผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักคะน้า ในระดับโรงเรือน พบว่า ที่กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ น้ำหนักแห้งรากสูงกว่า การใส่ปุ๋ยเคมี โดย (สมศักดิ์ มณีพงศ์, 2537) รายงานว่า ปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการปลูกพืชผัก โดยเฉพาะพืชผักอายุสั้น ที่มีความต้องการปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) อยู่ในช่วงระดับ 2.5–4.5, 0.3–0.5 และ 1.5–3.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า ซึ่งแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกัน อัตราการเจริญเติบโตของพืชปลูก Crop growth rate (สัญญา เล่ห์สิงห์, 2559) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของคะน้า โดยศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง จำนวน 2 ชนิด คือ ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงสูตร 1 กรมพัฒนาที่ดิน และปุ๋ยมูลไก่หมักคุณภาพสูงต่ออัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง 3 ระดับ คือ 1, 2.5 และ 5 กรัม

ไนโตรเจน ต่อดิน 5 กิโลกรัม โดยใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลโคที่มีระดับไนโตรเจน 1 กรัม เป็นชุดควบคุม พบว่า ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงทั้ง 2 ชนิด ทำให้ต้นคะน้ามีปริมาณน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ผลดังกล่าวมีค่าแปรผันตามระดับไนโตรเจนที่ให้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการให้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงทั้ง 2 ชนิด ที่ระดับ 2.5 และ 5 กรัมไนโตรเจน ทำให้ต้นคะน้ามีน้ำหนักสดต่อต้น จำนวนใบ และพื้นที่ใบมากกว่าการทดลองชุดควบคุมที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลโค

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดินในแปลงทดลองก่อนปลูก พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 7.26-7.82 ค่าการนำไฟฟ้า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.13-2.24 เดซิซีเมนต์/เมตร อินทรีย์คาร์บอนมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 1.89-4.81 เปอร์เซ็นต์ อินทรียวัตถุมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 3.27-8.30 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าอยู่ระหว่าง 7.87-19.04 : 1 และการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.19-0.40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีค่าอยู่ระหว่าง 0.7 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.33-0.64 เปอร์เซ็นต์ โดย (บัญชา รัตนีทู 2552) รายงานว่า ดินที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้ลักษณะทางกายภาพ และโครงสร้างของดินดีขึ้น โดยจะช่วยลดความหนาแน่นรวมในดินลง และการระบายอากาศของดินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดธาตุอาหารของรากพืชเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งเสริมให้เกิดความพรุนของผิวหน้าดิน ไม่ให้เกิดสภาพผิวดินแข็ง ทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ส่งผลทำให้มีความชุ่มชื้นได้ยาวนานกว่าดินที่มีโครงสร้างไม่ดี นอกจากนี้ ดินที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้มีคุณสมบัติทางเคมี ในการช่วยเพิ่มความต้านทานในการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่าง และค่าการนำไฟฟ้าให้ช้าลง โดยไม่ส่งผลต่อความเป็นอันตรายกับพืช ในขณะเดียวกันการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ยังเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินให้มากขึ้น ถึงแม้จะไม่มากนักเมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีก็ตาม แต่ในขณะเดียวกันธาตุอาหารที่อยู่ในดินแล้วก็มีโอกาสที่จะสูญเสียไปบางส่วน เนื่องจากการนำไปใช้ประโยชน์ของพืช เมื่อใส่ลงไปในดินแล้วก็มีโอกาสที่จะสูญเสียไปบางส่วน เนื่องจากการนำไปใช้ประโยชน์ของพืช และบางส่วนจะถูกยึดไว้ในรูปของคีเลต ส่วนของดินหลังปลูก พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเป็นกลาง ถึง ด่าง ส่วนอินทรียวัตถุ มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. จากการศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ควรมีการสุ่มตัวอย่างวัตถุดิบมาวิเคราะห์ทุกครั้ง ที่มีการรับเข้ามาของวัตถุดิบ เพื่อที่จะทราบถึงภาพรวมว่าคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพ

2. ควรมีการควบคุมการชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบ ให้มีน้ำหนักตามที่ระบุไว้อย่างเคร่งครัด เพื่อให้ได้คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์เป็นตามมาตรฐานตามที่กดหมายกำหนดไว้

ข้อเสนอแนะในการทำการวิจัยครั้งต่อไป

ควรทำการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยก่อนการซื้อ หากไม่ทำการตรวจสอบก่อนอาจทำให้ได้วัตถุดิบที่ไม่มีคุณภาพ

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. (2560). **คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่ขุดออกจากแหล่งน้ำ.** กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 1–7.

กรมวิชาการเกษตร. (2548). **หลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการขอรับรองการผลิตปุ๋อินทรีย์**. พ.ศ. (2548) กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 66.

เกศศิรินทร์ แสงมณี, ชัยนาม ดิสถาพร และสุรชัย สุวรรณชาติ. (2557). **การจัดการดินด้วยเทคโนโลยีชีวภาพและถ่านชีวภาพในการผลิตผักคะน้าในดินทราย.** ว. วิทยาศาสตร์เกษตร. กรมพัฒนาที่ดิน, 45(2), 605 – 608.

กรวิชญ์ อุบัติ, ชินดนัย ปิ่นเพชร, วิณากร ที่รัก, วนิดา วัฒนพายัพกุล, และสุชาดา สานุสันต์. (2560). **ผลของการใช้ปอเทือง และถั่วเขียวในการผลิตผักคะน้า.** การประชุมวิชาการระดับชาตินวัตกรรม และเทคโนโลยีวิชาการ 2017 วิจัยจากองค์ความรู้สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน, 1–7.

จักรพันธ์ อินทจักร. (2555). **การใช้ลีโอนาร์ไดท์เพื่อปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักและผลผลิตคะน้า.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

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

ชัยมงคล ใจหล้า และ บุญร่วม คิดค้า. (2558). **การปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา.** การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ โรงแรมหรรษาเจบี สงขลา, 4, 1 – 10.

