การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และควบคุมโรคแอนแทรคโนส และโรคเหี่ยวเหลืองพริก

นัทธพงศ์ ยะแสง

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
พฤษภาคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา*ย่อยสลาย* *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และควบคุมโรคแอนแทรคโนส และโรคเหี่ยวเหลืองพริก

นัทธพงศ์ ยะแสง

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
พฤษภาคม 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

QUALITY IMPROVEMENT OF ORGANIC FERTILIZER FROM WATER HYACINTH COMPOSTED FROM BIODEGRADABLE FUNGI, *MUCOR ELLIPSOIDEUS* (UPPY06), *RHIZOPUS ORYZAE* (UPPY29) AND *TRICHODERMA HARZIANUM* (UPPY19 TO ENHANCE THE GROWTH AND PRODUCTIVITY AND CONTROL OF ANTHRACNOSE AND FUSARIUM WILT ON CHILI.

NATTHAPHONG YASAENG

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Science Degree in Agricultural Science

May 2020

Copyright 2019 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา่อยสลาย *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และควบคุมโรคแอนแทรคโนส และโรคเหี่ยวเหลืองพริก

ของ นัทธพงศ์ ยะแสง

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.บุญร่วม คิดค้า)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา
(รองศาสตราจารย์ ดร. มนัส ทิตย์วรรณ)

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

..... ผู้ทรงคุณวุฒิ
(ดร. นครินทร์ สุวรรณราช)

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

เรื่อง: การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และควบคุมโรคแอนแทรคโนส และโรคเหี่ยวเหลืองพริก

ผู้วิจัย: นัทธพงศ์ ยะแสง, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์การเกษตร), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2562

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.บุญร่วม คิดค้า

คำสำคัญ ปุ๋ยอินทรีย์, ผักตบชวา, รายอ่อยสลาย, พริก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคเหี่ยวเหลืองพริก ทำการทดลอง 5 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ต่อการยับยั้งราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum capsici*) และโรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium solani*) ของพริก โดยวิธี dual culture technique พบว่า รา *R. oryzae*, *T. harzianum* และ *M. ellipsoideus* สามารถยับยั้งการเจริญของรา *C. capsici* เท่ากับ 83.52, 73.38 และ 68.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และยับยั้งรา *F. solani* เท่ากับ 74.76, 70.56 และ 50.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การทดลองที่ 2 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา และผลการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตพริก พบว่าอัตราส่วนของ ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ เท่ากับ 4:1:1:2:2 มีคุณสมบัติโดยรวมดีที่สุดโดยมีอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 26.93, 1.51, 2.52 และ 3.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และส่งผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณผลพริกมากที่สุด การทดลองที่ 3 การผลิต คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน โดยใช้อัตรา 4:1:1:2:2 พบว่าปุ๋ยอินทรีย์มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ โดยมีอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 27.59, 1.63, 2.59 และ 3.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 และเมื่อแยกเชื้อกลับพบรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีจำนวนสปอร์ของราทั้งหมด เท่ากับ 9.52×10^5 สปอร์/มิลลิลิตร การทดลองที่ 4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายในระดับโรงงานต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก พบว่า ความสูงของต้นกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์โรงงานมีความสูงมากที่สุด เท่ากับ 92.60, 90.20 และ 84.70 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนผลผลิต พบว่าจำนวนผลสดสีแดง น้ำหนักผลสดสีแดง และน้ำหนักผลแห้ง กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 456.60 ผล, 633.75 กรัม และ 165.41 กรัม ตามลำดับ การทดลองที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายระดับโรงงาน ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนส และโรคเหี่ยวเหลืองพริกระดับโรงเรือน พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคบนต้น และบนผลพริกน้อยสุด เท่ากับ 10.00 และ 3.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถควบคุมโรคเหี่ยวเหลือง โดยมีคะแนนและเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยที่สุด เท่ากับ 0.42 คะแนน และ 8.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยพะเยา
UNIVERSITY OF PHAYAO

Title: QUALITY IMPROVEMENT OF ORGANIC FERTILIZER FROM WATER HYACINTH COMPOSTED FROM BIODEGRADABLE FUNGI, *MUCOR ELLIPSOIDEUS* (UPPY06), *RHIZOPUS ORYZAE* (UPPY29) AND *TRICHODERMA HARZIANUM* (UPPY19 TO ENHANCE THE GROWTH AND PRODUCTIVITY AND CONTROL OF ANTHRACNOSE AND FUSARIUM WILT ON CHILI.

Author: Natthaphong Yasaeng, Thesis: M.Sc. (Agricultural Science), University of Phayao, 2019

Advisor: Assistant Professor Dr. Wipornpan Nuangmek Co-advisor Dr.Boonruam Kidka

Keyword Bio-organic fertilizer, Water hyacinth, Biodegradation, Chili

ABSTRACT

This research aimed to improving the quality of bio-fertilizer water hyacinth composted with biodegradable fungi; *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) and *Trichoderma harzianum* (UPPY19) to enhancing growth, yield and disease control in chili. Experiments 1 study of the antagonistic effect of biodegradable fungi inhibited the growth of anthracnose (*Colletotrichum capsici*) and *Fusarium* wilt (*Fusarium solani*) in chili by dual culture technique. Results revealed that *R. oryzae, T. harzianum* and *M. ellipsoideus* inhibited the growth of anthracnose fungus, *Colletotrichum capsici* by 83.52%, 73.38% and 68.31% and *Fusarium solani* by 74.76%, 70.56% and 50.58% respectively. Experiments 2 the study on ratio analysis of raw materials were obtained from water hyacinth compost: leonadite: basalt rock powder: swine manure: poultry manure, mixed in the ratio of 4: 1: 1: 2: 2 by weight that suitable for bio-fertilizer production revealed that the overall substantial quality the best with of organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium by 26.93%, 1.51%, 2.52%, 3.27% respectively including positive effect of organic fertilization on growth and yield of pepper plants. Results of experiments 3 showed that quality of organic fertilizer for in factory production that consistently quality of organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium by 27.59%, 1.63%, 2.59%, 3.14%, respectively, and compliance with the fertilizer ACT 2518 B.E. and Regulations. Biodegradable fungi; *M. ellipsoideus*, *R. oryzae* and *T. harzianum* were re-isolated from biofertilizer and pure culture of each was obtained. Total spore concentrations was 9.52×10^5 spores/ml. Experiments 4 studies on the effect of bio-fertilizer from water hyacinth compost on growth and yield component in chili as compared with the chemical fertilizer and commercial organic fertilizer. The results showed that application of bio-fertilizer from water hyacinth compost favorably affect the yield component of chili pepper with the highest fruit number per plant (456.60), average fresh fruit weight (633.75 gm) and fruit dry weight (165.41 gm). However, there were no statistically significant difference (P> 0.05) in the average plant height (cm) 92.60, 90.20 and 84.70 with the application of chemical fertilizer, bio-fertilizer and commercial organic fertilizer respectively. Experiments 5 inhibitory effect of bio-fertilizer for controlling anthracnose and fusarium wilt on chili. Greenhouse experiment revealed that application of bio-fertilizer caused minimal disease incidence 10% on plants and fruit disease 3.37% and able to control *Fusarium solani* with the lowest disease score of 0.42 points and percentage of disease incidence 8.33% respectively.

มหาวิทยาลัยพะเยา
UNIVERSITY OF PHAYAO

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ประจำปี 2561 (MSD61I0042) ที่ให้งบประมาณในการสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก ประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างยิ่งที่กรุณาให้โอกาส ให้ความรู้ แนะนำ คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ ตลอดการศึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. บุญร่วม คิดค้า กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร. มนัส ทิตย์วรรณ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไวพจน์ กันจู และ ดร.นครินทร์ สุวรรณราช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา ตรวจสอบ และคำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ นายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา นายรววิทย์ บูรณ์ศิริ และองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ที่สนับสนุนวัตถุดิบ ตลอดจนเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องจักรกล และพนักงาน ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตรทุกท่านที่ให้ความรู้ และคำปรึกษา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ที่ให้คำแนะนำเทคนิคการใช้เครื่องมือและสารเคมี ตลอดจนอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดีในการใช้วัสดุและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการและขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้ทั้งโอกาส กำลังใจและการสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้วิทยานิพนธ์เล่มนี้คงเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ ความดีและประโยชน์ที่พึงมี ขอมอบให้แด่บิดา มารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณแก่ข้าพเจ้าทุกท่าน หากแต่มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้า ขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นัทธพงศ์ ยะแสง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 3

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

ผักตบชวา (water hyacinth) 4

ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา 4

แนวทางการจัดการผักตบชวาและการนำมาใช้ประโยชน์ 5

จุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตปุ๋ยชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์ 5

ราย่อยสลาย 7

จุลินทรีย์ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช 9

การใช้จุลินทรีย์ควบคุมโรคพืช 10

กลไกการควบคุมโรคด้วยชีววิธี 11

การผลิตและกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา 14
มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 16
พริกขี้หนู 17
องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในผลพริกขี้หนู 18
ความสำคัญของโรคแอนแทรคโนส และโรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium* wilt) ในพริก 20
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 27
การทดลองที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิดต่อการยับยั้งราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum capsici*) และโรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium solani*) ของพริก ในระดับห้องปฏิบัติการ 28
การทดลองที่ 2 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา และผลการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตพริก 30
การทดลองที่ 3 การผลิต คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน 37
การทดลองที่ 4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงานต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก 40
การทดลองที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงาน ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนส และโรคเหี่ยวเหลืองพริกระดับโรงเรือน 44
บทที่ 4 ผลการทดลอง 48
การทดลองที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิดต่อการยับยั้งราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum capsici*) และโรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium solani*) ของพริก ในระดับห้องปฏิบัติการ 48

การทดลองที่ 2 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา ย่อยสลาย และผลการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา ย่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและปริมาณ ผลผลิตพริก 52

การทดลองที่ 3 การผลิต คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา ย่อยสลาย ที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน 75

การทดลองที่ 4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา ย่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงานต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก 80

การทดลองที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา ย่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงาน ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคเหี่ยวเหลืองพริกระดับโรงเรือน.....92

บทที่ 5 บทสรุป.....97

สรุปผลการวิจัย 97

อภิปรายผลการวิจัย..... 98

บรรณานุกรม 107

ภาคผนวก 121

ภาคผนวก ก การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อรา 121

ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์..... 122

ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญในผลพริก 128

ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน 130

ภาคผนวก จ การเตรียมราสาเหตุโรคพืช 135

ประวัติผู้วิจัย..... 136

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงรายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ 16

ตาราง 2 แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของรา *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) ทดสอบโดยวิธี dual culture technique 49

ตาราง 3 แสดงชนิดของราในกองผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา นาน 30, 45 และ 60 วัน.....53

ตาราง 4 แสดงชนิดของราในวัสดุผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 57

ตาราง 5 แสดงคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์.....59

ตาราง 6 แสดงคุณสมบัติผักตบชวาหมักของโรงงานและปุ๋ยอินทรีย์ตรากว๊านพะเยา..... 61

ตาราง 7 แสดงการตอบสนองของพริกขี้หนูต่อปุ๋ยอินทรีย์ 65

ตาราง 8 แสดงผลผลิตและลักษณะทางกายภาพของผลพริก 68

ตาราง 9 แสดงชีวมวลของส่วนลำต้นและรากพริก 70

ตาราง 10 แสดงปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญในผลพริก.....72

ตาราง 11 แสดงคุณสมบัติดินก่อนการทดลองปลูกพืช และดินหลังการเก็บเกี่ยวพืช 74

ตาราง 12 แสดงคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย ที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน 76

ตาราง 13 แสดงเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของรา่อยสลายในเม็ดปุ๋ย 77

ตาราง 14 แสดงการเจริญเติบโตของต้นพริก.....83

ตาราง 15 แสดงปริมาณผลผลิตและลักษณะทางกายภาพของผลพริก.....85

ตาราง 16 แสดงชีวมวลของส่วนลำต้นและรากพริก.....87

ตาราง 17 แสดงปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลพริก 89

ตาราง 18 แสดงคุณสมบัติของดินก่อนการทดลองปลูกพริก และดินหลังการเก็บเกี่ยวพริก .. 91

ตาราง 19 แสดงการเกิดโรคแอนแทรคโนสบนต้นและบนผลพริกในระดับโรงเรือน 93

ตาราง 20 แสดงคะแนนการเกิดโรคและเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเหี่ยว (*Fusarium* wilt) ของต้นพริกในระดับโรงเรือน 95

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในสายพานการผลิตของโรงงานปุ๋ย 15

ภาพ 2 แสดงแผนภาพขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย.....27

ภาพ 3 แสดงการวัดผลในการยับยั้งการเจริญของรา *C. capsici* และ *F. solani* ทดสอบด้วยวิธี dual culture.....30

ภาพ 5 แสดงวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์.....33

ภาพ 6 แสดงประสิทธิภาพของรายอยสลายต่อการยับยั้งการเจริญของรา *C. capsici* (KPK00292) สาเหตุโรคแอนแทรคโนสพริก ทดสอบด้วยวิธี dual culture technique.....50

ภาพ 7 แสดงประสิทธิภาพของรายอยสลายต่อการยับยั้งการเจริญของรา *F. solani* (TISTR3436) สาเหตุโรคเหี่ยวของพริก ทดสอบด้วยวิธี dual culture technique 51

ภาพ 8 ผักตบชวาก่อนการหมัก และผักตบชวาที่หมักด้วยรายอยสลายนาน 60 วัน 52

ภาพ 9 แสดงรา Mucor sp. ในกองผักตบชวาหมักที่ระยะเวลานาน 30, 45 และ 60 วัน บนอาหาร PDA.....54

ภาพ 10 แสดงรา *Rhizopus* sp. ในกองผักตบชวาหมักที่ระยะเวลานาน 30, 45 และ 60 วัน บนอาหาร PDA.....55

ภาพ 11 แสดงรา *Trichoderma* sp. ในกองผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา นาน 30, 45 และ 60 วัน บนอาหาร PDA.....56

ภาพ 12 แสดงลักษณะการเจริญเติบโตของพริกขี้หนู.....63

ภาพ 13 แสดงการเจริญเติบโตของพริก.....64

ภาพ 14 แสดงผลผลิตและองค์ประกอบของผลพริก 67

ภาพ 15 แสดงชีวมวลของส่วนลำต้นและส่วนราก 69

ภาพ 16 แสดงปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลพริก 71

ภาพ 17 แสดงเม็ดปุ๋ยบนอาหารเลี้ยงแข็ง PDA ระยะเวลา 24 ชั่วโมง.....78

ภาพ 18 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราที่แยกจากเม็ดปุ๋ย 79

ภาพ 19 แสดงการเจริญเติบโตของต้นพริก 81

ภาพ 20 แสดงการเจริญเติบโตของพริก 82

ภาพ 21 แสดงผลผลิตและองค์ประกอบของผลพริก 84

ภาพ 22 แสดงปริมาณชีวมวลของส่วนลำต้นและส่วนราก..... 86

ภาพ 23 แสดงปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลพริก..... 88

ภาพ 24 แสดงลักษณะของโรคแอนแทรคโนสบนต้นและผลพริก.....94

ภาพ 25 แสดงลักษณะของโรคเหี่ยว (*Fusarium* wilt) ของต้นพริก อายุ 30 วัน หลังจากการปลูกถ่ายโรคลงบนต้นพริก 21 วัน..... 96

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) เป็นวัชพืชน้ำจืดที่เจริญอยู่บนผิวน้ำ สามารถแพร่กระจายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วโดยวิธีการแตกหน่อและเมล็ด (นิศากร เจริญดี, 2545) เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ทนต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำ แหล่งน้ำตื้นเขิน คุณภาพน้ำไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและการขยายพันธุ์ของสัตว์น้ำ

กว๊านพะเยาเป็นทะเลสาบน้ำจืดที่สำคัญของจังหวัดพะเยา และประสบปัญหาการลุกลามและแพร่พันธุ์ในอย่างรวดเร็วของผักตบชวา ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน คุณภาพน้ำไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและการขยายพันธุ์ของสัตว์น้ำ ส่งผลผลกระทบสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีผลด้านภูมิศาสตร์ส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยว (สำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัดพะเยา, 2559) จากปัญหาแหล่งน้ำที่เกิดจากผักตบชวา จังหวัดพะเยาได้ดำเนินการฟื้นฟู พัฒนากว๊านพะเยา มีการจัดตั้ง “โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อพัฒนาสู่เกษตรปลอดภัย” โดยจัดสรรงบประมาณในการจัดตั้งโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ ที่มีส่วนผสมหลักมาจากผักตบชวา เมื่อปี พ.ศ. 2548 ดำเนินการในชื่อว่า “โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อพัฒนาสู่เกษตรปลอดภัย ได้นำผักตบชวามาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมาก สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่ปะปนอยู่กับตะกอนในน้ำและนำมาไว้ในส่วนต่าง ๆ ของลำต้นและใบ ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร้อยละ 1.75, 0.63 และ 3.07 ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสำหรับใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และช่วยรักษาอินทรียวัตถุในดิน (Sotolu, 2010; นิสากร วิเวกวินย์, 2546) แต่กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานที่ผ่านมายังพบปัญหาด้านการผลิต คือปุ๋ยที่ผลิตไม่สามารถปั้นเป็นเม็ดได้ และไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน มีสาเหตุหลักคือผักตบชวาที่ใช้เป็นวัตถุดิบย่อยสลายไม่สมบูรณ์ เนื่องจากทางโรงงานนำผักตบชวามากองไว้และปล่อยให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ ซึ่งใช้เวลานานและการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้การผลิตปุ๋ยอัดเม็ดไม่ได้ขนาดและคุณภาพ แต่ในปีงบประมาณ 2557 ทางโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้จัดซื้อเครื่องย่อยสลายผักตบชวา ให้มีขนาดเล็กโดยใช้เวลาเพียง 2 วัน แต่ยังไม่สามารถย่อยสลายผักตบชวาได้หมด และยังมีเส้นใยจำนวนมาก ทำให้เป็นอุปสรรคในการปั้นเม็ด ดังนั้นการใช้รายย่อยสลายผักตบชวาจึงเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่จะทำให้ผักตบชวามีการ