ชินกฤต สุวรรณคีรี, ชินวร พิริยพงศพิทักษ, นิรัช กอนใจ, สมศักดิ์ จีรัตน และสลริน เหมาะประสิทธิ์. (2555). **ประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักจากของเหลือใช้ต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า.** การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49, 522–528.

ณธรรศ สมจันทร์ และ อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง. (2557). **การปรับปรุงคุณภาพลีโอนาร์ไดต์สำหรับเป็นวัสดุปรับปรุงดิน.** วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 37(1), 33–43.

ณัฐธีร์ ธีระวิภา. (2555). **หินพัมมิเชียสทัฟฟ์.** สืบค้นเมื่อ 24 กรกฎาคม *2562* จาก http://888824720.blogspot.com.

ทรายแก้ว อนากาศ, ชุติมา จันทร์เจริญ, พัฒน์พงษ์ เกิดหลำ, พิลาสลักษณ์ ลุ่นลิ่ว, และสาธิต กาละพวก. (2556). **ผลของปุ๋ยมูลไก่และปุ๋ยเคมีต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินผลผลิตและคุณภาพของอ้อยในกลุ่มชุดดินที่ 36 จ.เพชรบูรณ์.** การประชุมวิชาการกึ่งศตวรรษ กรมพัฒนาที่ดิน โรงแรมสีดา รีสอร์ท, นครนายก, 1–34.

ธีรพงษ์ สว่างปัญญากูร. (2558). **คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 1**. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ปรัชญา เครืองรัมย์, ยืนยง สุทธิ และเสิศภูมิ จันทรเพ็ญกุล. **เปรียบเทียบผลการใช้ปุ๋ยเคมีอินทรีย์ และอินทรีย์เคมีตามค่าการวิเคราะห์ดินที่มีผลต่อการปลูกผักกาดเขียว.** วิทยานิพนธ์ ว.ทบ., มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, บุรีรัมย์.

บัญชา รัตนีทู. (2552). ปุ๋ยอินทรีย์ฟื้นฟูสภาพดิน. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 1(2), 1–16.

เปรมนภา โชติญาณพิทักษ์ และ จินดารัตน์ พิมพ์สมาน. (2554). **การศึกษาผลของสภาวะการผลิตที่มีต่อขนาดเม็ดปุ๋ย.** การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา,1 – 4.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, และชวลิต ฮงประยูร. (2556). **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 229.

วรรณิศา ปัทมะภูษิต และ พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง. (2557). **ประสิทธิภาพปุ๋ยเคมีต่ออัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตคะน้า.** แก่นเกษตร 42 ฉบับพิเศษ *3*, 1–6.

วีณา นิลวงศ์. (2562). **ผลจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกระเจี๊ยบเขียวผักกาดหัวและคะน้า.** วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 21(3), 1–16.

สกล ศรีวัณโณ, เอิบ เขียวรื่นรมณ, วิโรจ อิ่มพิทักษ และสุเทวี ศุขปราการ. (2550). **ผลของอัตราการใชปุยมูลวัวร่วมกับปุยไนโตรเจนต่อผลผลิต และการสะสมธาตุอาหารของผักคะน้าที่ปลูกในชุดดินบางเขน.** การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45, 202–209.

สมศักดิ์ มณีพงศ์. (2537). **การวิเคราะหีดินและและพืช.** สงขลา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สัญญา เล่ห์สิงห์ และอรประภา อนุกูลประเสริฐ. (2559). **ประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์**

คุณภาพสูงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของคะน้า. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (24), 1–13.

สำราญ พิมราช, ถวัลย เกษมาลา และทัณฑิกา มุงคุณคำชาว. (2559). **ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเพิ่มผลผลิต และขนาดหัวของแก่นตะวัน (Helianthus tuberosus L.).** วารสารเกษตรพระวรุณ ปีที่ : 13(2), 126–137.

สุชาดา โภชาดม, แสงดาว เขาแก้ว, พลยุทธ สุขสมิติ, คณพล จุฑามณี, และ Gautier Landrot. (2556). **การศึกษาลักษณะทางเคมี ของลีโอนาร์ไดต์จากเหมืองแร่ลิกไนต์ เพื่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร**. การประชุมทางวิชาการของหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51 ณ สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 5–7 กุมภาพันธ์ 2556, 243 – 249.

สุพจน์ บุญแรง และ อัตถ์ อัจฉริยมนตรี. (2550). **เกษตรอินทรีย์ทฤษฎี และการประยุกต์ใช้สำหรับเกษตรกร**. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, เชียงใหม่, 10.

Ed–Haun Chang, Ren–Shih Chung and Yuong–How Tsai. (2007). **Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population.** Soil Science and Plant Nutrition, 53(2), 132–140.

Hall Roger Elliot. (2008). **Soil essentials: managing your farm's primary asset.** Australia. Landinks Press, 13–14.

Junqiu Wu, et.al. (2018). **How does manganese dioxide affect humus formation during bio–composting of chicken manure and corn straw?** Bioresource Technology, 269, 169 – 178.

Krejcie Robert V. and Morgan Daryle W. (1970). **Determining Sample Size for Research Activities.** Educational and Psychological Measurement, 30(3), 607–610.

Radojevic Miroslav and Bashkin Vladimir. (2006). **Practical environmental analysis.** 2nded. Cambridge. RSC, 59–67.

Rayment E. George. and Higginson Francis. (1992). **Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods.** Australian soil and land survey handbook. Melbourne & Sydney. Inkata Press, 46.

VanLoon Gary and Duffy Stephen. (2005). **Environmental chemistry: a global**

perspective. 2nded. New York. Oxford University Press, 152–184.

Walkley A. and Black C. A. (1934). **An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chroma acid titration method.** Soil Science. 37, 29–35.

Wolf Beni. (1999). **The fertile triangle: the interrelationship of air and nutrients in maximizing soil productivity.** New York. The Haworth Press, 1–8.

Zhichen Yang, Nan Zhao, Feng Huang and Yizhong Lv. (2015). **Long-term effects of different organic and inorganic fertilizer treatments on soil organic carbon sequestration and crop yields on the North China Plain**. Soil and Tillage Research, 146, 47 – 52.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงข้อมูลการเจริญเติบโตของคะน้า

ตาราง 12 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณความสูงของของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	ความสูง (เซนติเมตร)						
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7
กรรมวิธีที่ 1	11.86±1.04^{b}	17.70±1.78^{b}	26.92±2.39^{ab}	27.25±1.23^{c}	32.66±1.79^{c}	33.37±1.44^{c}	32.71±2.40^{d}
กรรมวิธีที่ 2	11.25±1.72^{b}	18.75±1.18^{ab}	25.67±3.76^{b}	29.32±2.56^{ab}	39.45±3.29^{a}	41.72±3.42^{a}	40.55±3.31^{bc}
กรรมวิธีที่ 3	11.43±1.06^{b}	18.80±1.80^{ab}	27.22±2.30^{ab}	29.95±1.42^{ab}	38.88±2.81^{a}	43.60±2.86^{a}	43.77±2.25^{a}
กรรมวิธีที่ 4	13.80±1.40^{a}	19.85±0.97^{a}	27.84±1.51^{ab}	30.44±2.51^{a}	39.85±3.24^{a}	42.96±1.44^{a}	42.81±1.98^{ab}
กรรมวิธีที่ 5	13.15±1.60^{a}	19.40±1.78^{a}	28.18±1.42^{a}	28.46±1.97^{bc}	36.00±2.77^{b}	38.66±298^{b}	39.25±2.68^{c}
กรรมวิธีที่ 6	11.70±1.34^{b}	19.75±1.21^{a}	26.62±1.07^{ab}	29.85±1.71^{ab}	37.75±3.62^{ab}	42.62±2.75^{a}	41.38±1.20^{abc}
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	11.33	7.84	8.34	6.73	7.95	6.41	6.03

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้นอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า ในอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 500 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 1,000 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

ตาราง 13 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ)						
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7
กรรมวิธีที่ 1	2.30±0.48^{c}	4.50±0.53^{b}	6.40±0.70^{ab}	6.80±0.79^{b}	8.80±1.03^{ab}	8.60±0.97^{ab}	8.80±0.63^{c}
กรรมวิธีที่ 2	2.80±0.42^{bc}	5.00±0.47^{a}	7.40±0.70^{a}	8.50±1.08^{a}	9.70±1.25^{a}	10.50±0.85^{a}	9.50±1.08^{bc}
กรรมวิธีที่ 3	2.80±0.42^{a}	4.90±0.32^{a}	6.80±0.63^{ab}	7.00±0.67^{b}	9.00±0.94a^{bc}	10.80±1.03^{ab}	10.40±0.52^{a}
กรรมวิธีที่ 4	2.50±0.53^{ab}	4.40±0.52^{b}	6.60±0.97^{b}	6.70±0.67^{b}	8.40±1.07^{bc}	8.90±0.57^{b}	10.20±0.79^{ab}
กรรมวิธีที่ 5	2.70±0.48^{c}	4.70±0.67^{b}	7.20±0.42^{b}	6.90±1.10^{b}	8.40±0.97^{ab}	8.90±0.74^{ab}	9.20±0.63^{c}
กรรมวิธีที่ 6	2.50±0.53^{bc}	4.60±0.52^{b}	7.00±0.94^{b}	6.20±0.92^{b}	8.50±0.85^{abc}	9.30±0.82^{ab}	9.50±0.97^{bc}
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	8.29	8.88	11.68	12.67	10.87	10.99	18.43

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้นอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า ในอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 500 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 1,000 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

ตาราง 14 แสดงค่าเฉลี่ยขนาดลำต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	ขนาดลำต้น (มิลลิเมตร)						
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7
กรรมวิธีที่ 1	3.20±0.43^{bc}	5.52±0.52^{b}	8.87±0.38^{d}	11.45±0.90^{c}	15.21±1.47^{d}	14.48±1.72^{c}	14.54±1.53^{c}
กรรมวิธีที่ 2	3.40±0.60^{c}	5.38±0.42^{b}	10.31±1.16^{c}	15.43±0.95^{a}	19.66±2.19^{a}	20.70±2.30^{ab}	20.73±2.29^{b}
กรรมวิธีที่ 3	3.28±0.70^{bc}	6.20±0.56^{a}	11.20±0.47^{ab}	14.61±0.80^{ab}	19.14±1.39^{ab}	18.59±5.91^{b}	20.71±1.07^{b}
กรรมวิธีที่ 4	3.54±0.57^{ab}	6.01±0.49^{a}	11.80±0.63^{a}	15.31±1.38^{a}	19.01±2.02^{ab}	22.20±1.63^{a}	22.28±1.60^{a}
กรรมวิธีที่ 5	3.79±0.35^{a}	5.56±0.54^{b}	10.77±0.87^{bc}	14.70±1.12^{ab}	17.77±2.51^{bc}	21.70±1.83^{a}	22.05±1.76^{ab}
กรรมวิธีที่ 6	3.58±0.32^{ab}	6.33±0.35^{a}	10.43±0.77^{c}	14.27±0.99^{b}	16.18±1.21^{cd}	20.07±1.05^{ab}	20.57±0.96^{b}
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	15.11	8.35	7.21	7.27	10.42	14.66	7.87

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้นอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า ในอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 500 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 1,000 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