ย่อยสลายได้ดีและเร็วขึ้น และการใช้รายย่อยสลายมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายผักตบชวาและเพิ่มคุณภาพของปุ๋ย โดยใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่น ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายผักตบชวาเพื่อใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก และพบรา *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) สามารถย่อยสลายในระดับห้องปฏิบัติการ จึงได้ต่อยอดงานวิจัยดังกล่าว โดยนำไปใช้จริงในระดับโรงงาน และนอกจากนี้ยังพบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการใช้รายย่อยสลายดังกล่าว สามารถผลิตสารส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของข้าว ข้าวโพดหวาน แคนตาลูป และคะน้าใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมี (วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก และ เฉลิมชัย แพะคำ, 2555) จึงได้ทดสอบการตอบสนองของปุ๋ยต่อพืชอื่น ๆ เพื่อผลิตพืชปลอดภัยสู่ตลาด และเป็นการเพิ่มคุณภาพปุ๋ยให้แก่ผู้ประกอบการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคเหี่ยวเหลืองพริก ประยุกต์กับการแก้ปัญหาด้านการผลิตหลายประการทั้งโรคและแมลง ซึ่งทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่เลือกใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัด จนทำให้เกิดสารพิษตกค้างและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค การควบคุมด้วยชีววิธีจึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับเกษตรกร ในการลดหรือเลิกใช้สารเคมีให้น้อยลงเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากรายย่อยสลายในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรคพืช

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) ในระดับขั้นตอนการผลิตของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ และให้สอดสอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร

2. เพื่อศึกษาผลของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคเหี่ยว (*Fusarium* wilt) พริก

ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา และผลการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตพริก และการแยกเชื้อกลับ (re-isolation) เพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ในผักตบหมัก

2. การผลิตและผลของขั้นตอนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระดับโรงงาน ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย และการตรวจหาเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของราย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ที่ผ่านขั้นตอนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์

3. การทดสอบผลการตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตพริก

4. การทดสอบประสิทธิภาพของราย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ต่อการยับยั้งราโรคพืช และการทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนส และโรคเหี่ยว (*Fusarium* wilt) พริกระดับโรงเรือน

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. ได้อัตราส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์ที่มีผักตบชวาหมักในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้นและเป็นไปตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร และสามารถเพิ่มมูลค่าจำหน่ายได้

2. ได้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโต เพิ่มปริมาณผลผลิต และควบคุมโรคที่สำคัญของพืช

3. ได้ข้อมูลและวิธีการที่เป็นประโยชน์ในการควบคุมโรคแบบชีววิธีโดยการใช้ราย่อยสลาย และสามารถส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตพืชอินทรีย์และสร้างความมั่นใจให้ผู้บริโภค

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผักตบชวา (water hyacinth)

ผักตบชวา (water hyacinth) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms อยู่ในวงศ์ (Family) Pontederiaceae จัดเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วผักตบชวาสามารถขยายพันธุ์ได้ทุกฤดูกาลใน 1 ต้น จะมีเมล็ดถึง 5,000 เมล็ด และเมล็ดอาจเคลื่อนย้ายไปตามกระแสน้ำหรือติดไปกับสัตว์อื่น ๆ เช่น นก ทำให้ผักตบชวาสามารถแพร่ขยายไปยังแหล่งน้ำอื่นได้ แนวทางที่เหมาะสมในการกำจัดผักตบชวา คือ การนำเอาผักตบชวาเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ด้วยการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในรูปปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมากสามารถดูดซับเอาอาหารพืชที่ปะปนอยู่กับตะกอนในน้ำและนำมาไว้ในส่วนต่าง ๆ ของลำต้นและใบ (Sotolu, 2010) ผักตบชวา 100 กิโลกรัม หลังจากตากให้แห้งจะมีน้ำหนักเหลือประมาณ 5 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักแห้งเฉลี่ยร้อยละ 5 ของน้ำหนักทั้งหมด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบผักตบชวาพบว่าผักตบชวาประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ (นุจารี ประสิทธิ์พันธ์ และ พิศุทธิ์ เอกก้านตรง, 2527) และการค่าวิเคราะห์ทางเคมีของผักตบชวาและปุ๋ยหมักจากผักตบชวาไว้ในคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ (พิทยากร ลิ่มทอง และ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540)

ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา

การทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีการควบคุมปริมาณผักตบชวาวิธีการหนึ่ง อีกทั้งยังได้ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรซึ่งสอดคล้องกับการประกอบอาชีพเกษตรกรรมของประชากร เพื่อลดต้นทุนการผลิตที่ต้องใช้ปุ๋ยเคมีและผลกระทบจากสารเคมีการเกษตร ทั้งนี้เพราะว่าผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมาก สามารถดูดซับเอาอาหารพืชที่ปะปนอยู่กับตะกอนในน้ำและปะปนในน้ำมาไว้ในส่วนต่าง ๆ ของลำต้นและใบ ฉะนั้นการสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักก็จะให้ปริมาณธาตุอาหารพืชสูงไปด้วย ซึ่งคุณสมบัติเหมาะสำหรับใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ในพื้นที่ดินเสื่อมโทรมขาดอินทรียวัตถุและต้นทุนการเก็บต่ำอีกด้วย (นิสากร วิเวกวินย์, 2546)

ปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวา เมื่อนำมาใช้ปรับปรุงบำรุงดิน เพื่อปลูกพืชจะได้ดินร่วนซุย เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ทำให้ดินทรายยึดตัวกัน ลดการสูญเสียหน้าดิน และช่วยอุ้มน้ำไว หล่อเลี้ยงต้นพืชได้เป็นเวลานาน สำหรับดินเหนียวจัดปุ๋ยหมักจะทำให้ดินร่วนโปร่งอากาศสามารถ ถ่ายเทได้สะดวก ดินมีโครงสร้างดีขึ้น รากพืชแผ่กระจายไปหาธาตุอาหารได้ง่ายกว่าเดิม ดังนั้นการนำปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ไปประโยชน์จึงเป็นทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นพืชผัก พืชสวน พืชไร่แปลงเล็ก แปลงตกกล้าข้าว ไม้ดอกไม้ประดับ ไม้ยืนต้น ฯลฯ โดยใส่ปุ๋ยหมักปีละครั้งประมาณ 1–2 ตันต่อไร่ ถ้าจะให้ผลดีควรใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยโดยลดเหลือเพียง 25–50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราเดิมที่ใช้ ซึ่งเป็นการประหยัดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีได้อีกทางหนึ่ง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2559) ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาจะมีองค์ประกอบ คือ ไนโตรเจน 2.05 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 1.1 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 2.5 เปอร์เซ็นต์ (ของน้ำหนักแห้ง หรือ 5–10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสด) รวมทั้งมีธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม ที่จำเป็นแก่การเจริญเติบโตของพืช อย่างครบถ้วน (รัชนี ธงภูเขียว, 2534)

แนวทางการจัดการผักตบชวาและการนำมาใช้ประโยชน์

ผักตบชวาเป็นวัชพืชทางน้ำที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้แนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์มีมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณมากและเกิดทดแทนส่วนที่ถูกนาไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว การลอยน้ำของผักตบชวาช่วยให้การเก็บเกี่ยวง่ายขึ้นโดยเฉพาะถ้ามีลมหรือกระแสน้ำช่วยพัดพามายังสถานที่ตั้งอุปกรณ์การเก็บเกี่ยว จะยิ่งช่วยทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวได้มาก อีกทั้งยังเป็นการป้องกันไม่ให้ผักตบชวาลอยต่อไปยังแหล่งน้ำอื่น ๆ เพื่อขยายพันธุ์ต่อไป ซึ่งทำให้ยากแก่การกำจัด ผักตบชวาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายวิธีทั้งในด้านงานหัตถกรรมและด้านการเกษตร เช่น ทำเครื่องจักสาน ทำปุ๋ยหมัก อาหารสัตว์ วัสดุเพาะเห็ด และแท่งเพาะชำ เป็นต้น (บุญชัย งามวิทย์โรจน์ และคณะ, 2555)

ด้านการเกษตร นำมาทำเป็นปุ๋ยหมักสำหรับการปลูกพืชผัก และทำเป็นวัสดุคลุมต้นไม้ที่ปลูกไว้เพื่อให้เกิดความชื้น เนื่องจากผักตบชวามีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี รวมทั้งการนำมาทำเป็นวัสดุปรับปรุงดิน และวัสดุในการเพาะเห็ด (ประนอม ชำนาญ (ผู้บรรยาย), 2552)

จุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตปุ๋ยชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์

1. จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixing microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้อยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มแบคทีเรียเพราะทำงานเร็วและมีจำนวนอยู่มาก แบคทีเรียที่ตรึง

ไนโตรเจนได้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ต้องอยู่ร่วมกับตัวอื่นถึงจะตรึงไนโตรเจนได้แบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน (symbiosis association) กับถั่วชนิดต่าง ๆ เช่น ไรโซเบียม (*Rhizobium* sp.) ในปมรากพืชตระกูลถั่ว และกลุ่มไซยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกรมน้ำเงินเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระ (non–symbiosis) เช่น สาหร่ายสีเขียมแกมน้ำเงิน และกลุ่มแอคติโนไมซีสซึ่งพบเพียงจีนัสเดียวที่ตรึงไนโตรเจนได้ คือ *Frankia* sp. กลุ่มแบคทีเรียร่วมอาศัยกับพืชหรือพึ่งพาแบบเทียม เป็นแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระในดิน และสามารถเจริญอาศัยอยู่ภายในใบ ราก หรือลำต้นของพืชโดยไม่ก่อให้เกิด ความเสียหายแก่พืช (ธงชัย มาลา, 2557)

2. จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์หรือเซลลูโลส (cellulolytic microorganisms หรือ cellulolytic decomposers) ประกอบไปด้วย แบคทีเรีย *Bacillus* spp., รา *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., *Penicillium* sp. แอคติโนมัยซีท *Thermoactinomyces* sp. และโปรโตซัว สามารถพบได้ระหว่างการสลายตัวของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่าง ๆ ซากพืช ซากสัตว์ และขยะอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยอาศัยกิจกรรมเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นซึ่งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องการเอนไซม์ที่มีความเฉพาะเจาะจงในการเข้าทำปฏิกิริยา เช่น เอนไซม์เซลลูเลส สำหรับย่อยเซลลูโลสที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นหน่วยเล็ก ๆ ได้แก่ กลูโคส เซลโลไบโอส และ oligosaccharides เพื่อใช้เป็นแหล่ง พลังงานในการขับเคลื่อนกระบวนการต่าง ๆ ในเซลล์ (Sylvia et al., 2005) ทำให้เกิดปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส ได้แก่ แบคทีเรีย เช่น *Streptomyces* sp., *Cytophaga* sp., *Cellulomonas* sp., *Nocardia* sp., *Vibrio* sp., และ *Clostridium thermocellum* และกลุ่มรา เช่น *Trichoderma* sp., *Chaetomium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. และ *Phoma* sp. (Mishra and Pandey, 2007)

3. จุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟตและธาตุอาหารพืชอื่น ๆ (phosphate and other nutrient elements solubilizing microorganisms) ซึ่งสามารถทำให้ธาตุอาหารพืชหลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ที่มักอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ให้ละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ รวมไปถึงจุลินทรีย์ที่ช่วยส่งเสริมให้รากพืชดูดกินธาตุอาหารพืชได้ดีขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่สามารถดูดกินธาตุอาหารบางชนิดได้หรือดูดกินได้น้อย จุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟต จะสร้างเอนไซม์ phytase, phosphatase, nucleotidasesและ glecerophosphatase เพื่อแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่เรียกว่า ออโธฟอสเฟต (orthophosphate) ซึ่งเป็นพวกโมโน (mono) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (dihydrogen phosphate) จุลินทรีย์ดังกล่าวได้แก่ แบคทีเรียในสกุล

Bacillus sp. และราในสกุล *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น นอกจากนี้ สารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสบางชนิดในรูปของหินฟอสเฟตซึ่งพืชยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จุลินทรีย์บางชนิดในสกุล *Bacillus* sp. และ *Aspergillus* sp. จะสร้างกรดอินทรีย์ละลายฟอสฟอรัสออกมาให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ (เกตน์ณนิภา วันชัย, 2556)

รายย่อยสลาย

1. ราสกุล *Mucor* sp.

รา *Mucor* sp. อยู่ในไฟลัม (phylum) Zygomycota จัดเป็นราชั้นต่ำลักษณะเส้นใยไม่มีผนังกั้น (non septate hypha) เส้นใยเติบโตรวดเร็ว รากลุ่มนี้มีลักษณะคล้าย *Rhizopus* มากต่างกันที่ *Mucor* ไม่มีไรซอยด์ (rhizoid) และสโตลอน (stolon) สืบพันธุ์โดยการสร้างสปอร์ทั้งแบบอาศัยเพศ (sexual spore) และแบบไม่อาศัยเพศ (asexual spore) โดยสปอร์แบบอาศัยเพศเรียกว่า ไซโกสปอร์ (zygospore) ส่วนสปอร์ไม่อาศัยเพศ เรียกว่า สปอร์แรงจิโอปอร์ (sporangiopore) อยู่ภายในสปอร์แรงเจียม (sporangium) เส้นใย (hypha) มีสีขาวหรือเทา ส่วนปลายมีคอลูเมลลา กลม หรือทรงกระบอก สปอร์แรงจิโอสปอร์ รูปกลมหรือรี ผนังเรียบ ไม่มีสี และเส้นใย (hypha) ของ *Mucor* มักมีสีขาวหรือเทา สปอร์มีสีน้ำตาลหรือดำ (สิริวรรณ สุนทรศารทูล, 2550)

รา *Mucor* sp. เป็นราที่กระจายในธรรมชาติ โดยทั่วไปสามารถพบได้ในดิน ปุ๋ยคอก พื้นผิวของพืช ผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว และพืชผักที่เน่าเสีย และพบว่าราร *M. ellipsoideus* สามารถเจริญเติบโตและสร้างสปอร์ได้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (Alvarez et al., 2011; Chaturvedi et al., 2015; Rouhullah et al, 2012) และยังมีการนำรา *Mucor ellipsoideus* + *Rhizopus oryzae* + *Trichoderma harzianum* นำมาย่อยสลายผักตบชวา พบว่ากรรมวิธีการหมักปุ๋ยด้วยรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* นาน 60 วัน และกรรมวิธีการหมักปุ๋ยด้วยรา *M. ellipsoideus* + *T. harzianum* นาน 30 วัน ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพโดยรวมดีที่สุด โดยมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 0.87% และ 0.54% ตามลำดับ (สุรพงค์ คุณา, 2559)

2. รา *Rhizopus* sp.

รา *Rhizopus* sp. อยู่ในไฟลัม (phylum) Zygomycota จัดอยู่กลุ่มราชั้นต่ำ เป็นราแบบเส้นใยไม่มีผนังกั้น (non septate hypha) มักสร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศคือ สปอร์แรงจิโอปอร์ (sporangiospore) ซึ่งรวมกันอยู่ในสปอร์แรงเจียม (sporangium) ที่มีรูปร่างกลม ที่ฐานของ sporangiophore ซึ่งเป็นก้านชูสปอร์ มีไรซอยด์ (rhizoid) และสโตลอน (stolon) ซึ่งเป็นเส้นใยที่

เชื่อม sporangiospore มีขนาดใหญ่ มีสีดำ และมีคอลลูเมลลา (columella) และสามารถสร้างสปอร์แบบมีเพศ เรียกว่า ไซโกสปอร์ (zygospore) การเจริญบนอาหาร PDA เส้นใยเป็นปุยสีขาวเกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ แล้วเปลี่ยนเป็นสีเทาน้ำตาลหรือสีเทาดำ เมื่อมีการสร้างสปอร์ และ *Rhizopus* sp. มีการดำรงชีวิตแบบอิสระ บางชนิดทำให้อาหารเน่าเสีย แต่บางชนิดสามารถนำไปใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้ (Schipper, 1984; สุณิษา พลรักษ์, 2557) และ (วรวุฒิ อ้ายดวง และคณะ, 2561) ได้ทำการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยเชื้อราย่อยสลาย *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) ต่อการควบคุมโรคเน่าคอดินของคะน้า โดยทำการทดสอบผลของราย่อยสลายทั้ง 2 ชนิดต่อการควบคุมรา *Pythium aphanidermatum* สาเหตุโรคเน่าคอดินในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าราย่อยสลายทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ รา *R. oryzae* และ *T. harzianum* สามารถยับยั้งการเจริญของรา *P. aphanidermatum* สาเหตุโรคเน่าคอดินได้เท่ากับ 72.61 และ 80.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3. รา *Trichoderma* spp.