ตาราง 15 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของรากคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)						
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7
กรรมวิธีที่ 1	0.17±0.04	0.20±0.06^{b}	1.44±0.35^{b}	2.27±0.19^{b}	1.95±0.52^{d}	2.09±0.43^{d}	2.13±0.45^{d}
กรรมวิธีที่ 2	0.21±0.09	0.36±0.14^{a}	1.79±0.33^{a}	2.36±0.26^{b}	2.58±0.55^{bc}	2.93±0.78^{bc}	2.91±0.78^{bc}
กรรมวิธีที่ 3	0.21±0.07	0.36±0.15^{a}	1.57±0.14^{b}	2.57±0.25^{a}	2.78±0.76^{abc}	3.14±0.88^{abc}	3.14±0.88^{abc}
กรรมวิธีที่ 4	0.15±0.06	0.37±0.13^{a}	1.45±0.20^{b}	2.52±0.20^{ab}	2.45±0.50^{c}	2.82±0.42^{c}	2.82±0.42^{c}
กรรมวิธีที่ 5	0.16±0.07	0.42±0.13^{a}	1.45±0.21^{b}	2.30±0.15^{b}	3.07±0.47^{ab}	3.53±0.43^{a}	3.53±0.43^{a}
กรรมวิธีที่ 6	0.17±0.07	0.46±0.18^{a}	1.47±0.16^{b}	2.34±0.19^{b}	3.27±0.50^{a}	3.44±0.44^{ab}	3.44±0.44^{ab}
F-test	ns	*	*	*	*	*	*
CV (%)	37.57	38.32	15.96	9.2	20.89	19.82	19.85

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้นอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า ในอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 500 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 1,000 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

ตาราง 16 แสดงน้ำหนักสดต่อต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	น้ำหนักสดต่อต้น (กรัม)						
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7
กรรมวิธีที่ 1	0.99±0.33^{b}	4.96±1.38^{c}	18.86±5.11^{b}	36.99±8.69^{b}	44.77±9.60^{d}	94.79±18.37^{c}	96.78±17.99^{d}
กรรมวิธีที่ 2	1.00±0.34^{b}	5.38±0.42^{c}	28.61±4.66^{a}	51.86±9.31^{a}	130.80±25.84^{a}	157.75±43.01^{a}	154.46±34.51^{ab}
กรรมวิธีที่ 3	1.35±0.57^{b}	6.05±1.60^{c}	29.31±5.42^{a}	54.39±8.71^{a}	119.59±18.22^{ab}	166.72±35.23^{a}	165.56±34.13^{a}
กรรมวิธีที่ 4	2.09±0.40^{a}	8.42±1.90^{b}	24.68±5.06^{a}	51.12±8.41^{a}	107.59±23.96^{bc}	143.12±24.99^{ab}	146.12±25.53^{ab}
กรรมวิธีที่ 5	1.74±0.51^{a}	10.47±1.51^{a}	29.45±4.66^{a}	50.45±9.67^{a}	92.78±21.01^{c}	117.49±28.54^{bc}	117.99±25.04^{ab}
กรรมวิธีที่ 6	1.88±0.29^{a}	10.25±1.50^{a}	28.66±4.86^{a}	46.15±10.0^{a}	95.42±19.54^{c}	138.12±26.41^{ab}	135.54±17.9^{bc}
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	27.6	19.25	18.68	18.87	20.68	22.33	19.58

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้นอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า ในอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 500 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 1,000 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

ตาราง 17 แสดงน้ำหนักแห้งต่อต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้งต่อต้น (กรัม)						
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7
กรรมวิธีที่ 1	0.13±0.04^{d}	0.49±0.14^{b}	1.88±0.53^{b}	3.84±0.93^{b}	5.11±1.09^{c}	11.08±2.65^{b}	11.15±1.72^{c}
กรรมวิธีที่ 2	0.19±0.03^{c}	0.90±0.33^{b}	2.75±0.44^{a}	5.09±1.15^{a}	11.80±2.55^{a}	13.93±4.59^{ab}	19.13±7.14^{a}
กรรมวิธีที่ 3	0.21±0.07^{bc}	0.64±0.19^{a}	3.09±0.52^{a}	5.44±0.85^{a}	11.36±1.81^{a}	15.31±3.76^{a}	15.37±2.82^{b}
กรรมวิธีที่ 4	0.29±0.06^{a}	0.93±0.22^{a}	2.61±0.46^{a}	5.12±0.81^{a}	10.56±2.19^{ab}	13.82±2.64^{ab}	16.40±3.62^{ab}
กรรมวิธีที่ 5	0.23±0.04^{bc}	1.05±0.13^{a}	3.11±0.52^{a}	5.30±0.86^{a}	9.39±1.70^{b}	12.27±2.90^{ab}	14.83±4.61^{bc}
กรรมวิธีที่ 6	0.24±0.04^{b}	1.01±0.17^{a}	2.89±0.50^{a}	4.67±1.10^{ab}	9.44±2.13^{b}	12.67±2.00^{ab}	14.66±3.91^{bc}
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	22.13	25.54	19.18	20	19.96	24.73	25.41

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new multiple range test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 , ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยคอกรองพื้นอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 ที่อายุ 20 วัน ในอัตรา 40 กก./ไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 รองพื้นอัตรา 20 กก./ไร่ และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานเป็นปุ๋ยแต่งหน้า ในอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราต่ำ (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 500 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 250 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานในอัตราสูง (โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 1,000 กก./ไร่ และปุ๋ยแต่งหน้าอัตรา 1,000 กก./ไร่ ที่อายุ 20 วัน)

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

1. วิธีตรวจสอบพลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ

นำตัวอย่างปุ๋ยประมาณ 1 กิโลกรัม มาทำการตรวจพินิจ พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นบันทึกผลโดยรายงาน “พบ” หรือ “ไม่พบ”

2. วิธีวิเคราะห์ความชื้น

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยที่ยังไม่ได้บดมาจำนวน 5.xxx กรัม ใส่ลงใน Weighing bottle หรือ Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำตัวอย่างปุ๋ยที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้น ทิ้งนี้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์หลังอบ

วิธีคำนวณ

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

3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณหิน และกรวดในปุ๋ยอินทรีย์

ชั่งน้ำหนักปุ๋ยมา 200.xx กรัมจากนั้นใส่ลงใน Beaker ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำจนได้ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้เนื้อปุ๋ยละลายแยกตัวออกจากกัน หากมีหิน และกรวดก็จะตกลงสู่ก้น Beaker จากนั้นค่อย ๆ เทสารละลายปุ๋ยผ่านผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 5 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำชะล้างผ่านตะแกรงหลาย ๆ ครั้ง จนได้ถึงที่เหลือบนตะแกรงคือหิน และกรวด นำหิน และกรวดที่ได้ใส่ Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร ซึ่งผ่านการอบจนมีน้ำหนักคงที่ และทราบน้ำหนักแล้ว นำ Beaker ที่บรรจุหินและกรวด ไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำออกจากตู้อบ จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณหิน และกรวด (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักหิน และกรวดหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างปุ๋ย}} \times 100$$

4. วิธีวิเคราะห์ขนาดของปุ๋ยอินทรีย์

ชั่งน้ำหนักปุ๋ย 100.xx กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 500 มิลลิลิตร เทปุ๋ยลงในตะแกรงมาตรฐาน ขนาดรูเปิด 12.5 มิลลิเมตร ซึ่งรองรับด้วยจานรองรับตัวอย่างอยู่ด้านล่าง ปิดฝาเขย่าจนตัวอย่างปุ๋ยที่ค้างบนตะแกรงไม่ผ่านไปยังจานรองรับ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ค้างบนตะแกรง บันทึกผล

วิธีคำนวณ

$$\text{ขนาดของปุ๋ย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักปุ๋ยทั้งหมด–น้ำหนักปุ๋ยบนตะแกรง}}{\text{น้ำหนักปั่นทั้งหมด}} \times 100$$

5. วิธีวิเคราะห์อันทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน

5.1 วิธีการเตรียม Reagent

สารละลาย Potassium dichromate (Oxidizing agent) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ชั่ง Potassium dichromate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 49.0247 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร คนให้ละลายหมด ถ่าย และล้างใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเ ขย่าให้เข้ากัน

สารละลาย Ferrous sulfate (Reducing agent) ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ชั่ง Ferrous sulfate จำนวน 139.0085 กรัม (หรือใช้ Ferrous ammonium sulfate) จำนวน 196.07 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ถ่ายและล้างใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1.000 มิลลิลิตร เติม 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิตร เขย่าให้เข้ากัน

สารละลาย O–phenonthroline ferrous sulfate indicator ชั่ง O– phenonthrolire จำนวน 0.74 กรัม และ Ferrous sulfate จำนวน 0.35 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนจนละลายหมด

สารละลาย Silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ทั้ง Silver sulfate จำนวน 15 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร เติม 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน

5.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยจำนวน 0.1XXX กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย Potassium dichromate ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในตัวอย่างปุ๋ยเดิม 98

เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid หรือสารละลาย Silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างปุ๋ยอย่างช้า ๆ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน 16 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตรเติมสารละลาย 0-phenontroline ferrous sulphate ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร

5.3 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรด ด้วยสารละลาย Ferrous sulfate จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง แสดงว่าถึงจุดยุติ บันทึกผล

หมายเหตุ ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างปุ๋ย เตรียม และวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับตัวอย่าง

5.4 วิธีคำนวณ

$$\text{อินทรีย์คาร์บอน (\%)} = \frac{0.3896 \times W \times \text{มิลลิลิตร ของ Potassium dichromate (C-D)}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} \times C}$$

B = ปริมาณของ Potassium dichromate ที่เติมลงไปในตัวอย่าง และ Blank (มิลลิลิตร)

C = ปริมาตรของ Ferrous sulfate ที่ไทเทรตพอดีกับ Potassium dichromate ใน Blank

D = ปริมาตรของ Ferrous sulfate ที่ไทเทรตพอดีกับ Potassium dichromate ในตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายมาตรฐาน

เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ = เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน x 1. 7241

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน = เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน/ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

6. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรดด่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 10 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของปุ๋ยต่อน้ำ 1: 2) แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งครึ่งชั่วโมง ทำการวัดค่า pH ด้วย pH-meter โดยนำ Glass electrode จุ่มลงในสารละลายตัวอย่าง เขย่าเบา ๆ เมื่อตัวเลขที่แสดงนิ่งอ่านค่า pH และบันทึกผล

หมายเหตุ ในกรณีที่วิเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนปุ๋ย: น้ำ= 1: 2 ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากตัวอย่างดูดน้ำมาก ให้ใช้อัตราส่วนปุ๋ย: น้ำ=1: 10 และระบุไว้ในรายงานผลวิเคราะห์

7. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยจำนวน 5 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1 ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดสภาพน้ำไฟฟ้าด้วย Conductivity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสบันทึกข้อมูล

8. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 0.3xxx กรัม ใส่ในหลอดย่อยขนาด 800 มิลลิลิตร เติม Salicylic acid จำนวน 2 กรัม เติม 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 40 มิลลิลิตร และ Sodium thiosulfate pentahydrateจำนวน 5 กรัม นำไปตั้งบนเตาย่อยตัวอย่าง ทำการย่อยตัวอย่าง โดยใช้ไฟปานกลางจนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำตาล ปิดไฟ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติม Mixed catalyst จำนวน 10 กรัม แล้วทำการย่อยอีกครั้งจนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดไฟ ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร แล้วเต็มสารละลาย Sodium hydroxide ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และ Zinc granular จำนวน 5 กรัม นำหลอดย่อยต่อกับเครื่องกลั่นโดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริกปริมาณ 100 มิลลิลิตร และสารละลาย Mixed indicator ปริมาณ 4–5 หยด ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายในขวดปรับปริมาตร ปริมาณ 350 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทกับสารละลาย Hydrochloric acid มาตรฐาน 0.2 นอร์มัล บันทึกผลทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