รา *Trichoderma* spp. เป็นราชั้นสูงชนิดหนึ่ง อยู่ในไฟลัม (phylum) Ascomycota พบทั่วไปในดินและเศษซากอินทรียวัตถุตามธรรมชาติสามารถเจริญได้อย่างรวดเร็ว มีการดำรงชีวิตแบบ saprophyte และ parasite แต่ไม่ก่อให้เกิดโรคกับพืชที่มีชีวิตอยู่ เชื้อราสร้าง conidiophore สีจางหรือไม่มีสีแตกแขนงมากแต่ไม่เป็นแบบ verticillate พบ เกิดเดี่ยว ๆ หรือเป็นกลุ่ม รูปร่างconidia (phialospore) เป็นเซลล์เดียวรูปไข่ ไม่มีสีเกิดเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ที่ปลาย phialide โคโลนีเจริญรวดเร็วบนอาหารเลี้ยงเชื้อทั่วไป และมีสีเขียวของกลุ่ม conidia (Barnett and Hunter, 1972; Błaszczyk et al., 2014) เส้นใยของรา *Trichoderma* spp. จะรบกวนการเจริญของ (hyphal interference) ของเชื้อราสาเหตุโรคพืช มีการพันรัดเส้นใยและทำให้รูปทรงเส้นใยของราสาเหตุโรคพืชผิดปกติ บางชนิดสามารถเป็นได้ทั้งปรสิตและผู้ย่อยสลาย ในการพันรัดเส้นใยของราโรคพืชรา *Trichoderma* spp. จะสร้างเอนไซม์และสารทุติยภูมิบางชนิดออกมาย่อยสลายเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคพืช เช่น เอนไซม์ chitinases, β-glucanases, cellulases, proteases และ cellulase ที่มีความสามารถในการย่อยผนังเซลล์จากนั้นรา *Trichoderma* จึงแทงเส้นใยเข้าไปภายในเส้นใยราโรคพืชทำให้ราโรคพืชอ่อนแอและตายลง ขณะที่บางสายพันธุ์สามารถสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiotic) ออกมาเพื่อยับยั้งหรือทำลายเส้นใยราโรคพืชจนเกิดการย่อยสลาย (lysis) อีกทั้งยังเหี่ยวนำความต้านทานแก่พืชอาศัยให้พืช (Hermosa et al., 2012; Błaszczyk et al., 2014; Carvalho et al., 2015; จิระเดช แจ่มสว่าง, 2538)

ปัจจุบันได้มีการนำรา *Trichoderma* spp. ที่มีประสิทธิภาพในการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต สร้างสารปฏิชีวนะ การแข่งขัน การเป็นปรสิต การชักนำให้เกิดความต้านทาน และ

ควบคุมราสาเหตุโรคพืช มาใช้ประโยชน์มากมายหลากหลายสายพันธุ์ เช่น *T. harzianum*, *T. viride* และ *T. virens* และสามารถควบคุมราสาเหตุโรคพืชหลายชนิด เช่น *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp., *Sclerotium rolfsii*, *Alternaria* spp., *Colletotrichum* spp., *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Stemphylium vesicarium* เป็นต้น (Rivera et al., 2020; Zapata et al., 2020; สายทอง แก้วฉาย, 2555) อีกทั้งยังมีการผลิตเพื่อจำหน่ายทางการค้าอย่างกว้างขวาง เช่น ผลิตจำหน่ายในรูปเม็ด (granular) และรูปแบบผง (powder) และจากรายงานการวิจัยของ (Li et al., 2020) ได้มีการเพิ่มประสิทธิภาพของสารควบคุมโรคพืช โดยนำเอารา *T. atroviride* SG3403 และ แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* 22 มาอยู่ร่วมกันในผลิตภัณฑ์ควบคุมโรคพืชพบว่าสามารถยับยั้งโรคพืชที่เกิดจาก รา *F. graminearum* ได้ถึง 54.22 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่าการใช้ *T. atroviride* SG3403 และ แบคทีเรีย *B. subtilis* 22 เพียงอย่างเดียว

จุลินทรีย์ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

จุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสารบางอย่างในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น กลุ่มแบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* และ *P. putida* สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้โดยการเจริญครอบครองส่วนของรากได้ดีป้องกันการเข้าทำลายจากโรค โดยสร้าง siderophore ที่เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและปลดปล่อยออกมาเพื่อช่วยดูดซับแย่งอนุภาคของธาตุเหล็ก (Fe^{3+}) ในดินที่มีอยู่อย่างจำกัดแล้วลำเลียงจากภายนอกเข้าสู่ภายในเซลล์แบบ active transport (Sah and Singh, 2015) ทำให้รากอ่อโรคพืชไม่สามารถนำธาตุเหล็ก (Fe^{3+}) ไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการสร้างสารปฏิชีวนะคือสาร bacteriocin ซึ่งมีคุณสมบัติกว้างในการยับยั้งแบคทีเรียหลายชนิด มีรายงานว่ารา *Rhizophagus irregularis* สามารถสร้างเอนไซม์ Phosphatase ที่ย่อยและปลดปล่อยฟอสฟอรัสในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Camprubi et al., 1995; Hyakumachi, 1994) มีรายงานว่าแบคทีเรีย *Pseudomonas tolaasii* (S20), *P.veronii* (S21) และ *Sphingomonas trueperi* (S12) มียีนที่สามารถช่วยตรึงไนโตรเจนได้ทำให้ต้นข้าวสูงขึ้น และสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวได้ดีกว่าชุดควบคุมร้อยละ 22.1 มีรายงานถึงจุลินทรีย์ที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอีกหลายรายงานเช่นแบคทีเรียไรโซเบียม (Rhizobium) ในปมของรากพืชตระกูลถั่วที่ช่วยตรึงไนโตรเจนและเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชตระกูลถั่วได้จากงานวิจัยของกองปฐพีวิทยากรมวิชาการเกษตรในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ผลสรุปเปรียบเทียบทางเศรษฐกิจระหว่างการใช้ไรโซเบียมกับปุ๋ยเคมี

และการไม่ใช้ทำให้เห็นว่าการใช้ไรโซเบียมถึงแม้ให้ผลผลิตน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีแต่เมื่อคิดเป็นกำไรสุทธิแล้วพบว่าได้กำไรสุทธิสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี (ชนวน รัตนวราหะ, 2544)

กลุ่มของรา เช่น รา *Trichoderma* เป็นราปฏิปักษ์มีความสามารถในการยับยั้งราก่อโรคพืชได้หลายชนิดและบางชนิดยังสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยมาการแลกเปลี่ยนสารระดับโมเลกุล โดยมาการทดลองแยกจุลินทรีย์บริเวณรอบรากของหญ้ากำมะหยี่ (*Zoysia tenuifolia*) ข้าวสาลี และข้าวโพด พบรา *Trichoderma* spp. ที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้หลายชนิด เช่น ข้าวสาลี พริก มะเขือเทศ แตง และพืชตระกูล แรดิช (radish) โดยมีความสูงของและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ control ที่ไม่ใส่รา *Trichoderma* sp. และยังพบว่ารา *Trichoderma* sp. สามารถไปเร่งให้พืชสร้างสารเร่งการเจริญเติบโตมากกว่าปกติ อีกทั้งยังสารมารถไปขัดขวาง หรือทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคที่มารบกวนรากพืชได้จึงทำให้ระบบรากพืชมีความแข็งแรงสามารถดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินได้ดีขึ้น (จิระเดช แจ่มสว่าง, 2547) รา *Trichoderma* spp. ยังสามารถช่วยในกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เช่น เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง การชักนำให้ปิดเปิดปากใบ กระบวนการ carboxylation ในการตรึง CO_2 เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำ การดูดซึมธาตุอาหาร (Doni et al., 2014, Saba et al., 2012) และยังพบว่า รา *T. harzianum* สามารถกระตุ้นให้ต้นข้าวทนต่อสภาวะความเครียดที่จากสภาพแล้งได้และเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำภายในต้นข้าว (Shukla et al., 2012).

การใช้จุลินทรีย์ควบคุมโรคพืช

การควบคุมโรคพืชโดยวิธีชีวภาพหรือชีววิธี (Biological control) เป็นวิธีการนำจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ที่สามารถพบในธรรมชาติมาใช้ควบคุมราโรคพืช และบางชนิดยังพบว่ายังสามารถเพิ่มแร่ธาตุอาหารในดินให้แก่พืช ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และชักนำให้ต้นพืชเกิดความต้านทานต่อโรคพืชได้อีกด้วย (Harman, 2000; Intana et al., 2003) เช่น ราไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma* spp.) เป็นราปฏิปักษ์ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมราสาเหตุโรคพืชโดยการผลิตหรือสร้างสารปฏิชีวนะ การสร้างเอนไซม์มาย่อยและทำลายผนังเซลล์ของโรคพืช และสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืช *Trichoderma* ที่สามารถควบคุมราสาเหตุโรคพืชมีหลายสายพันธุ์ เช่น *T. harzianum*, *T. viride* และ *T. virens* และสามารถควบคุมราสาเหตุโรคพืชหลายชนิด เช่น *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp., *Sclerotium rolfsii*, *Alternaria* spp., *Colletotrichum* spp., *Sclerotinia sclerotiorum* และ *Botrytis cinerea* กลไกการควบคุมโรคของรา *Trichoderma* มีหลายกลไก ที่สำคัญ ๆ เช่น การสร้างสาร

ปฏิชีวนะการแข่งขัน การเป็นปรสิต และการชักนำให้เกิดความต้านทาน ในปัจจุบันมีการผลิตราไตรโคเดอร์มาเพื่อควบคุมโรคพืช และผลิตเพื่อจำหน่ายทางการค้าอย่างกว้างขวาง (สายทอง แก้วฉาย, 2555) จากรายงานการวิจัยของ (Rahman, et al. 2015) พบว่ารา *T. virens*, *T. pseudokoningii*, *T. harzianum* IMI–392432, *T. harzianum* IMI–392433 และ *T. harzianum* IMI–392434 สามารถควบคุมและลดการเกิดโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากรา *C. capsici* ของพริกระดับผลผลิตสูงถึง 76.5 –83.6 เปอร์เซ็นต์

จุลินทรีย์มีกลไกมากมายในการเข้าทำลายโรคพืช ไม่ว่าจะการเป็นปรสิต การแข่งขัน ปัจจัยในการดำรงชีวิต การสร้างสารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และการชักนำ ให้ต้นพืชสามารถต้านทานต่อโรคพืช เป็นต้น (Anju, 1994; Ghisalberti, 1991; G. E. Harman, 2000; Howell, 2003; จิระเดช แจ่มสว่าง, กนกนาฏ เรืองวิเศษ อำไพวรรณ ภราดร์นุวัฒน์ ชวลิต ฮงประยูร วันทนีย์ ชุ่มจิตต์ และ สุขวัฒน์ จันทรปรรณิก, 2540) มีรายงานมากมายเกี่ยวกับความสำเร็จในการนำจุลินทรีย์มาควบคุมโรคพืช เช่น การใช้รา *Trichoderma* sp. ในการควบคุมโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียนและส้ม โรคโคนเน่าของมะเขือเทศ โรคเน่าระดับดินของต้นแตงกวาและต้นถั่วฝักยาว โรคต้นไหม้ของต้นหน่อไม้ฝรั่ง และโรคกาบใบแห้งของข้าว เป็นต้น (จิระเดช แจ่มสว่าง, วรรณวิไล อินทนู ถวัลย์ คุ้มช้าง และวาริน อินทนา, 2546)

กลไกการควบคุมโรคด้วยชีววิธี

กลไกการควบคุมโรคด้วยชีววิธีเป็นกลไกลการลดปริมาณของปะชากรของจุลินทรีย์ก่อโรคพืช หรือลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ก่อโรคพืช ซึ่งจะส่งผลให้จุลินทรีย์ก่อโรคพืชอยู่ในระดับไม่ทำความเสียหาต่อระบบเศรษฐกิจ โดยอาศัยสิ่งมีชีวิต รวมถึงพืชชั้นสูงและจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ สิ่งมีชีวิตหรือจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ที่นำมาใช้ในการควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี มีกลไกการควบคุมหรือยับยั้งสาเหตุโรคพืชใน 4 ลักษณะดังนี้

1. การแข่งขัน (Competition)

ภาวะที่สิ่งมีชีวิตสองชนิดที่อาศัยอยู่ร่วมกันและมีการแข่งขันกันเพื่อใช้ปัจจัยในการดำรงชีวิต จุลินทรีย์ปฏิปักษ์จะมีความสามารถในการเจริญเติบโตแข่งขันกับโรคพืช เพื่อความอยู่รอดได้ดี ทำให้โรคไม่สามารถเจริญเติบโตจนก่อให้เกิดโรคพืช หรือทำให้เกิดโรคน้อยลง เช่น มีความสามารถในการหาอาหารได้ดี เจริญเติบโตครอบครองพื้นที่บนผิวพืชได้เร็ว ทำให้โรคพืชไม่สามารถเจริญแข่งขันเข้าทำลายพืชได้ ยกตัวอย่าง เช่น ราไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma* spp.) เป็นราที่มีความสามารถในการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในดิน เนื่องจากสามารถทนทานต่อสารพิษต่าง ๆ ในดินได้ เช่น สารกำจัดวัชพืช สารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น นอกจากนี้ยังมี

ความสามารถเคลื่อนย้ายและดูดซึมธาตุอาหารจากดินโดยกระตุ้นให้รากเกิดการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มพื้นที่ในดูดซึมธาตุอาหารในดินและสามารถป้องกันการเข้าทำลายของราสาเหตุโรคพืชชนิดอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Benitez et al., 2004; Shi et al., 2016)

2. การทำลายชีวิตหรือปฏิชีวนะ (Antibiosis)

จุลินทรีย์ปฏิปักษ์บางชนิดมีความสามารถในการผลิตสารปฏิชีวนะหรือสารพิษ (toxin) มายับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำลายราก่อโรค เช่นรา *Trichoderma* spp. เป็นราชนิดหนึ่งที่สามารถดูดซับสารอินทรีย์ใช้ในกระบวนการเจริญและยังสามารถปลดปล่อยสารปฏิชีวนะ (antibiosis) ที่เป็นแบบสารระเหย (volatile metabolite) ในกลุ่ม phenylethyl alcohol และการสร้างเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์ในกลุ่ม chitinase และ β–1,3–glucanase ออกมาภายนอกเซลล์ ส่งผลต่อการลดจำนวนลงของราก่อโรค (Mohammad and Zahra, 2013; Błaszczyk et al., 2014; เกษม ส้รอยทอง, 2551) และจากรายงานการวิจัยของ (อนุรักษ์ สันป่าเป้า และคณะ , 2562) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของราเอนโดไฟต์ *T. asperellum* V76–14 ต่อการยับยั้งรา *Sclerotium* sp. LS01 และ *Sclerotium* sp. SZ01 ซึ่งเป็นราสาเหตุของโรคโคนและรากเน่าของพืชหลายชนิดในระดับห้องปฏิบัติการด้วยวิธี dual culture พบว่าราเอนโดไฟต์ *T. asperellum* V76–14 สามารถยับยั้งรา *Sclerotium* sp. LS01 และ *Sclerotium* sp. SZ01 ได้ถึง 79.05 และ 78.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อทดสอบการสร้างสารระเหยโดยวิธี volatile antifungal bioassay พบว่าสามารถยับยั้งได้ 33.89 และ 43.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์สารระเหยด้วย GC/MS พบว่า *T. asperellum* V76–14 มีการสร้างสารระเหยต้านกลุ่ม phenylethyl alcohol อีกทั้งยังสามารสร้างเอนไซม์ chitinase และ β–1,3–glucanase ในน้ำเลี้ยงเชื้อถึง 0.05 และ 0.08 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

3. การเป็นปรสิต (Parasitism)

จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ที่มีคุณสมบัติเป็นปรสิต คือ พวกที่สามารถเข้าไปเจริญอาศัยอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่น และคอยดูดกินอาหาร ทำให้สิ่งมีชีวิตที่ถูกดูดกินอาหารอ่อนแอและตายไป เช่น รา *Trichoderma* เป็นพาราไซด์กับราสาเหตุโรคพืชหลายชนิด โดยการที่รา *Trichoderma* สร้างเส้นใยพันรัดเส้นใยของราสาเหตุโรคพืช แล้วปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาเพื่อสลายผนังเส้นใยก่อนที่จะแทงส่วนของเส้นใยเข้าไปภายในเส้นใยของโรค ใช้อาหารจากภายในเส้นใยของโรค ทำให้กิจกรรมการเจริญของเส้นใยโรคลดลงอย่างมาก (Benitez et al., 2004; Harman et al., 2004; Viterbo et al., 2007; ศิริพรรณ สุขขัง, 2560) เป็นกลไกที่สำคัญในการควบคุมราสาเหตุโรคพืช เอนไซม์ที่ราไตรโคเดอร์มาผลิต เช่น chitinases, proteases, cellulase และ β–1, 3 glucanases (Tang et al., 2001; Whipps, 2001) โดยเอนไซม์จะทำการ

ย่อยสลายผนังเซลล์ แล้วเข้าไปเจริญสร้างเส้นใยภายในเส้นใยของรากอ่อโรค (Viterbo et al., 2007)

4. การชักนำให้เกิดความต้านทานโรค (Induced host resistance)

ความต้านทานโรคที่เกิดขึ้นในพืชสามารถจำแนกตามการเหนี่ยวนำและกลไกลการต้านทานได้ 2 ประเภท คือ ความต้านทานที่พืชมีอยู่แล้ว และความต้านทานที่พืชถูกเหนี่ยวนำให้สร้างขึ้น

4.1 ความต้านทานที่มีอยู่แล้วในพืช (pre–formed resistance หรือ constitutive resistance) หรือลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างของพืช เช่น ความหนาและความแข็งแรงของผนังเซลล์พืชส่วนของชั้นแวกซ์ (wax) และคิวติเคิล (cuticle) ที่ปกคลุมลำต้นและผิวใบ ช่วยในการขัดขวางการแทงเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์และเมลงศัตรูพืช โดยตำแหน่งและจำนวนปากใบมีผลต่อการเข้าของราและแบคทีเรียสาเหตุโรคพืช พืชบางชนิดสามารถสังเคราะห์สารไฟโตแอนทิซิปิน (phytoanticipin) ที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของราหรือแบคทีเรียสาเหตุโรคพืช ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้เป็นเสมือนเป็นเกราะป้องกันชั้นแรกของพืช (Buchanan et al., 2000)

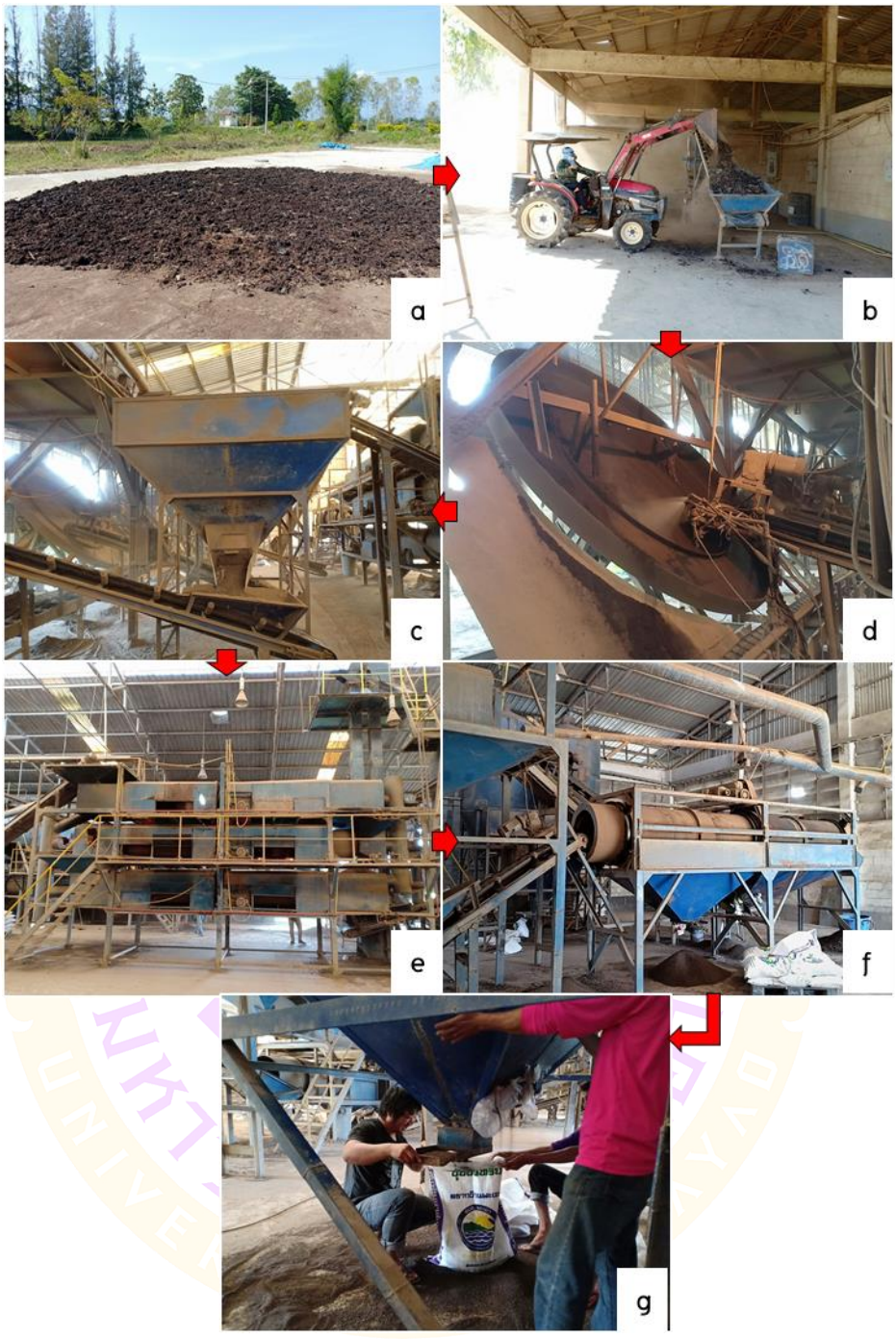
4.2 ความต้านทานที่พืชถูกเหนี่ยวนำให้สร้างขึ้น (induced resistance) เป็นลักษณะความต้านทานที่พืชถูกกระตุ้นให้สร้างขึ้นมาเพื่อป้องกันตัวเองหลังจากจุลินทรีย์และแมลงศัตรูพืชเข้าทำลาย โดยพืชจะถูกเหนี่ยวนำสร้างสารทุติยภูมิขึ้นบางชนิดขึ้นมา ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเช่นสารกลุ่ม ไฟโตอเล็กซิน (phytoalexin) เช่น สาร tannins, phenols และ terpenes เป็นต้น ซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษต่อจลินทรีย์และแมลงศัตรูพืชซึ่งระดับความเป็นพิษของสารกลุ่มไฟโตอเล็กซินจะขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และแมลงสาเหตุนั้น ๆ (Buchanan et al., 2000; War et al; 2012; Kant et al. 2015) ซึ่งการชักนำให้เกิดการต้านทานอาจเกิดเฉพาะที่หรือเกิดทั่วทั้งต้น ขึ้นอยู่กับ ชนิด แหล่ง และปริมาณของสิ่งกระตุ้น (Pal and Gardener, 2006)

การใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในการชักนำหรือกระตุ้นให้พืชเกิดความต้านทานต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ก่อโรค โดยการชักนำให้พืชผลิตสารที่ต่อต้านราสาเหตุโรคตัวอย่างเช่น (Bae, 2011) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ พริก (*Capsicum annuum* L.) ที่เพาะในวัสดุปลูกที่มีเชื้อรา *T. theobromicola* Samuels and H.C. Evans ไอโซเลต DIS 376f และ *T. stilbohypoxyli* Samuels and Schroers ไอโซเลต DIS 259j ซึ่งเป็นเอนโดไฟต์ของ Cola praeacuta Brenan & Keay และโกโก้ (*Theobroma cacao* L.) ตามลำดับ หลังจากย้ายต้น กล้าพริกมาปลูกลงในดินที่มีเชื้อรา *Phytophthora capsici* Leonian พบว่า ต้นพริกมีการเกิดโรคโคนเน่าที่ช้าลงและตรวจพบยีนหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรค ได้แก่ (1) ยีนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสารส่ง

สัญญาณการกระตุ้น ความต้านทานของพืชได้แก่ jasmonic acid, salicylic acid และ mitogen-activated protein kinase 4 (2) ยีนที่ผลิตโปรตีน PR-1 ซึ่งเป็น PR – Protein ที่ยัง ไม่สามารถระบุชนิดและหน้าที่อย่างชัดเจนได้ แต่จัดเป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานโรคของพืชต่อเชื้อรา ใน class Oomycetes (Van Loon et al., 2006) และ (3) ยีนที่สร้างสารในกลุ่ม sesquiterpene ซึ่งมีฤทธิ์ต่อ เชื้อราโดยการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ และยับยั้งการทำงาน ของ ATPase ของไมโทคอนเดรีย (Lunde and Kubo, 2000) และสามารถสร้างสารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของช่วยในการกระตุ้นให้พืชสร้างภูมิคุ้มกันหรือต้านทาน จากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ก่อโรค (ศิริพรรณ สุขขัง, 2560)

การผลิตและกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา โดยมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ การลดความชื้นของวัตถุดิบแล้วนำวัตถุดิบมาตีป่นให้ละเอียดบรรจุลงกระสอบ ตามอัตราส่วนผสม ขั้นตอนที่ 2 การผสมวัตถุดิบคลุกเคล้าให้เข้ากันในเครื่องผสมปุ๋ยแบบริบบิ้น ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการปั้นหรือขึ้นรูปเม็ดปุ๋ย โดยการนำส่วนผสมจากขั้นตอนที่ 2 มาทำการขึ้นรูปด้วยจานปั้นเม็ด (pan granulator) และมีการฉีดน้ำและสารแขวนลอยสปอร์ (spore suspension) เพื่อให้ปุ๋ยจับตัวเป็นเม็ดกลม จากนั้นถูกลำเรียงด้วยสายพานไปยัง ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนการลดความชื้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ด้วยความร้อนจากเตาเผาไฟที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเพลิงเผาไหม้ จำนวน 2 ครั้ง เม็ดปุ๋ยจะถูกลำเรียงผ่านท่ออบร้อนไปสู่ท่ออบเย็น ไปยังขั้นตอนที่ 5 เป็นขั้นตอนการคัดแยกเม็ดปุ๋ย และถูกลำเรียงไปยัง ไซโลเพื่อรอบรรจุลงกระสอบ และขั้นตอนสุดท้าย คือ ขั้นตอนที่ 5 เป็นขั้นตอนการบรรจุเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ลงในกระสอบผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ (ภาพ 1)



ภาพ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในสายพานการผลิตของโรงงานปุ๋ย

หมายเหตุ: (a = ขั้นตอนการลดความชื้นวัตถุดิบ, b = ขั้นตอนการลดขนาดวัตถุดิบ, c = เครื่องผสมปุ๋ยแบบริบบิ้น, d = การขึ้นรูปด้วยจานปั้นเม็ด (pan granulator), e = ขั้นตอนการลดความชื้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์, f = ขั้นตอนการคัดแยกเม็ดปุ๋ย, g = การบรรจุเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ลงในกระสอบผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์)

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

ปัจจุบันมีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น และมีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์กันอย่างแพร่หลาย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ดังนั้นกรมวิชาการเกษตร กำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพและปลอดภัย โดยคุณสมบัติตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร ดังตาราง 1 (กรมวิชาการเกษตร, 2555)

ตาราง 1 แสดงรายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้น และสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรขึ้นไป ไม่เกินร้อยละ 2 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 ratio)	ไม่เกิน 20:1
8	ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (โดยน้ำหนัก)	1. ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ 2. ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ 3. โพแทสเซียม (Total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	ไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
11	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2555

พริกขี้หนู

พริกขี้หนู ชื่อวิทยาศาสตร์ *Capsicum armuum* Linn. อยู่ในวงศ์ Solanaceae มีถิ่นกำเนิดในพื้นที่เขตร้อนของอเมริกากลาง ได้แก่ ประเทศเม็กซิโกและประเทศใกล้เคียง และได้กระจายไปยังประเทศยุโรป ทวีปเอเชียและแอฟริกา พริกเป็นพืชไม้พุ่มขนาดเล็กปลูกเป็นพืชฤดูเดียวหรือหลายฤดู สูง 0.5–1.5 เมตร ใบเดี่ยวออกตรงหรือสลับ ลักษณะใบเป็นรูปไข่ กลมรีหรือรูปวงรี ปลายใบแหลม โคนใบเฉียง ขอบใบเรียบ ใบมีขนาดกว้างประมาณ 2–4 เซนติเมตร และยาวประมาณ 3–8 เซนติเมตร แผ่นใบเรียบเป็นสีเขียวมันวาว ก้านใบยาวประมาณ 4–7 เซนติเมตร ดอกเดี่ยวสีขาว เกิดที่ซอกใบ ดอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.2–3.5 เซนติเมตร มีกลีบดอกประมาณ 5–7 กลีบ กลีบดอกเป็นสีขาว หรือสีเขียวอ่อน เกสรเพศผู้จะมีอยู่ 5 อัน เกสรเพศเมียมีเพียง 1 อัน ผลรูปทรงกระบอกยาว ปลายเรียวแหลมยาวประมาณ 6–9 เซนติเมตร ผิวมันสีเขียว เมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีส้มแดงหรือเป็นสีแดง เมล็ดแบนสีขาวหรือสีเหลืองอ่อนขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร มีจำนวนมาก (MedThai, 2557)

ผลพริกสด 100 กรัม ให้พลังงาน 72 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย น้ำ 84.0 กรัม โปรตีน 2.8 กรัม ไขมัน 2.3 กรัม คาร์โบไฮเดรต 10.1 กรัม แคลเซียม 3 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 18 มิลลิกรัม เหล็ก 1.3 มิลลิกรัม ไทอะมิน 0.16 มิลลิกรัม ไนอะซิน 3.5 มิลลิกรัม วิตามินซี 168 มิลลิกรัม พริกชี้ฟ้าเขียว 100 กรัม ให้พลังงาน 53 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย น้ำ 85.2 กรัม โปรตีน 1.5 กรัม ไขมัน 0.5 กรัม คาร์โบไฮเดรต 10.6 กรัม ฟอสฟอรัส 27 มิลลิกรัม เหล็ก 0.5 มิลลิกรัม วิตามินเอ 192 มิลลิกรัม ไทอะมิน 0.07 มิลลิกรัม ไนอะซิน 0.1 มิลลิกรัม วิตามินซี 204 มิลลิกรัม (Nutrition and you, 2018; อาหารเสริมสมุนไพร แชมป์ออฟแชมป์, 2560)

พริกเป็นพืชผักสวนครัวที่สำคัญนิยมนำมาใช้ในการปรุงแต่งรส ทั้งแบบสด แห้ง แปรรูปในทางอุตสาหกรรม และเป็นสารประกอบในตัวยาที่สำคัญ ในทางสมุนไพรพริก ช่วยในการขับลม กระตุ้นการทำงานของกระเพาะอาหาร ทำให้เจริญอาหาร มีฤทธิ์ระคายเคืองทำให้เลือดมาเลี้ยงบริเวณที่สัมผัสมากขึ้น ช่วยลดการอักเสบ แก้อาเจียน แก้บิด แก้หิด กลากเกลื้อน บำรุงสายตา เสริมสร้างภูมิต้านทาน ช่วยลดน้ำตาลในเลือด ช่วยให้ระบบไหลเวียนเลือดดีขึ้น ช่วยควบคุมคอเลสเตอรอล ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง ช่วยป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ บำรุงธาตุ ช่วยขับลม ช่วยลดความเสี่ยงโรคมะเร็ง ช่วยลดความเสี่ยงโรคหัวใจ เป็นต้น (รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540; ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2554b; หมอชาวบ้าน, 2551)

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในผลพริกขี้หนู

1. แคปไซซิน (capsaicin)

แคปไซซิน (capsaicin) เป็นสารกลุ่มอัลคาลอยด์หรือกลุ่มแคปไซซินอยด์ที่พบตามธรรมชาติในพริกส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณเนื้อเยื่อแกนกลางของผลพริก หรือเรียกว่ารก (placenta) ส่วนของเนื้อผลพริก เปลือกผล และเมล็ดจะมีสารแคปไซซินอยู่น้อยมาก ผลของพริก เป็นสารสำคัญที่ทำให้พริกมีรสเผ็ด สารในกลุ่มแคปไซซินอยด์ (capsicinoids) โดยทั่วไปแคปไซซินอยด์จะประกอบด้วยแคปไซซิน 70 เปอร์เซ็นต์ และไฮโดรแคปไซซิน 22 เปอร์เซ็นต์ และสารอื่น ๆ อีก 8 เปอร์เซ็นต์ แคพไซซินมี สูตรโมเลกุล C_{18} H_{23} NO_3 โครงสร้างเคมีคือ 8-methyl-n-vanillyl-6-noneamide ปริมาณแคปไซซีนจะแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธุ์พริก เช่น พริกขี้หนู 18.2 ppm พริกเหลือง 16.7 ppm พริกชี้ฟ้า 4.5 ppm พริกหยวก 3.8 ppm พริกหวาน (พริกยักษ์) 1.6 ppm (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2554b) คุณสมบัติของแคปไซซีน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายในน้ำได้เล็กน้อย และละลายได้ในไขมันน้ำมัน และแอลกอฮอล์ได้ดี มีจุดหลอมเหลว 65 องศาเซลเซียส ทนความร้อนและความเย็นได้ดี