วิธีคำนวณ

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{N of Hydrochloric acid} \times \{\text{มิลลิลิตร (Hydrochloric acid)}-\text{มิลลิลิตร (Blank)}\} \times 1{,}40057}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

9. วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

9.1 การเตรียม Reagent

กรดผสม Nitric acid: Perchloric acid อัตรา 1:1 ผสม 69–70 เปอร์เซ็นต์ Nitric acid กับ 69–70 เปอร์เซ็นต์ Perchloric acid อัตราส่วน 1:1

9.2 Molybdovanadate reagent

ชั่ง Ammonium molybdate tetrahydrate จำนวน 40 กรัม ใช้ในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตรเติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันทั้งได้ให้เย็น ชั่ง Ammonium

metavanadate ปริมาณ 2 กรัม ใส่บีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม 69–79 เปอร์เซ็นต์ Perchloric acid ปริมาตร 450 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็นค่อย ๆ ในผสมสารละลาย Ammonium metavanadate ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 2,000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เขย่าให้เข้ากัน และถ่ายเก็บไว้ในขวดสีชา

9.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 ppm ซึ่ง Potassium dihydrogen phosphate ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.0984 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลาย และปรับปริมาตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm ปิเปตสารละตามมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปริมาณ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

9.4 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 0.3xxx–1.xxxx กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 125 มิลลิลิตร หรือใส่ Digestion tube เติมกรดผสม Nitric acid: Perchloric acid ปริมาณ 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน Hot plate หรือ Digestion tube ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือสารละลายมีลักษณะใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จากนั้นยกลงจาก Hot plate หรือ Digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็นสารละลายมีตะกอนขุ่น นำไปผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

9.5 วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาณ 5 มิลลิลิตร หรือตามความเหมาะสม ปริมาณความเข้มข้นของตัวอย่าง ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติม Molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1: 10 ของปริมาตรขวดปรับปริมาตร) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายมาตรฐาน 0. 1, 2, 2, 4, 5, 6 และ 7 ppmเดิม Molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ 30 นาทีนำสารละลายตัวอย่าง และสารละลาย

มาตรฐานไปวัดความเข้มของสี ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) หรือค่าร้อยละของสัดส่วนที่แสงส่องผ่านสารตัวอย่างที่วัด (Transmittance) หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่างกับกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และค่าการดูดกลืนแสงหรือค่าร้อยละของสัดส่วนที่แสงส่องผ่านสารตัวอย่างที่วัดของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (กราฟมาตรฐาน)

9.6 วิธีคำนวณ

ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{ppm P from standard curve x dilution factor x 100}}{\text{Wt. of sample (g) x } 10^6}$$

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)

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

10. วิธีวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

10.1 การเตรียม Reagent

ชั่ง Calcium carbonate จำนวน 12.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติม 36–38 เปอร์เซ็นต์ Hydrochloric acid ปริมาณ 105 มิลลิลิตร ลงไปทีละน้อย นำไปต้มจนเดือด ทิ้งไว้ให้เย็น เทใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน กรดผสม Nitric acid : Perchloric acid อัตรา 1:1 ผสม 69–70เปอร์เซ็นต์ Nitric acid กับ 69–70% Perchloric acid ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

10.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1,000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวด ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

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

10.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

โดยชั่งตัวอย่าง จำนวน 1.xxxx กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดผสม Nitric acid : Perchloric acid จำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน Hot plate หรือ Digestion block ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือสารละลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จากนั้นยกลงจาก Hot plate หรือ Digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็นสารละลายมีตะกอนขุ่นนำไปผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

10.4 วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 0–15 ppm ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 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 ของ Working standard (standard curve)

10.5 วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด} = \frac{1.2046 \times \text{ppm K} \times \text{Dilution factor} \times 100}{\text{Wt. of Sample} \times 10^{6}}$$

ภาคผนวก ค
วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน

1. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ทำการ Calibrate pH-meter ด้วย Standard buffer pH 4, 7 และ 10 จากนั้นชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ลงใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของดินต่อน้ำ 1:2) แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง จึงทำการวัดค่า pH ด้วย pH-meter โดยนำ Glass electrode จุ่มลงในสารละลายตัวอย่าง เขย่าเบา ๆ เมื่อตัวเลขที่แสดงผลนิ่ง อ่านค่า pH

2. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

ชั่งตัวอย่างดิน จำนวน 5 กรัมใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 30 นาที จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดสภาพนำไฟฟ้าด้วย Conductivity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกข้อมูล

3. วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

3.1 การเตรียม Reagent

3.1.1 Potassium dichromate (Oxidizing agent) ความเข้มข้น 1 N โดยชั่งสาร Potassium dichromate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 49.0247 กรัม เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร คนให้ละลายหมด ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3.1.2 Ferrous sulfate (Reducing agent) ความเข้มข้น 0.5 N โดยชั่ง Ferrous sulfate จำนวน 139.0085 กรัม (หรือใช้ Ammonium ferrous sulfate จำนวน 196.07 กรัม) เติมน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร คนให้ละลายหมด ถ่าย และล้างใส่ใน volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติม 98% H_2SO_4 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3.1.3 สารละลาย Silver sulfate ใน 98% H_2SO_4 ชั่ง Silver sulfate จำนวน 15 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 2000 มิลลิลิตร เติม 98% H_2SO_4 1 ลิตร คนให้เข้ากัน

3.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างดิน จำนวน 2.xxxx กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย Potassium dichromate ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในตัวอย่างดิน เติม 98% H_2SO_4 หรือสารละลาย Silver sulfate ใน 98% H_2SO_4 (กรณีตัวอย่างมี Chloride (Cl)) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างดินอย่างช้า ๆ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน ตู้ดูดควัน 16 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย O-phenanthroline ferrous sulfate 0.5 มิลลิลิตร

3.3 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรตด้วยสารละลาย Ferrous sulfate จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง แสดงว่า ถึงจุดยุติ บันทึกผล

หมายเหตุ: ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างดิน เตรียมและวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างปุ๋ย

3.4 วิธีคำนวณ

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

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 $K_2Cr_2O_7$

% อินทรียวัตถุ (OM) = %O.C x 1.7241 (Equivalent to soil)

ค่า C/N = (%O.C)/(% Total nitrogen)

4. วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจน

4.1 วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจน

ชั่งตัวอย่างดิน จำนวน 2.xxxx กรัม ใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 800 มิลลิลิตร เติม $[C_6H_4(OH).COOH]$ จำนวน 2 กรัม เติม 98% H_2SO_4 ปริมาณ 40 มิลลิลิตร และ $(Na_2S_2O_3.5H_2O)$ จำนวน 5 ครั้ง นำไปตั้งบนเตาย่อยตัวอย่าง ทำการย่อยตัวอย่างโดยใช้ไฟปานกลาง จนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำตาล ปิดไฟ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติม Mixed catalyst จำนวน 10 กรัม แล้วทำการย่อยอีกครั้ง จนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดไฟ ทิ้งไว้ให้เย็นเติมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย NaOH ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และ Zinc granular จำนวน 5 กรัม นำ Kjeldahl flask ต่อกับเครื่องกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ประมาณ 100 มิลลิลิตร และสารละลาย Mixed indicator ปริมาณ 4–5 หยด ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายใน Erlenmeyer flask ปริมาณ 350 มิลลิลิตรนำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทกับสารละลาย HCl มาตรฐาน 0.2 N บันทึกผล ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

4.2 วิธีคำนวณ

$$\%\text{Total N} = \frac{\text{N(HCl)} \times \{\text{ml (HCl)} - \text{ml(Blank)}\} \times 1.40067}{\text{Wt. of sample (g)}}$$

5. การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

5.1 การเตรียม Reagent

5.1.1 Ammonium fluoride (NH_4F) 1 N โดยการละลาย Ammonium fluoride (NH_4F) 37 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวด Polyethylene

5.1.2 Hydrogen chloride (HCL) ความเข้มข้น 0.5 N โดยเจือจาง conc. Hydrogen chloride (HCL) 41.7 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

5.1.3 น้ำยาสกัด Bray II โดยละลาย 1 N Ammonium fluoride (NH_4F) 30 มิลลิลิตรร่วมกับ 0.5 N Hydrogen chloride (HCL) 200 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5.1.4 2% Boric acid (H_3BO_3) โดยการชั่ง Boric acid (H_3BO_3) ใส่ Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น เทผ่านกรวยกรองลง Volumetric flask ขนาด 2000 มิลลิลิตร แล้วใช้ขวดฉีดน้ำกลั่นฉีดล้างสารที่ติดค้างใน Beaker ผ่านกรวยกรองลง Volumetric flask เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร ประมาณ 1600–1800 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าให้ละลาย แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

5.1.5 Murphy's reagent โดยการชั่ง Ammonium molybdate [$(NH_4)_6.Mo_7O_{24}.4H_2O$] 12 กรัม และ Antimony potassium tartate ($KSbo.C_4H_4O_4$) จำนวน 0.291 กรัม ใส่ Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นพอประมาณ จากนั้นเทสารละลายในข้างต้นผ่านกรวยกรองลงใน Volumetric flask ขนาด 2000 มิลลิลิตร แล้วใช้ขวดฉีดน้ำกลั่นฉีดล้างสารที่ติดค้างใน beaker ผ่านกรวยกรองลง Volumetric flask เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร ประมาณ 1500 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติม Conc.Sulfuric acid (H_2SO_4) 148 มิลลิลิตร ผ่านกรวยกรองลงในสารละลายจะร้อนมาก ทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 2 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5.1.6 เตรียม 2.5% Ascorbic acid solution โดยละลาย Ascorbic acid 2.5 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และเก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะเก็บได้นานประมาณ 2 สัปดาห์

5.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

5.2.1 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Standard P) 1000 ppm

5.2.2 ชั่ง KH_2PO_4 ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.0984 กรัม ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลาย และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

5.2.3 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ Volumetric flak ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

5.2.4 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm (Working standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มิลลิลิตร ใส่ Volumetric flak ขนาด 100 มิลลิลิตร

5.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างดิน จำนวน 5.xxxx กรัมใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตรเติมน้ำยาสกัด Bray II 50 มิลลิลิตร ใส่ในตัวอย่างดิน ปิดด้วยจุกยาง เขย่าด้วยมือ 60 วินาที แล้วกรองทันทีด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 เก็บสารละลายตัวอย่างไว้ในขวด

5.4 วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาณ 5 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เติม 2% Boric acid (H_3BO_3) 5 มิลลิลิตร ต่อด้วย Murphy's reagent 2 มิลลิลิตร และเติม 2.5% Ascorbic acid solution ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปิดจุก เขย่าให้สารละลายเข้ากัน จะได้สารละลายสีน้ำเงิน (ถ้าความเข้มข้นสารละลายตัวอย่างเกินสี Working standard ให้ทำใหม่ โดยลดปริมาตรสารละลายตัวอย่าง และถ้าสารละลายตัวอย่างเจือจางมาก ให้เพิ่มปริมาตรสารละลายตัวอย่าง ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที จึงนำไปอ่านค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ Wave length 820

5.5 วิธีคำนวณ

$$\text{Extr. P (ppm)} = \frac{\text{ppm P curve} \times \text{Final volume (ml)} \times \text{Extractant (ml)}}{\text{aliq. (ml)} \times \text{wt. of soil (g)}}$$