พริกขี้หนูสามารถบริโภคได้หลายรูปแบบขึ้นกับวัฒนธรรมการบริโภคของแต่ละพื้นที่ โดยมีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น เครื่องแกง ซอสพริก และน้ำพริก เป็นต้น (ศุกฤชชญา เหมะธุลิ และ สุชีลา เตชะวงค์เสถียร, 2560) แคปไซซิน (capsaicin) อีกทั้งยังมีประโยชน์ทางด้านเภสัชหลายประการ อาทิ บรรเทาอาการปวดเมื่อย ปวดข้ออักเสบ (arthritic) มีส่วนช่วยชะลอความเสื่อมของร่างกาย ซึ่งเป็นบทบาทหนึ่งของการบกป้องร่างกายจากมะเร็ง และเสริมภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายได้อีกทางหนึ่งด้วย ปัจจุบันนิยมสกัดมาใช้ประโยชน์โดยทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ Cayenne ในรูปแคปซูล ใช้เพื่อฆ่าแบคทีเรียในกระเพาะอาหาร เจล โลชั่น ครีม พลาสเตอร์ เป็นยาทาใช้ภายนอกเพื่อลดอาการปวดเมื่อย ข้ออักเสบ และโรคผิวหนัง เป็นต้น (Araceli Pena-Alvarez, 2009; Bosland and Votava, 2012; Dasa et al., 2016; ลลิตา ธีระสิริ, 2542; สุชีลา เตชะวงค์เสถียน)

2. แคโรทีนอยด์ (Carotenoid)

แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มรงควัตถุ หรือสารสี (pigment) ที่พบในพืชสี แดง สีเหลือง สีส้ม และสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ทำงานร่วมกับคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีเขียว ทำหน้าที่ ดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อการสังเคราะห์แสงและช่วยการเจริญเติบโตของพืช และป้องกันอันตรายจากแสง (photoprotective agents) ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็นสีผสมอาหาร (food color) จากธรรมชาติ เป็นกลุ่มสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกาย ช่วยต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) แคโรทีนอยด์มีสมบัติไม่ละลายน้ำ

แต่ละลายได้ดีในน้ำมัน และตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซิโตน (acetone) แอลกอฮอล์ (alcohol) ไดเอทิลอีเทอร์ (dietyl ether) และ คลอโรฟอร์ม (chloroform) เป็นต้น (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2554c) รงควัตถุแคโรทีนอยด์ (carotenoid) มีสารสีที่สำคัญ ได้แก่ แคปแซนทิน (capxanthin) ซึ่งเป็นสารคีโตแคโรทีนอยด์ (ketocarotenoid, C40H58NO3), แคปโซรูบิน (capsorubin), นีโอแซนทิน (neoxanthin), ไวโอลาแซนทิน (violaxanthin), เซียแซนทิน (zeazanthin), ลูเทอิน (lutein) และบีตาแคโรทีน (B-carotene) แคโรทีนอยด์นี้ก็คือรูปแบบหนึ่งของสารแคโรทีน โดยมีการรวมตัวกับออกซิเจนทำให้เป็นแคโรทีนอยด์ ในพริกจะมีเบต้า-แคโรทีนมากกว่าแอลฟ่าแคโรทีน สารบีตา-แคโรทีนนี้มีประโยชน์ต่อร่างกายมาก กล่าวคือ เมื่อถูกย่อยในลำไส้เล็กแล้ว จะกลายเป็น เรตินอลซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของวิตามินเอ และจะถูกเก็บสะสมไว้ในตับเพื่อนำไปใช้ในคราวจำเป็น เบต้า-แคโรทีน เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และยังช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน และช่วยให้ระบบสืบพันธุ์ทำงานได้ดี

3. เบต้าแคโรทีน (Beta-Carotene)

เบต้า-แคโรทีน (beta-carotene) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นรงควัตถุประกอบที่ช่วยในการสังเคราะห์แสง กลุ่มรงควัตถุสีแดง สีส้ม สีเหลือง เช่นสีแดงของผลพริก อยู่ในกลุ่มแคโรทียอยด์ พบมากในพืชและผลไม้ เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (pro vitamin A) เพราะสามารถเปลี่ยนรูปเป็นเรตินอล (retinol) ได้ที่เยื่อบุผนังลำไส้เล็กและตับ (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2554a; อุษาพร ภูคัสมาส, 2558) ประโยชน์ของเบต้าแคโรทีน คือเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ และสามารถช่วยมองเห็นในที่มืดได้ดี ลดความเสื่อมของเซลล์ของลูกตา ลดความเสี่ยงต่อการเป็นต้อกระจก ป้องกันรังสีอันตร้าไวโอเล็ต ช่วยเสริมภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย ป้องกันโรคหลอดเลือดแข็งตัว และโรคจอประสาทตาเสื่อม (Muntean, 2005) และยังพบว่าในผลพริกแดงยังมีปริมาณเบต้าแคโรทีนหรือวิตามินเอมากถึง 6 เปอร์เซ็นต์ เพียงแค่ 2 ช้อนชาและยังช่วยในเรื่องการเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย ช่วยลดติดก่อโรคในมนุษย์ได้ดีอีกด้วย (The World's Healthiest Foods, 2018)

4. สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) หรือสารประกอบฟีนอล เป็นสารเป็นกลุ่มสารทุติยภูมิที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่ว เมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอลมีโภชนเภสัช ซึ่งสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลิสระ (antioxidant) (Balasundram, 2006; Pathirana and Shahidi, 2005; ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2554d) สามารถละลายได้ในน้ำสารประกอบฟีนอลที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของ

น้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่น ๆ เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น สารประกอบฟีนอล พบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) ในส่วนต่าง ๆ ของพืช เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2554d)

สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagrns) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพสามารถการป้องกันโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอล จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่น ๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระจะถูกทำลายไปด้วย ใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation)

ความสำคัญของโรคแอนแทรคโนส และโรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium* wilt) ในพริก

1. โรคแอนแทรคโนส (Anthracnose) เกิดจากรา *Colletotrichum* spp. สามารถระบาดได้ทั่วทุกภาคของประเทศและสามารถเข้าทำลายผลพริกได้เกือบทุกสายพันธุ์ทำให้เกิดความเสียหายด้านคุณภาพและปริมาณผลผลิต โดยเชื้อสาเหตุโรคสามารถเข้าทำลายได้ทุกระยะการเจริญเติบโตของพืช (ศักดิ์ สุนทรสิงห์, 2537) และเกิดขึ้นก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (บุญญวดี จิระวุฒิ, 2540) ในประเทศไทยพบเชื้อสาเหตุสำคัญคือ *C. acutatum*, *C. gloeosporioides* (Penz.) Penz. And Sacc. และหรือ *C. capsici* (Syd.) E.J. Butler & Bisby (ธารทิพย์ ภาสบุตร และคณะ, 2548) นอกจากนี้ยังพบกระจายอยู่ทั่วโลกโดยเฉพาะในเขตอบอุ่นถึงเขตร้อน ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมากต่อการผลิตพริกเป็นการค้า เพราะสร้างความเสียหาแก่ผลผลิตให้เกิดความเสียหายในผลพริกตั้งแต่ระยะผลยังมีสีเขียวอยู่ จนถึงระยะเปลี่ยนสี อาการเริ่มแรกเมื่อสาเหตุเข้าทำลายจะเกิดจุดฉ่ำน้ำเล็ก ๆ ต่อมาแผลจะขยายออกมาเป็นวงรีหรือกลม เกิดเป็นวงเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ซึ่งมองเห็นลักษณะของราบนเนื้อเยื่อพืช บริเวณแผลมีส่วนขยายของสีดำ หรือสีส้มอ่อน ภายในบรรจุสปอร์ของราอยู่เต็ม ในเวลาที่อากาศ มีความชื้นสูง สปอร์ที่บรรจุอยู่ภายในจะแตกออกมาจากปุ่มเหล่านี้ สปอร์มีสีส้มอ่อน ๆ ซึ่งปูด

ออกมาคล้ายหยดน้ำ บางแผลจะเห็นเส้นใยสีดำสั้น ๆ เจริญขึ้นมาเหมือนหนามอยู่ปนกับสปอร์ของราบนปุ่มเหล่านั้น สีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสาเหตุ ส่วนมากโรคจะเกิดที่ผล ตำแหน่งที่เกิดจะอยู่ที่ ไหล่ผล กลางผล หรือปลายผล เมื่อผลพริกเกิดโรคในช่วงที่ผลมีสีเขียว ผลจะไม่สมบูรณ์ และเมื่อเกิดในระยะที่พริกเปลี่ยนสีผลจะหลุดร่วง ซึ่งจะทำให้กระจายได้เร็วขึ้น ผลจะแดงหรือแก่เต็มที่ และเมื่อนำไปตากแห้งก็มักจะเกิดการเน่ามากขึ้นอีกในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้พริกที่เก็บ ไว้ทั้งหมดเน่าเสียหาย ทั้งนี้เป็นเพราะรายังมีชีวิตอยู่ในแผลเหล่านั้น เมล็ดพริกจากผลที่เป็นโรคนี้จึงไม่ควรนำไป เก็บไว้ทำพันธุ์ต่อไป หากเกิดโรคกับผลอ่อน เซลล์บริเวณแผลที่ถูกทำลายจะหยุดชะงักการเจริญ ส่วนรอบ ๆ แผลที่ไม่ถูกทำลายจะเจริญออกไปเรื่อย ๆ ทำให้ผลเกิดอาการโค้งงอบิดเบี้ยว การระบาดของโรคจะเกิดขึ้นเฉพาะกับผลพริก แต่ในกรณีที่มีการระบาดรุนแรงและสภาพแวดล้อมเหมาะสมอาจจะ เข้าทำลายลำต้นและใบได้ ระบาดมากในฤดูฝนหรือในสภาพความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิระหว่าง 27–32 องศาเซลเซียส (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557; อรพรรณ วิเศษสังข์ และ จุมพล สาระนาค, 2558) การเข้าทำลายของราสาเหตุ *Colletotrichum* spp. โดยราสาเหตุจะปลิวไปตามลมหรือฝนชะล้างหรือติดกับเครื่องมือเพาะปลูกไปยังต้นพริกโดย conidia ของราจะเข้าไปติดกับผนังของเนื้อเยื่อพริกและจากนั้นจะเข้าทำลายเนื้อเยื่อพริก (Prusky et al., 2000)

2. โรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium* wilt) โรคเหี่ยวเหลือง หรือโรคเหี่ยว *Fusarium* wilt เป็นโรคที่เกิดจากราในดิน เกิดจากรา *Fusarium* spp. ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจที่สำคัญสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์และการปลูกพริกเชิงเศรษฐกิจ มีรายงานว่ารา *Fusarium solani* ทำให้โรคเหี่ยวในพริกซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตพริกในหลายประเทศทั่วโลก (Madhavi et al., 2006; Rani et al., 2009) เนื่องจากนี้ยังมีรายงานว่า รา *F. oxysporum* f.sp. *capsici* สามารถเข้าทำลายต้นพริกได้ทุกระยะการเจริญเติบโต โดยอาการของโรคจะทำให้ต้นพริกเหี่ยวช้า ๆ ใบที่อยู่ส่วนโคนจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และร่วง ต่อมาจะเหี่ยวทั้งต้นและแห้งตายในที่สุด และเมื่อใช้มีดปาดดูผิวของลำต้นส่วนโคนต้นบริเวณระดับเหนือดินให้ลึกถึงท่อน้ำท่ออาหาร จะพบว่าท่อน้ำท่ออาหารจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงและจะลามไปยังส่วนรากด้วย (Sahi and Khalid, 2007; อรพรรณ วิเศษสังข์ และ จุมพล สาระนาค, 2558)และสามารถสร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศในการแพร่กระจายโรคได้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสายพันธุ์พริกให้ต้านทานโรคมากขึ้น แต่ยังสามารถเข้าทำลายต้นพริกได้ทุกระยะการเจริญเติบโตและยังสามารถพัฒนาสายพันธุ์ให้ต้านทานต่อพันธุ์พริกและสารเคมีควบคุมโรค ได้แก่ Ridomil Gold, Carbandazim, Metalaxyl และ Mancozeb (Sitara and Hasan, 2011) แต่เนื่องจากการใช้สารเคมี

อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้และทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและการควบคุมทางชีวภาพเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการจัดการโรคเหี่ยว (Mohiddin et al., 2010)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก และเฉลิมชัย แพะคำ, 2555) ได้ทำการศึกษาผลของจุลินทรีย์ท้องถิ่นในกระบวนการผลิตหมักปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวและป้องกันการเกิดโรคใบไหม้ในข้าว พบว่าต้นข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าเฉลี่ยด้านการเจริญเติบโตมากที่สุดทั้งด้านความสูง จำนวนใบ และจำนวนต้นต่อกอ เท่ากับ 54.11 เซนติเมตร 18.08 ใบ และ 6.26 ต้น ตามลำดับ ส่วนจำนวนรวงต่อกอ พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยหมักชีวภาพที่ไม่มีจุลินทรีย์ท้องถิ่น ปุ๋ยหมักชีวภาพที่มีจุลินทรีย์ท้องถิ่น และใส่ปุ๋ยเคมีให้ปริมาณจำนวนรวงต่อกอที่ไม่แตกต่างกัน ทางด้านผลผลิต พบว่าปริมาณจำนวนเมล็ดต่อรวงและน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 4 กรรมวิธี ส่วนการเกิดโรคใบไหม้ของข้าว พบว่า ต้นข้าวที่ใส่ปุ๋ยหมักชีวภาพที่มีจุลินทรีย์ท้องถิ่นมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยที่สุด เท่ากับ 0.72 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าต้นข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคมากที่สุด เท่ากับ 2.08 เปอร์เซ็นต์

(นิชรัตน์ ศรีโสภณ และคณะ, 2558) ได้ทำการศึกษา จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลส เฮมิเซลลูเลสที่ย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา และศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักจากปุ๋ยหมักผักตบชวา จากการทดลองสามารถแยกราได้ทั้งหมด 92 ไอโซเลท และเมื่อนำราทั้งหมดไปทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ พบว่าราที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสมากที่สุด คือ รา *Aspergillus flavus* (UPNCH-44) รองลงมาคือ รา *A. flavus* (UPNCH-66) และ *Aspergillus candidus* (UPNCH-33) :ซึ่งมีค่า Potency index (PI value) เท่ากับ 3.63, 2.77 และ 2.11 ตามลำดับ และราที่ผลิตเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสมากที่สุดคือ รา *A. flavus* (UPNCH-66) รองลงมาคือ รา *Trichoderma* sp. (UPNCH-64) และ *A. candidus* (UPNCH-33) มีค่า Potency index (PI value) เท่ากับ 3.21, 3.03 และ 2.71 ตามลำดับ เมื่อนำจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดมาย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา พบว่าปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายโดยรา *A. candidus* (UPNCH-33) มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.57 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่มีความแตกต่างกัน

(เฉลิมชัย แพะคำ และคณะ, 2557) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติและธาตุอาหารหลักของพืชจากปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลาย โดยรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท UPPY19 โดยทำการหมักและสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวา (10, 20, 30, 40, 50 และ 60 วัน) พบว่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณ

ไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ธาตุโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 9.00, 5.00 เดซิซิเมนต่อเมตร, 52.73 เปอร์เซ็นต์, 47.29, 21.03 กรัมต่อกิโลกรัม, 46.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 33.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อตรวจวัดปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส ไซแลนเนส โปรติเอส และยูรีเอส พบว่าปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายด้วยรา *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

(กนิษฐา ทองเกล็ด และคณะ, 2559) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของรายย่อยสลายผักตบชวา 3 ชนิดได้แก่ รา *Mucor ellipsoideus, Rhizopus oryzae* และ *Trichoderma harzianum* ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิ (25–45 องศาเซลเซียส) ความเป็นกรด–ด่าง (4.0–7.5) แหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน และวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีหลังจากนาน 7 วัน พบว่ารา *M. ellipsoideus* และ *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในขณะที่รา *T. harzianum* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ส่วนผลของความเป็นกรด–ด่าง (pH) พบว่า *M. ellipsoideus* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในระดับ pH 7.0, *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในระดับ pH 7.5 และ *T. harzianum* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในระดับ pH 6.0 และผลของแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน พบว่า *M. ellipsoideus* และ *T. harzianum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดบนอาหารที่มี fructose เป็นแหล่งคาร์บอน ในขณะที่รา *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในอาหารที่มี sucrose เป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต พบว่ารา *M. ellipsoideus* เจริญได้ดีที่สุดในอาหารที่มี peptone เป็นแหล่งไนโตรเจน ในขณะที่รา *R. oryzae* และ *T. harzianum* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในอาหารที่มี KNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจน

(สุรพงค์ คุณา และคณะ, 2559) ได้ทำการศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ได้จากการย่อยสลายของรา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์จานวน 8 กรรมวิธี ทำการหมักและสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวา (30, 45 และ 60 วัน) เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมี พบว่า กรรมวิธีการหมักปุ๋ยด้วยรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* นาน 60 วัน และกรรมวิธีการหมักปุ๋ยด้วยรา *M. ellipsoideus* + *T. harzianum* นาน 30 วัน ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพโดยรวมดีที่สุด โดยมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 0.87 เปอร์เซ็นต์ และ 0.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายโดยรา *R. oryzae* + *T. harzianum* นาน 60 วัน มีการย่อยสลาย

ผักตบชวาได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสน้อยที่สุด เท่ากับ 13.33 เปอร์เซ็นต์ และ 11.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลาดับ

(พรอุมา เซ่งแซ่ และคณะ, 2556) ได้ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมในการปลูกพริกชีอินทรีย์ โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 1 ตันต่อไร่ กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 2 ตันต่อไร่ กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 3 ตันต่อไร่ กรรมวิธีที่ 5 ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 4 ตันต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 6 ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 5 ตันต่อไร พบว่า ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจึงส่งผลต่ออัตราผลผลิตที่ต่ำ ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองพบว่ามีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์การขอขึ้นทะเบียนกรมวิชาการเกษตร ปี 2555 ส่วนการเจริญเติบโตของพริก พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 5 ตันต่อไร่ ให้การเจริญเติบโตด้านความสูง และทรงพุ่มของพริกชี ที่อายุ 180 วัน หลังปลูกสูงที่สุด ส่วนปริมาณผลผลิต พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 4 ตันต่อไร่ ให้ผลพริกสูงที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยผลผลิตเฉลี่ยในปีที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 896.00, 453.90 และ 376.20 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ให้น้ำหนักสด 100 ผล สูงสุดเท่ากบั 115.54,131.67 และ112.90 กรัม ตามลำดับ และน้ำหนักแห้ง 100 ผล สูงสุดเท่ากับ 26.55, 30.84 และ 22.44 กรัม ตามลำดับ และในส่วนปริมาณสารแคปไซซินพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิต

(Sharda and Girish, 2014) ได้ทำการศึกษาอัตราเจริญเติบโตของข้าวสาลี (*Triticum vulgare)* ในระยะเวลา 15 วัน โดยเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยหมักผักตบชวากับชุดควบคุม ทำการเก็บข้อมูล ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวของหน่อ ความยาวราก อัตราส่วนมวลชีวภาพ และส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณโปรตีน ปริมาณน้ำตาล และได้ศึกษาปริมาณธาตุอาหารในดินได้แก่ ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความชื้นและปริมาณอินทรียวัตถุ ผลการทดลองพบว่า ข้าวสาลีที่ใส่ปุ๋ยหมักจากผักตบชวามี เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวของหน่อ ความยาวราก อัตราส่วนมวลชีวภาพ และส่วนประกอบทางเคมี สูงกว่าชุดควบคุม และผลวิเคาระห์ดินพบว่าดินที่มีส่วนผสมของปุ๋ยหมักผักตบชวามีความเป็นกรด-ด่าง ความชื้นและปริมาณอินทรียวัตถุดีกว่าชุดควบคุม ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการปลูกพืชระบบอินทรีย์

(Talkah, 2015) ได้ศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์หมักจากผักตบชวาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของเผือก โดยเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ การเจริญเติบโต (ความสูง จำนวนใบ พื้นที่ใบ) และผลผลิต (น้ำหนักสด) จากการทดลองพบว่าปุ๋ยอินทรีย์หมักจากผักตบชวามีผลต่อ

การเจริญเติบโต (ความสูง จำนวนใบ พื้นที่ใบ) เมื่อต้นเผือกอายุ 30, 60, 90 วันหลังปลูก เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์หมักจากผักตบชวาจำนวน 20 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งมีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 2.77 กิโลกรัม แต่ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หมักจากผักตบชวาจำนวน 15 ตันต่อเฮกตาร์ โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับน้ำหนัก 2.69 กิโลกรัม

(Porras et al., 2009) ได้ทำการประเมินการใช้ *Trichoderma* spp. สำหรับการควบคุมโรคแอนแทรคโนสแบบชีวภาพ ในการทดลองสตรอเบอร์รี่ในแปลงปลูก โดยใช้ *Trichoderma* spp. (10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร) โดยนำรากสตรอเบอร์รี่แช่ในสารแขวนลอยสปอร์ *Trichoderma* (10^6 conidia/ml) ก่อนนำไปปลูก ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ 4 ซ้ำ ปลูกในแปลงขนาด 12.5 x 3.3 เมตร จำนวน 3 แปลง ทำการเพาะเมล็ดในเรือนเพาะชำในช่วงเดือนตุลาคม ทำการตรวจหา *Colletotrichum* spp. ที่สาเหตุของโรคแอนแทรคโนส ภายในเรือนเพาะชำส่วนใหญ่จะตรวจพบในปีที่สอง แต่ยังไม่พบการระบาดมากในส่วนพื้นที่การผลิตยังพบการระบาดของโรคซึ่งทำให้ตาย ในฤดูใบไม้ร่วงและฤดูใบไม้ผลิต่อไป การใช้รา *Trichoderma* สารมาลดการเกิดโรคแอนแทรคโนสและส่งผลให้อัตราการตายของพืชลดลง

(Lia et al., 2020) ได้ทำการศึกษาการอยู่ร่วมได้ของรา *Trichoderma atroviride* SG3403 และ *Bacillus subtilis* 22 ในผลิตภัณฑ์ควบคุมเชื้อโดยหาวิธีการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางสถิติให้เหมาะสมในอาหารเลี้ยงเชื้อและสภาวะการหมัก ผลพบว่าจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดสามารถอยู่ร่วมกันได้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบ 214 rpm, pH 6.8 ในอาหารที่มีส่วนผสมของยีสต์สกัด 10 กรัมต่อลิตร และกากน้ำตาล 27.6 กรัมต่อลิตร และสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *F. graminearum* ถึง 54.22 เปอร์เซ็นต์ และสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตพืช อีกทั้งการหมักร่วมกันของจุลินรีย์ทั้งสองชนิดมีผลดีกว่าการหมัก *T. atroviride* SG3403 หรือ *B. subtilis* 22 เพียงอย่างเดียว

(Moyaa et al., 2020) ได้ทำการคัดเลือกชนิดราจากส่วนรากและเมล็ดข้าวฟ่างจากตัวอย่างที่เก็บจาก เมือง Buenos Aires province, (namely Tres Arroyos, Bordenave, Bolívar and Barrow). ประเทศอาเจนติน่า โดยพบ *Trichoderma* spp. 8 สายพันธุ์ ทำการจำแนกลักษณะสัณฐานวิทยาตามเทคนิคของ Samuels et al. (2006) และ molecular techniques และทำการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคพืชระดับห้องปฏิบัติการและทดสอบความสามารถการควบคุมโรคและการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในระดับโรงเรือน พบว่าในระดับห้องปฏิบัติการ *Trichoderma* spp. สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. teres* ถึง 18 – 54 เปอร์เซ็นต์ เทียบเท่ากับชุดควบคุม ระยะต้นกล้าสามารถควบคุมได้ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. ทุกไอโซเลต ลดการเกิดโรคที่เกิดจากเชื้อรา *Pyrenophora*

teres ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ สำหรับต้นกล้าข้าวบาร์เลย์สามารถลดความรุนแรงถึง 77 เปอร์เซ็นต์ ระยะต้นกล้า 70 เปอร์เซ็นต์ ตาลำดับ และสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้

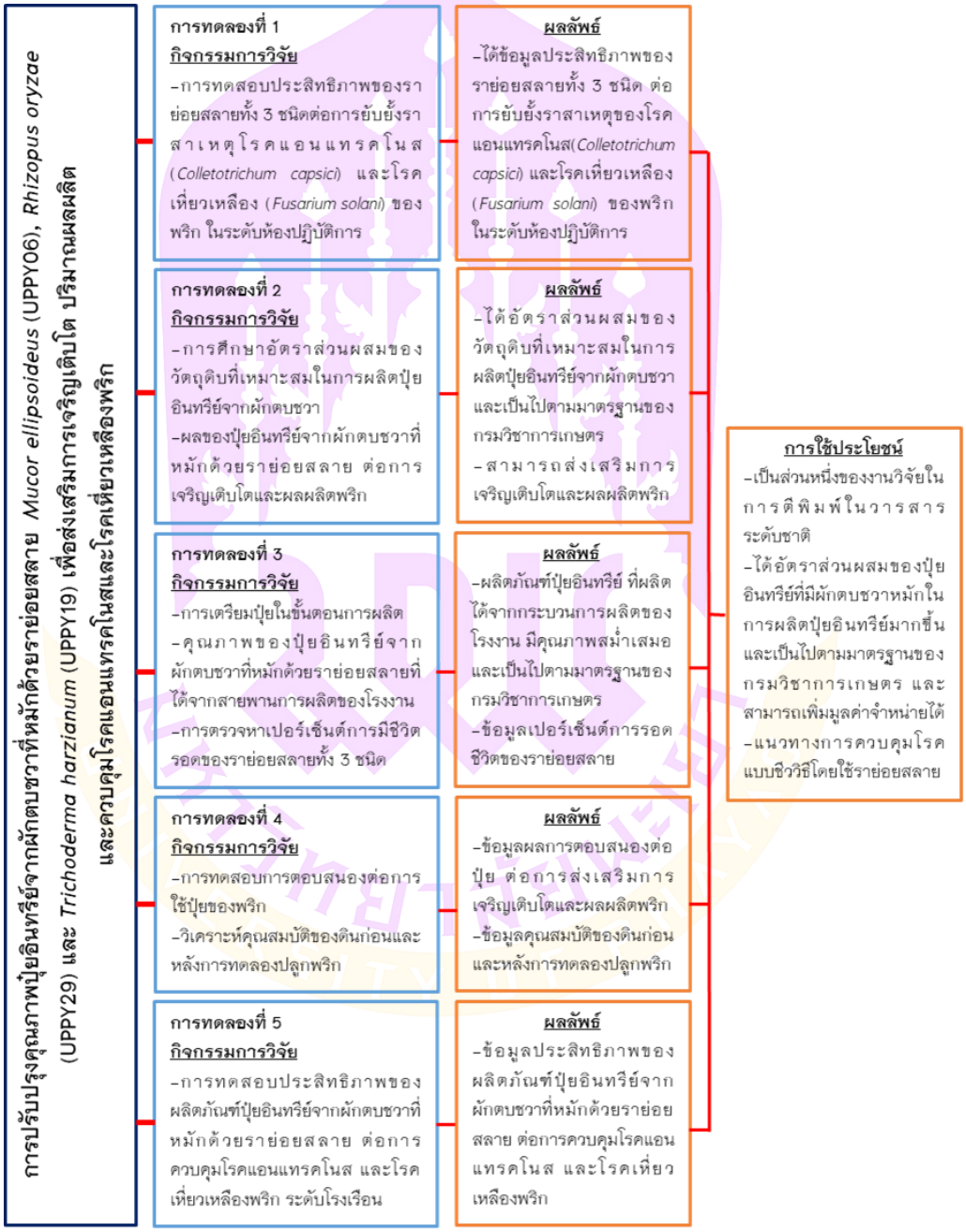
(Rivera al., 2020) ได้ทำการศึกษาความสามารถของเราเชื้อ *T. asperellum* ในการควบคุมเชื้อรา *Sclerotium cepivorum* (BCC1) โดยทำการทดสอบด้วยเทคนิค dual culture และบนกระดาษ cellophane โดยทำการทดสอบบนอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าสามารถรา *T. asperellum* สามารถยับยั้งการเจริญได้ถึง 81 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และระดับโรงเรือนพบว่ารา *T. asperellum* สามารถลดการเกิดโรคได้ถึง 74 เปอร์เซ็นต์ และระดับแปลงโดยทำการทดสอบในเมือง Tierra Blanca และ Llano Grande พบว่าเชื้อรา *T. asperellum* (BCC1) สามารถลดการเกิดโรคเน่าในระดับแปลงได้ถึง 3.41 และ 3.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการควบคุมด้วยสารเคมี เท่ากับ 20.4 เปอร์เซ็นต์

(Zapata–Sarmiento et al., 2020) ได้ทำการศึกษาชนิดของเชื้อรา *Stemphylium vesicarium* ที่ทำให้เกิดโรคใบไหม้บนหอมและประเมินศักยภาพของรา *Trichoderma asperellum* ในการควบคุมเชื้อรา *S. vesicarium* ในระดับห้องปฏิบัติการโดบใช้รา 3 ชนิด ได้แก่ *T. asperellum* ในมะม่วง (Tm), *T. asperellum* มะเขือเทศ (Tt) และ *T. asperellum* หัวหอม (To) ด้วยเทคนิค dual culture พบว่า *T. asperellum* ทั้ง 3 ชนิดสามารถยับยั้งการเจริญเของเชื้อรา *S. vesicarium* ได้ถึง 54 และ 61 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนการทดสอบด้วยเทคนิค poisoned food technique สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. vesicarium* ได้ถึง 61 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนสปอร์ของเชื้อราลดลงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ โดยไอโซเลต To สามารถการเจริญของเชื้อราได้มากสุด รองลงมาคือ Tt และ Tm

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย แบ่งเป็น 4 การทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้ (ภาพ 2)



ภาพ 2 แสดงแผนภาพขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิดต่อการยับยั้งราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum capsici*) และโรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium solani*) ของพริก ในระดับห้องปฏิบัติการ

1.1 การทดสอบประสิทธิภาพของรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิดต่อการยับยั้งราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum capsici*) ของพริก

การทดสอบความสามารถในการเป็นปฏิปักษ์ของรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากห้องปฏิบัติการสาขาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ได้แก่ รา *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) ในการยับยั้งเจริญของราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum capsici*) ด้วยวิธี dual culture technique ในจานอาหารเลี้ยงเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 9 เซนติเมตร โดยใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ตัดชิ้นวุ้นบริเวณปลายเส้นใยของรา *C. capsici* (KPK00292) (ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน) อายุ 14 วัน วางบนอาหาร PDA โดยวางระยะห่างจากขอบจาน 2 เซนติเมตร จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ตัดชิ้นวุ้นบริเวณปลายเส้นใยของรา *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) อายุ 7 วัน วางในอาหาร Potato dextrose agar (PDA) ที่มีรา *C. capsici* (KPK00292) (จานทดสอบ) โดยลักษณะการวางชิ้นอาหารวุ้นในด้านตรงข้ามในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางให้มีระยะห่างระหว่างกัน 5 เซนติเมตร และระยะห่างจากขอบจาน 2 เซนติเมตร (ภาพ 3) บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 7 วัน จากนั้นวัดความยาวรัศมีของโคโลนีของราสาเหตุโรคในจานควบคุมและจานทดสอบ นำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของราโรคพืช (Percent inhibition of radial growth: PIRG) (เกษม สร้อยทอง, 2532)

เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของราโรคพืช (PIRG) = [(R1–R2) / R1] x 100

เมื่อ

R1 = ความยาวรัศมีของโคโลนีราโรคพืชในจานควบคุม

R2 = ความยาวรัศมีของโคโลนีราโรคพืชในจานทดสอบ

โดยประเมินประสิทธิภาพการยับยั้ง ดังนี้

>75 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับสูงมาก

>60–75 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับสูง

>50–60 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับปานกลาง

≤50 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับต่ำ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งเป็น 3 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 รา *C. capsici* (KPK00292) ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* (UPPY06)

กรรมวิธีที่ 2 รา *C. capsici* (KPK00292) ร่วมกับรา *R. oryzae* (UPPY29)

กรรมวิธีที่ 3 รา *C. capsici* (KPK00292) ร่วมกับรา *T. harzianum* (UPPY19)

และให้รา *C. capsici* (KPK00292) เป็นจานควบคุม (ไม่ปลูกรายย่อยสลาย)

1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิดต่อการยับยั้งราสาเหตุโรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium solani*) ของพริก

การทดสอบความสามารถในการเป็นปฏิปักษ์ของรา *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) ในการยับยั้งเจริญของราสาเหตุโรคเหี่ยวของพริก [*Fusarium solani*, (TISTR3436)] จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ด้วยวิธี dual culture technique เช่นเดียวกับการทดสอบกับราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส [*C. capsici*, (KPK00292)] วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งเป็น 3 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ได้แก่

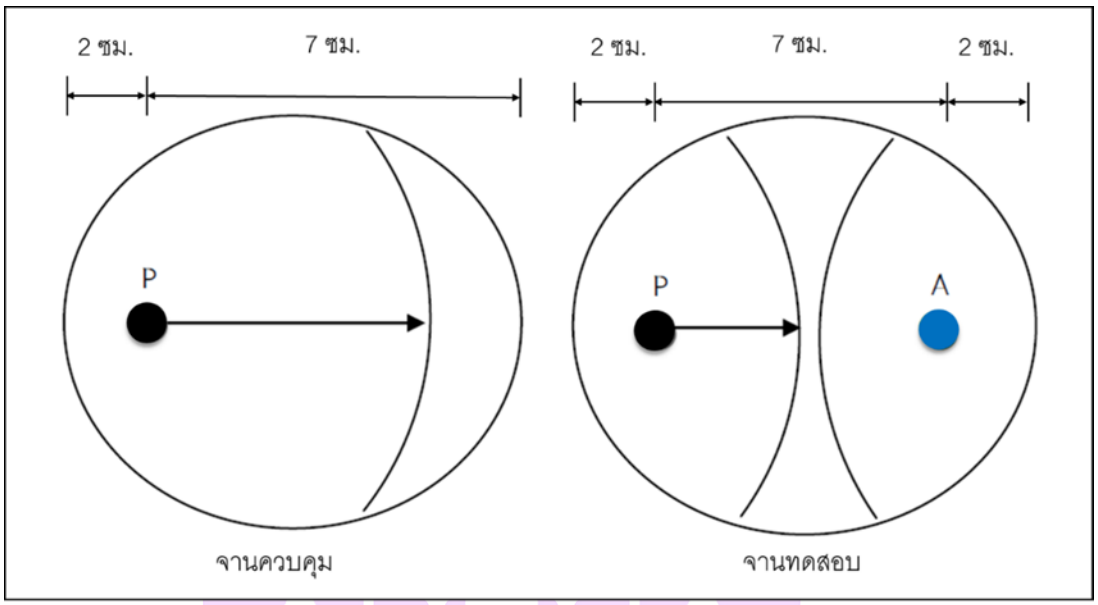
กรรมวิธีที่ 1 รา *F. solani* (TISTR3436) ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* (UPPY06)