6. วิธีวิเคราะห์โพแทสเซียม

6.1 การเตรียม Reagent

6.1.1 ชั่ง Ammonium acetate (NH_4OAc) 77 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร หรืออาจเตรียม Acetic acid (conc. CH_3COOH) 57 มิลลิลิตร ใส่ในน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร เติม Acetic acid (conc. CH_3COOH) 69 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 900–950 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจึงปรับให้เป็น pH 7.0

6.1.2 Std. 1000 ppm K

ชั่ง KCl 1.9066 กรัม ใส่ Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลาย ด้วยน้ำกลั่น แล้วเทผ่านกรวยกรองลง Volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร ใส่ Beaker ปรับปริมาตร

6.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

6.2.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (Standard K) 100 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

6.2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 2, 4, 8 และ 10 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 2, 4, 8 และ 10 มิลลิลิตร ใส่ Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร

6.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างดิน จำนวน 5.xxxx กรัม ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารสกัด 1 N Ammonium acetate (NH_4OAc) pH 7 ปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างดิน ปิดด้วยจุกยางเขย่า 30 นาที จากนั้นนำไปกรองแล้วเก็บไว้ในขวดพลาสติก

6.4 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างตรวจวัดความเข้มข้น โดยตรวจวัดค่า Working standard ด้วย Atomic absorption spectrophotometer

6.5 วิธีคำนวณ

$$\text{Extr. } K_2O \text{ (ppm)} = \frac{\text{ppm from curve x Final volume (ml) x Extractant (ml)}}{\text{aliq. (ml) x wt. of soil (g)}}$$

ภาคผนวก จ

วิธีวิเคราะห์คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า

1. น้ำหนักสดต่อต้น

นำต้นสดของคะน้าในแต่ละกรรมวิธีมาทำการชั่งน้ำหนัก พร้อมบันทึกผลน้ำหนักเป็นกรัมต่อต้น

2. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งต่อต้น

ทำการตัดตัวอย่างพืชน้ำหนัก 5 กรัมแล้ว นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60-100 องศาเซลเซียส (หรือ 50 องศาเซลเซียสในกรณีที่ต้องการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ทางเคมี) นาน 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน่าหนักของตัวอย่างพืชคงที่

3. ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

นำส่วนของใบคะน้ามาทำการบดให้ละเอียดแล้วชั่งน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองเติมสารละลายอะซิโตนความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงไปทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ปรับปริมาตรด้วยสารละลายอะซิโตนให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 20 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Optical density, OD) ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Spectophotometer โดยใช้สารละลายอะซิโดนความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์เป็น Blank บันทึกค่าที่ได้แล้วนำไปคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ ในรูปของปริมาณคลอโรฟิลล์มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด โดยคำนวณจากสูตร

ปริมาณคลอโรฟิลพ์เอ = [12.7 (OD663)-2.69 (OD645)] x $\frac{V}{1000xW}$

ปริมาณคลอโรฟิลล์บี = [22.9 (OD645)-4.68 (Op663)] x $\frac{V}{1000xW}$

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด = [20.2 (OD645) + 8.02 (CD663)] x $\frac{V}{1000XW}$

โดยที่ V คือ ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายที่นำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์

W คือ น้ำหนักของผักกาดหอมที่นำมาสกัดคลอโรฟิลล์

OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ตามความยาวคลื่นที่กำหนด

4. สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

นำต้นคะน้าอายุ 50 วัน มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Folin–ciocalteu ที่ดัดแปลงจาก Liu et al. (2007) และอรประภา (2558) โดยเริ่มจากการเตรียม Gallic acid stock solution ที่ความเข้มข้น 5000 ppm โดยชั่ง Gallic acid ปริมาตร 0.5 กรัมใน 95% Ethanol ปริมาตร 10 มิลลิตร แล้วปรับปริมาตร ด้วยน้ำกลั่นให้ได้เท่ากับ 100 มิลลิลิตร จากนั้นดูด Gallic acid stock solution ปริมาตร 0 1 2 3 4 5 และ 6 มิลลิตร ลงใน Volumetric flask ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเพื่อให้มีปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร ทำให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 0 50 100 150 200 250 และ 300 ppm จากนั้นดูดสารละลายมาตรฐานในแต่ละความเข้มข้น 300 ไมโครลิตร เติม 2N Folin–ciocalteu reagent 2.5 มิลลิลิตร และ 75% Sodium carbonate 2 มิลลิลิตร บ่มไว้ในที่อุณหภูมิห้องในสภาพมืดเป็นเวลา 150 นาทีนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร น้ำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของแต่ละความเข้มข้นไปสร้างกราฟมาตรฐาน และนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับตัวอย่างต่อไป

ในขณะที่การเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่าง เริ่มจากการน้ำตัวอย่างสดที่บดละเอียด 1 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลาย 70% Ethanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในสภาพมืดนาน 150 นาที จากนั้น นำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ได้เป็นสารละลายใสเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยดูดสารละลายใส 300 ไมโครลิตร เต็ม 2N Folin–ciocalteu reagent 2.5 มิลลิลิตร และ 7.5% Sodium carbonate 2 มิลลิลิตร บ่มไว้ในที่อุณหภูมิห้องในสภาพมืดเป็นเวลา 150 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปค้านวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Gallic acid มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม Gallic acid ต่อ กรัมน้ำหนักตัวอย่างสด

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	รัชดาภรณ์ โสภาเลิศ
วัน เดือน ปี เกิด	21 มิถุนายน 2537
สถานที่เกิด	จังหวัดอุดรธานี
วุฒิการศึกษา	วท.บ.(เกษตรศาสตร์), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	31 หมู่ 1 ตำบลหนองกุงศรี อำเภอโนนสะอาด จังหวัดอุดรธานี
ผลงานตีพิมพ์	รัชดาภรณ์ โสภาเลิศ และบุญร่วม คิดค้า. (24-25 พฤษภาคม 2562). อัตราส่วนผสมและคุณสมบัติของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด. ใน งานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 11 (หน้า 170-176). กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.