กรรมวิธีที่ 2 รา *F. solani* (TISTR3436) ร่วมกับรา *R. oryzae* (UPPY29)

กรรมวิธีที่ 3 รา *F. solani* (TISTR3436) ร่วมกับรา *T. harzianum* (UPPY19)

และให้ รา *F. solani* (TISTR3436) เป็นจานควบคุม (ไม่ปลูกรายย่อยสลาย)

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีด้วยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test: DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพ 3 แสดงการวัดผลในการยับยั้งการเจริญของรา *C. capsici* และ *F. solani* ทดสอบด้วยวิธี dual culture

หมายเหตุ: (P = pathogen **และ** A = antagonistic fungi)

การทดลองที่ 2 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา และผลการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตพริก

2.1 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา

1) เตรียมการทดลองโดยการหมักปุ๋ยผักตบชวาด้วยรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) โดยนำรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด มาเลี้ยงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำมาเพิ่มปริมาณในวัสดุเพาะขยาย โดยนำเมล็ดข้าวฟ่างไปต้มแล้วนำไปนึ่งฆ่าที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทิ้ง ไว้ให้เย็น ใช้ cork borer เจาะปลายเส้นใยรายอ่อยสลายที่เลี้ยงในอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน ย้ายชิ้นวุ้นใส่ในถุงที่บรรจุด้วยวัสดุขยาย ปิดปากถุง และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ทำการกลับและบ่ม ต่ออีกจนครบ 14 วัน (สุมิสา อรุณโน และ วีระศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์, 2556) จากนั้นนำไปหมักร่วมกับผักตบชวาในอัตราส่วน 4 กิโลกรัม ต่อ 100 กิโลกรัม (เมล็ด

ข้าวฟ่างต่อผักตบชวา) เป็นเวลานาน 60 วัน (ตั้งแต่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2560 ถึง 21 ธันวาคม พ.ศ. 2560)

2) การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมนำผักตบชวาหมักมาผสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของปุ๋ยหมักผักตบชวากับวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา (นำวัตถุดิบมาในช่วง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560) โดยมีวัตถุดิบได้แก่ ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ (ภาพ 4) ทำการผสมวัตถุดิบในอัตราส่วนต่าง ๆ จำนวน 8 รูปแบบ (กรรมวิธี) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 8 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 อัตราส่วน 2:2:2:2:2 (ส่วนผสมที่โรงงานใช้ผลิต)
กรรมวิธีที่ 2 อัตราส่วน 1:3:1:3:2 (ชัยมงคล ใจหล้า, 2557)
กรรมวิธีที่ 3 อัตราส่วน 1:2:2:2:3
กรรมวิธีที่ 4 อัตราส่วน 2:1:2:3:2
กรรมวิธีที่ 5 อัตราส่วน 3:2:1:2:2
กรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2
กรรมวิธีที่ 7 อัตราส่วน 5:1:1:2:1
กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาหมัก

หมายเหตุ: อัตราส่วนผักตบชวาหมัก : แร่ลีโอนาไดท์ : หินภูเขาไฟ : มูลสุกร : มูลไก่

เมื่อทำการผสมปุ๋ยตามกรรมวิธีทดลองแล้วจึงทำการสุ่มตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์กรรมวิธี ๆ 3 กิโลกรัม โดยบรรจุปุ๋ยลงถุงเก็บตัวอย่างถุงละ 1 กิโลกรัม จำนวน 3 ถุง (กำหนด 1 ถุง เท่ากับ 1 ซ้ำ) นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ได้แก่

1. ความชื้น (moisture content) ตามวิธีของ (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
2. ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter
3. ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยเครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า
4. อินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ (Walkley and Black, 1947)
5. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Kjeldahl method
7. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) โดยวิธี Spectrophotometric molybdateva–nadophosphate method

8. โพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) โดยวิธี flame photometric method

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's new Multiple Range Test: DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05

3) ทำการตรวจสอบการอยู่รอดของจุลินทรีย์ในผักตบชวาที่ระยะเวลาหมัก 30 45 และ 60 วัน และทำการตรวจชนิดของราในวัสดุผลิตปุ๋ย ได้แก่ ผักตบชวาหมักของโรงงานมูลสุกร และมูลไก่ โดยชั่งตัวอย่างผักตบชวาหมักและวัสดุผลิตปุ๋ย ปริมาณน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นนึ่งฆ่าแล้วปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน โดยใช้ไมโครปิเปต (micropipette) ดูดสารแขวนลอยจากหลอดหนึ่งสู่หลอดหนึ่งปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร เขย่าด้วยเครื่อง vortex mixture ให้เข้ากันแล้วทำการเจือจางตัวอย่างเริ่มต้น (serial dilution) จนถึงที่ระดับ 10^{-5} จากนั้นดูดสารแขวนลอยตัวอย่าง (suspension) ที่ความเข้มข้น 10^{-3}, 10^{-4} และ 10^{-5} ตัวอย่างมา 100 ไมโครลิตร ทำการ spread plate ลงบนอาหารเลี้ยง Potato dextrose agar (PDA) ผสม chloramphenicol โดยวิธี Spread plate technique ทำ 3 ซ้ำ บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25–30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นทำการแยกให้บริสุทธิ์ (Isolation of pure culture) โดยวิธีการแยกสปอร์เดี่ยว (single spore isolation) และการเลี้ยงเซลล์ปลายเส้นใย (hyphal tip isolation) และนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูลักษณะ ขนาด และสีของสปอร์ โดยใช้คู่มือของ (Ellis, 1972) และ (Ellis, 1976)

4) ทำการตรวจชนิดของราในวัสดุผลิตปุ๋ย ได้แก่ ผักตบชวาหมักของโรงงานมูลสุกร และมูลไก่ โดยวิธี Spread plate technique เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1.3 จากนั้นทำการแยกให้บริสุทธิ์ (isolation of pure culture) โดยวิธีการแยกสปอร์เดี่ยว (single spore isolation) และการเลี้ยงเซลล์ปลายเส้นใย (hyphal tip isolation) และนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูลักษณะ ขนาด และสีของสปอร์ โดยใช้คู่มือของ (Ellis, 1972) และ (Ellis, 1976)

ภาพ 4 แสดงวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

หมายเหตุ: (a = ผักตบชวาหมัก b = แร่ลีโอนาไดท์ c = หินภูเขาไฟ d = มูลสุกร และ e = มูลไก่)

2.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพริก

นำปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละกรรมวิธีจากการทดลองที่ 2.1 มาทำการทดสอบผลที่เกิดขึ้นต่อการปลูกพริก ณ ศูนย์ศึกษาเศรษฐกิจพอเพียงการเกษตรและความอยู่รอดของมนุษยชาติของคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ใช้พริกขี้หนูพันธุ์ซุปเปอร์ฮอท 2 (บริษัท อีสเวสซีด จำกัด) ทำการเพาะกล้าพริก ในถาดเพาะ ขนาด 104 หลุม ในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของ ดิน และแกลบดำ (อัตราส่วน 2 : 1) หยอดเมล็ดจำนวน 1 เมล็ดต่อหลุม ให้น้ำวันละ ครั้ง (ช่วงเย็น) เมื่อต้นกล้าอายุได้ 30 วัน จึงย้ายปลูกในถุงปลูกขนาด 9 x 18 นิ้ว ถุงละ 1 ต้น (วัสดุปลูกน้ำหนักเฉลี่ย 10.50 กิโลกรัมต่อถุง) ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) จำนวน 5 ซ้ำ ๆ ละ 5 ต้น ทำการทดลองโดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการทดลองที่ 2.1 ทั้ง 8 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 อัตราส่วน 2:2:2:2:2

กรรมวิธีที่ 2 อัตราส่วน 1:3:1:3:2

กรรมวิธีที่ 3 อัตราส่วน 1:2:2:2:3

กรรมวิธีที่ 4 อัตราส่วน 2:1:2:3:2

กรรมวิธีที่ 5 อัตราส่วน 3:2:1:2:2

กรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2

กรรมวิธีที่ 7 อัตราส่วน 5:1:1:2:1

กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาหมัก

หมายเหตุ: อัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ใช้ปุ๋ยอัตรา 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทุกกรรมวิธี โดแบ่งใส่ 2 ครั้ง (นันทิการ์ เสนแก้ว, อภิญญา สุราวุธ และ กลอยใจ คงเจี้ยง. 2558; นิจพร ณ พัทลุง และ นิชาพร ณ พัทลุง. 2552; พรอุมา เซ่งแซ่, นันทิการ์ เสนแก้ว และบรรเทา จันทร์พุ่ม. 2556) ดังนี้

ครั้งที่ 1 รองพื้นก่อนปลูก 63 กรัม (อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 2 ระยะเวลา 45 วัน หลังย้ายปลูก 63 กรัม (อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่)

บันทึกข้อมูล (สิริชัย สาธุวิจารณ์ และคณะ. 2553; อธิคม ศรีม่วง และ อรพินธุ์ สฤษดิ์นนำ. 2559; Setyowati et al., 2014) ดังนี้

1. การเจริญเติบโตของพริก ได้แก่

1.1 ความสูงของต้น (เซนติเมตร)

1.2 ขนาดทรงพุ่ม (เซนติเมตร)

1.3 จำนวนกิ่งแขนง (กิ่ง)

1.4 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)

1.5 น้ำหนักต้นสด (กรัม)

1.6 น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม)

1.7 น้ำหนักรากสด (กรัม)

1.8 น้ำหนักรากแห้ง (กรัม)

1.9 พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)

1.10 วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ (วัน)

2. ผลผลิตและองค์ประกอบของพริก ได้แก่

2.1 จำนวนผลสดสีแดงต่อต้น (ผล)

2.2 น้ำหนักผลสดสีแดงต่อต้น (กรัม)

2.3 น้ำหนักแห้งผลสีแดงต่อต้น (กรัม)

2.4 ความยาวผลสดสีแดง (มิลลิเมตร)

2.5 เส้นผ่านศูนย์กลางผลสดสีแดง (มิลลิเมตร)

3. ปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญในผลพริก ได้แก่

3.1 ปริมาณแคบไซซิน (capsaicin) (Dominguez et al., 2014)

3.2 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoid) (Pallabi Kundu, Anitha and Ramani, 2016)

3.3 ปริมาณเบต้าแคโรทีน (beta-carotene) (Nagata and Yamashita, 1992; frozen sample)

3.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (phenolic compound) (Domínguez et al., 2014)

4. วิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนการทดลองปลูกพืช

การเตรียมดินก่อนการปลูกพืชทดลอง โดยจัดซื้อวัสดุปลูกสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมของ ดิน และแกลบดำ (อัตราส่วน 2 : 1) ทำการเทดินปลูกรวมกันจากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากัน ทำการสุ่มตัวอย่างดินปลูก 3 กิโลกรัม แล้วนำบรรจุลงถุงเก็บตัวอย่างถุงละ 1 กิโลกรัม จำนวน 3 ถุง (กำหนด 1 ถุง เท่ากับ 1 ซ้ำ) จากนั้นนำดินมาผึ่งในที่ร่มให้แห้งสนิท เป็นเวลา 3 วัน แล้วบดด้วยโกร่งบดสารให้มีอนุภาคเล็กและร่อนผ่านตระแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วบรรจุลงถุงพลาสติกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ความชื้นดิน (soil moisture content) ตามวิธีของ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

4.3 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยเครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า

4.4 อินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ (Walkley and Black, 1947)

4.5 ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Kjeldahl method

4.6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available P) โดยวิธี Spectrophotometric molybdatevanadophosphate method

4.7 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) โดย Flame photometric method

5. วิเคราะห์คุณสมบัติของดินหลังการเก็บเกี่ยวพืช

เก็บตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวพริกขี้หนูในแต่ละกรรมวิธีจากการทดลองที่ 2.2 โดยดัดแปรงวิธีการสุ่มตัวอย่างตามกรรมวิธีการสุ่มตัวอย่างของกรมวิชาการเกษตร ทำการเทดินในถุงปลูกของแต่ละกรรมวิธี (กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 5 ต้น) คลุกเคล้าให้เข้ากันแล้ว แบ่งตัวอย่างออกเป็นสี่ส่วนตัดออกสองส่วนเก็บไว้สองส่วนแล้วนำมาทำวิธีเดิมอีกครั้ง จากนั้นสุ่มเอาตัวอย่างดินมาประมาณ 3 กิโลกรัม แล้วนำบรรจุลงถุงเก็บตัวอย่างถุงละ 1 กิโลกรัม จำนวน 3 ถุง (กำหนด 1 ถุง เท่ากับ 1 ซ้ำ) ทำเช่นนี้ทุกกรรมวิธี จากนั้นนำดินมาผึ่งในที่ร่มจนแห้งสนิท เป็นเวลา 3 วัน แล้วบดด้วยโกร่งบดสารให้มีอนุภาคเล็กและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วบรรจุในถุงพลาสติกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติของดินหลังการเก็บเกี่ยวพืช ได้แก่

5.1 ความชื้นดิน (soil moisture content) ตามวิธีของ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

5.2 ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

5.3 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยเครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า

5.4 อินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ (Walkley and Black, 1947)

5.5 ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Kjeldahl method

5.6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available P) โดยวิธี Spectrophotometric molybdatevanadophosphate method

5.7 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) โดย Flame photometric method

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบ เทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีด้วยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test: DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การทดลองที่ 3 การผลิต คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน

3.1 การเตรียมปุ๋ย

1) เลือกสูตรปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 นำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดในขั้นตอนการผลิตของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ แล้วได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (กรมวิชาการเกษตร, 2555) ทำการเตรียมผักตบชวาหมักด้วยรายอ่อยสลายตามการทดลองที่ 2.1 เพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระดับโรงงาน โดยทำการหมักผักตบชวาตั้งแต่ 1 กันยายน พ.ศ. 2561 ถึง 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 (ระยะเวลา 60 วัน) จากนั้นนำผักตบชวาหมักไปลดความชื้นตามกรรมวิธีการผลิตของโรงงาน โดยนำไปตากในลานตากปุ๋ยให้แห้งแล้วนำไปบดเพื่อลดขนาดให้ละเอียดเพื่อใช้เป็นส่วนผสมหลักในขั้นตอนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตามขั้นตอนการผลิตของโรงงานต่อไป

2) การเตรียมสารแขวนลอยสปอร์ (spore suspension) นำรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด จากการทดลองที่ 1 นำมาขยายลงในอาหารเลี้ยง PDA โดยใช้ cork borer เจาะปลายเส้นใยรายอ่อยสลายนำมาวางบนอาหารเลี้ยง PDA เป็นเวลา 7 วัน เมื่อรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด เจริญเต็มจานอาหารเลี้ยงแล้ว ทำการเตรียมสารแขวนลอยสปอร์ โดยกวาดสปอร์ของราลงบนน้ำกลั่นที่นึ่งฆ่าปรับความเข้มข้นให้ได้ 1.0×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ด้วย hemocytometer จากนั้นนำไปสเปรย์ลงบนจานปั้นปุ๋ยในขั้นตอนการผลิต ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา

3) การเตรียมน้ำเลี้ยงของรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด โดยนำรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด จากการทดลองที่ 1 ที่เลี้ยงบนอาหาร PDA นาน 7 วัน จากนั้นนำไปเลี้ยงในอาหารเหลว potato dextrose broth (PDB) ที่ผสม L-tryptophan 0.1 กรัมต่อลิตร (ซึ่ง L-tryptophan เป็นกลุ่มของกรดอมิโนที่เป็นสารตั้งต้นของการผลิต IAA) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นใส่รายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด จำนวน 5 ชิ้นต่อขวด (cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร) และนำไปบ่มในที่มืดบนเครื่องเขย่า (incubator shaker) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเร็ว 120 รอบต่อนาที นาน 7 วัน นำมากรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1 จากนั้นนำไปสเปรย์ลงบนจานปั้นปุ๋ยในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา

3.2 คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่ได้จากการผลิระดับโรงงาน

1) ทำการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีชนิด และอัตราส่วนตามที่ได้คัดเลือกไว้ โดยใช้วัตถุดิบการผลิตปุ๋ยของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ และทำการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ที่ร่วมทำการวิจัย โดยทำการผลิตจำนวน 1 รอบ การผลิตอัตรา 500 กิโลกรัมต่อรอบ และกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของปุ๋ยอินทรีย์ตามสูตรของเครซี่และมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970) โดยกำหนดให้ยอมรับให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$\frac{x^2 Np(1-P)}{e^2(N-1)+x^2\,p(1-P)}$$

โดย n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากร

e^2 = ระดับความคาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

X^2 = ค่าไคสแควร์ที่ df เท่ากับ 1 และระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (X^2=3.841)

p = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด p = 0.05)

2) จากนั้นทำการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตของโรงงานปริมาณ 500 กิโลกรัม บรรจุในกระสอบ กระสอบละ 25 กิโลกรัม ได้จำนวน 20 กระสอบ ทำการสุ่มตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่บรรจุกระสอบแล้ว จำนวน 217 กิโลกรัม หรือ จำนวน 9 กระสอบ จากปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ทั้งหมด (500 กิโลกรัม) โดยกำหนด 1 กระสอบคือ 1 กรรมวิธี ซึ่งจะประกอบด้วยทั้งหมด 9 กรรมวิธี สุ่มตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์โดยดัดแปลงวิธีการสุ่มตัวอย่างตามกรรมวิธีการสุ่มตัวอย่างของกรมวิชาการเกษตร โดยเทปุ๋ยอินทรีย์ออกจากกระสอบปุ๋ยคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วแบ่งตัวอย่างออกเป็นสี่ส่วนตัดออกสองส่วนเก็บไว้สองส่วนแล้วนำมาทำวิธีเดิมอีกครั้ง จากนั้นสุ่มเอาตัวอย่างปุ๋ยมาประมาณ 3 กิโลกรัม แล้วนำบรรจุลงถุงเก็บตัวอย่างถุงละ 1 กิโลกรัม จำนวน 3 ถุง (กำหนด 1 ถุง เท่ากับ 1 ซ้ำ) ทำเช่นนี้ทุกกรรมวิธี นำตัวอย่างปุ๋ยที่สุ่มเก็บมาวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ โดยทำการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ตามข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2555) ได้แก่

1. ความชื้น (moisture content) ตามวิธีของ (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

2. ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

3. ค่าการนำไฟฟ้า (electrical Conductivity) โดยเครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า

4. อินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ (Walkley and Black, 1947)

5. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

6. ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Kjeldahl method

7. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) โดยวิธี Spectrophotometric molybdatevanadophosphate method

8. โพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) โดยวิธี Flame photometric method

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$), ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error: S.E.) และสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน (coefficient of variation: C.V.)

3.3 การตรวจหาเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของราย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด

1) ตรวจหาเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของราย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด โดยใช้วิธี agar method ดัดแปลงจากวิธีของ (Kawasaki and Machado, 2013) ซึ่งสุ่มตัวอย่างแต่ละกรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ มาวางบนอาหารเลี้ยง PDA จำนวน 10 เม็ดต่อจาน คำนวณการเกิดราบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของราย่อยสลาย} = \left(\frac{\text{จำนวนเม็ดปุ๋ยที่มีเจริญ}}{\text{จำนวนเม็ดปุ๋ยทั้งหมด}} \right) \times 100$$

2) ตรวจสอบการอยู่รอดของราย่อยสลายโดยวิธี serial dilution spread plate สุ่มตัวอย่างปุ๋ยโดยชั่งตัวอย่างละ 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นนึ่งฆ่าแล้วปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน โดยใช้ไมโครปิเปต (micropipette) ดูดสารแขวนลอยจากหลอดหนึ่งสู่หลอดหนึ่งปริมาตร 1 ไมโครลิตร เขย่าด้วยเครื่อง vortex mixture ให้เข้ากันแล้วทำการเจือจางตัวอย่างเริ่มต้น (serial dilution) จนถึงที่ระดับ 10^{-6} จากนั้นดูดสารแขวนลอยตัวอย่าง (suspension) ที่ความเข้มข้น 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5} และ 10^{-6} ตัวอย่างมา 100 ไมโครลิตร ทำการ spread plate ลงบนอาหารเลี้ยง PDA ผสม Chloramphenicol โดยวิธี spread plate technique ทำ 3 ซ้ำ บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25–30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน หาจำนวนโคโลนีของราย่อย

สลายในเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ต่อกรัม โดยนับจำนวนโคโลนีที่อยู่บนจานอาหารที่มีจำนวนอยู่ในช่วง 30–300 โคโลนี คำนวณในรูปของ colony forming unit (CFU) ต่อน้ำหนักกรัมของตัวอย่าง จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด} = \frac{\sum C}{(v1n1 + 0.1n2)d}$$

โดย v1 = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง

$\sum C$ = ผลรวมของโคโลนีที่นับได้ทั้งหมดจากจานเพาะที่นับได้ในช่วง 30–300 โคโลนี

n1 = จำนวนจานเพาะที่นับได้ในช่วง 30–300 โคโลนี ในระดับความเข้มข้นแรก

n1 = จำนวนจานเพาะที่นับได้ในช่วง 30–300 โคโลนี ในระดับความเข้มข้นที่ 2

d = ระดับความเจือจางแรกที่สามารถนับได้ในช่วง 30–300 โคโลนี

จากนั้นทำการแยกให้บริสุทธิ์ (isolation of pure culture) โดยวิธีการแยกสปอร์เดี่ยว (single spore isolation) และการเลี้ยงเซลล์ปลายเส้นใย (hyphal tip isolation) และนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูลักษณะ ขนาด และสีของสปอร์ โดยใช้คู่มือของ (Ellis, 1972) และ (Ellis, 1976)

การทดลองที่ 4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงานต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก

4.1 การทดสอบการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยของพริก

ทำการทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้พริกขี้หนูพันธุ์ซุปเปอร์ฮอท 2 (บริษัท อีสเวสซีด จำกัด) ณ ศูนย์ศึกษาเศรษฐกิจพอเพียงการเกษตรและความอยู่รอดของมนุษยชาติ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา โดยเพาะกล้าในถาดเพาะ ขนาด 104 หลุม ในวัสดุปลูกมีส่วนผสมของดินและแกลบดำ (อัตราส่วน 2 : 1) หยอดเมล็ดจำนวน 1 เมล็ดต่อหลุม รดน้ำด้วยมือวันละหนึ่งครั้ง เมื่อต้นกล้าอายุได้ 30 วัน จึงย้ายปลูกในถุงปลูกขนาด 9 x 18 นิ้ว ถุงละ 1 ต้น (วัสดุปลูกน้ำหนักเฉลี่ย 11.00 กิโลกรัมต่อถุง)

ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) จำนวน 4 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 5 ต้น ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน (ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตรา 3:2:2:1.5:1.5 ปุ๋ยสูตรใหม่ช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2561)

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยเคมี

กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย (ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตราส่วน 4:1:1:2:2)

หมายเหตุ: อัตราการใช้ปุ๋ย

ปุ๋ยเคมี (อีสท์ เวสท์ ซีด จำกัด, 2562)

ครั้งที่ 1 รองพื้นก่อนปลูก สูตร 15–15–15 (อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 2 ระยะเวลา 14 วัน หลังย้ายปลูก สูตร 46–0–0 และ 15–15–15 (อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 3 ระยะเวลา 28 วัน หลังย้ายปลูก สูตร 46–0–0 และ 15–15–15 (อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 4 ระยะเวลา 42 วัน หลังย้ายปลูก สูตร 46–0–0 และ 15–15–15 (อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 5 ระยะเวลา 56 วัน หลังย้ายปลูก สูตร 46–0–0 และ 0–0–60 (อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 6 ระยะเวลา 70 วัน หลังย้ายปลูก สูตร 46–0–0 และ 0–0–60 (อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 7 ระยะเวลา 84 วัน หลังย้ายปลูก สูตร 46–0–0 และ 0–0–60 (อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 8 ระยะเวลา 98 วัน หลังย้ายปลูก สูตร 15–15–15 (อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 9 ระยะเวลา 112 วัน หลังย้ายปลูก สูตร 15–15–15 (อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 10 ระยะเวลา 126 วัน หลังย้ายปลูก สูตร 15–15–15 (อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

หมายเหตุ: อัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ใช้ปุ๋ยอัตรา 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ โดแบ่งใส่ 2 ครั้ง ดังนี้ (นันทิการ์ เสนแก้ว, อภิญญา สุราวุธ และ กลอยใจ คงเจี้ยง. 2558; นิจพร ณ พัทลุง และ นิชาพร ณ พัทลุง. 2552; พรอุมา เซ่งแซ่, นันทิการ์ เสนแก้ว และบรรเทา จันทร์พุ่ม. 2556)

ครั้งที่ 1 รองพื้นก่อนปลูก 63 กรัมต่อต้น (อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่)

ครั้งที่ 2 ระยะเวลา 45 วัน หลังย้ายปลูก 63 กรัม/ต้น (อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่)

บันทึกข้อมูล เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.2 ดังนี้

1. การเจริญเติบโตของพริก ได้แก่

1.1 ความสูงของต้น (เซนติเมตร)

1.2 ขนาดทรงพุ่ม (เซนติเมตร)

1.3 จำนวนกิ่งแขนง (กิ่ง)

1.4 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)

1.5 น้ำหนักต้นสด (กรัม)

1.6 น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม)

1.7 น้ำหนักรากสด (กรัม)

1.8 น้ำหนักรากแห้ง (กรัม)

1.9 พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)

1.10 วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ (วัน)

2. ผลผลิตและองค์ประกอบของผลพริก ได้แก่

2.1 จำนวนผลสดสีแดงต่อต้น (ผล)

2.2 น้ำหนักผลสดสีแดงต่อต้น (กรัม)

2.3 น้ำหนักแห้งผลสีแดงต่อต้น (กรัม)

2.4 ความยาวผลสดสีแดง (มิลลิเมตร)

2.5 เส้นผ่านศูนย์กลางผลสดสีแดง (มิลลิเมตร)

3. ปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญในผลพริก ได้แก่

3.1 ปริมาณแคบไซซิน (capsaicin) (Dominguez et al., 2014)

3.2 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoid) (Pallabi Kundu, Anitha and Ramani, 2016)

3.3 ปริมาณเบต้าแคโรทีน (beta-carotene) (Nagata and Yamashita, 1992; frozen sample)

3.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (phenolic compound) (Dominguez et al., 2014)

4. วิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนการทดลองปลูกพริก

4.1 ความชื้นดิน (soil moisture content) ตามวิธีของ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

4.3 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยเครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า

4.4 อินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ (Walkley and Black, 1947)

4.5 ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Kjeldahl method

4.6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available P) โดยวิธี Spectrophotometric molybdatevanadophosphate method

4.7 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) โดย Flame photometric method

5. วิเคราะห์คุณสมบัติของดินหลังการเก็บเกี่ยวพริก

5.1 ความชื้นดิน (soil moisture content) ตามวิธีของ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

5.3 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยเครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า

5.4 อินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ (Walkley and Black, 1947)

5.5 ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Kjeldahl method

5.6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available P) โดยวิธี Spectrophotometric molybdatevanadophosphate method

5.7 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) โดย Flame photometric method

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีด้วยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test: DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การทดลองที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงาน ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคเหี่ยวเหลืองพริกระดับโรงเรือน

5.1 การควบคุมโรคแอนแทรคโนสพริก (*C. capsici*)

เตรียมต้นกล้าพริกขี้หนูพันธุ์ซุปเปอร์ฮอท 2 (บริษัท อีสเวสซีด จำกัด) ณ โรงเรือนทดลองภายในศูนย์ศึกษาเศรษฐกิจพอเพียงการเกษตรและความอยู่รอดของมนุษยชาติ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา โดยเพาะต้นกล้าในถาดเพาะกล้า ขนาด 104 หลุม ที่มีวัสดุปลูกสำเร็จรูปมีส่วนผสมของดินและแกลบดำ (อัตราส่วน 2 : 1) รดน้ำด้วยมือวันละหนึ่งครั้ง เมื่อต้นกล้าอายุได้ 30 วัน ทำการย้ายปลูกในถุงปลูกขนาด 9x18 นิ้ว บรรจุดินปลูกสำเร็จรูป (น้ำหนักดินเฉลี่ย เท่ากับ 11 กิโลกรัมต่อถุง) ปลูกถุงละ 1 ต้น ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด และเมื่อต้นพริกมีอายุได้ 49 วัน (หลังย้ายปลูก) ทำการปลูกราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*C. capsici* (KPK00292) บนต้นพริก โดยใช้การฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ (spore suspension) ที่ความเข้มข้น 5×10^5 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อต้น และก่อนการฉีดพ่นทำการผสม Tween–20 ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นทำการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ให้ตกจนทั่วใบต้นพริก หลังทำการปลูกราสาเหตุคลุมต้นด้วยพลาสติกและให้ความชื้นโดยการฉีกพ่นน้ำเป็นระยะเพื่อรักษาความชื้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (Rahman et al, 2011., ธารทิพย์ รัตนะ, 2559) ทำการบันทึกข้อมูลการเกิดโรค (Diseases incidence, DI) เป็นเวลา 14 วัน หลังจากการปลูก และ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคบนผลผลิต (Percent reduction of growth per yield contributing character) ตลอดระยะเวลาการเก็บเกี่ยวจำนวน 10 ครั้ง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) จำนวน 5 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 5 ต้น ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่รา่ก่อโรค)

กรรมวิธีที่ 2 ชุดควบคุม (ใส่รา่ก่อโรค) *C. capsici* (KPK00292)

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน (ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตรา 3:2:2:1.5:1.5 ปุ๋ยสูตรใหม่ช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2561) + *C. capsici* (KPK00292)

กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยเคมี + *C. capsici* (KPK00292)

กรรมวิธีที่ 5 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา่ย่อยสลาย (ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตราส่วน 4:1:1:2:2) + *C. capsici* (KPK00292)

การประเมินความรุนแรงของโรคพืช

ทำการประเมินดัชนีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค (Diseases incidence, DI) (Rahman et al., 2011) โดยประเมินเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคทุกวัน ตลอดระยะเวลา 14 วัน หลังปลูก จากนั้นคำนวณตามสูตร ดังต่อไปนี้

$$\text{Diseases incidence (\%)} = \frac{X1}{X2} \times 100$$

โดย X1 = จำนวนต้นที่เกิดโรค

X2= จำนวนต้นทั้งหมด

การประเมิณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่เกิดโรค (Percent reduction of growth per yield contributing character) (Rahman et al., 2011) โดยทำการนับจำนวนผลดีและผลพริกที่แสดงอาการของโรค ตลอดระยะเวลาการเก็บเกี่ยวจำนวน 10 ครั้ง จากนั้นคำนวณดังสูตร ดังต่อไปนี้

$$R = \frac{Y - Y_1}{Y} \times 100$$

โดย R = เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่เกิดโรค

Y = จำนวนผลผลิตดี

Y_1 = จำนวนผลผลิตที่เกิดโรค

5.2 การควบคุมโรคเหี่ยวเหลืองพริก (*F. solani*)

เตรียมต้นกล้าพริกขี้หนูพันธุ์ซุปเปอร์ฮอท 2 (บริษัท อีสเวสซีด จำกัด) ณ ศูนย์ศึกษาเศรษฐกิจพอเพียงการเกษตรและความอยู่รอดของมนุษยชาติ ของคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา โดยเพาะต้นกล้า ในถาดเพาะกล้า ขนาด 104 หลุม ที่มีวัสดุปลูกสำเร็จรูปมีส่วนผสมของดินและแกลบดำ (อัตราส่วน 2 : 1) รดน้ำด้วยมือวันละหนึ่งครั้ง เมื่อต้นกล้าพริกอายุได้ 30 วัน ทำการถอนต้นกล้าออกจากถาดเพาะล้างรากด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด จากนั้นทำการตัดรากให้เกิดบาดแผล และทำการปลูกราสาเหตุโรคเหี่ยวเหลืองของพริก *Fusarium solani* (TISTR3436) โดยใช้วิธีจุ่มรากในสารแขวนลอยสปอร์ (root dip method) ที่ความเข้มข้น 1×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร เป็นระยะเวลานาน 20 นาที จากนั้นนำต้นกล้าพริกที่ผ่านการปลูกราสาเหตุแล้วปลูกลงในดินปลูกที่เตรียมไว้ในถุงปลูกขนาด 9 x 18 นิ้ว ที่บรรจุดินปลูกสำเร็จรูปที่ผ่านการนึ่งฆ่าแล้ว โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) จำนวนทั้งหมด 5 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 5 ต้น ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่รากก่อโรค)

กรรมวิธีที่ 2 ชุดควบคุม (ใส่รากก่อโรค) *F. solani* (TISTR3436)

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน (ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตรา 3:2:2:1.5:1.5 ปุ๋ยสูตรใหม่ช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2561) + *F. solani* (TISTR3436)

กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยเคมี + *F. solani* (TISTR3436)

กรรมวิธีที่ 5 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย (ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตราส่วน 4:1:1:2:2) + *F. solani* (TISTR3436)

บันทึกการเกิดโรค (บันทึกการเกิดโรคเช่นเดียวกับการทดลองที่ 5.1)

ทำการบันทึกความรุนแรงของโรค (Disease severity) ซึ่งมีระดับความรุนแรงอยู่ที่ 0–4 ระดับ โดยบันทึกหลังจากการปลูกถ่ายเป็นระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน โดยปรับเปลี่ยนมาจากวิธีของ (Grattidge and O'Brien, 1982; Amini, J. and Sidovich, D.F. 2010)

0 = ต้นพริกใบเหลืองและเหี่ยว 1–24 เปอร์เซ็นต์

1 = ต้นพริกใบเหลืองและเหี่ยว 25–49 เปอร์เซ็นต์

2 = ต้นพริกใบเหลืองและเหี่ยว 50–74 เปอร์เซ็นต์

3 = ต้นพริกใบเหลืองและเหี่ยว 75–99 เปอร์เซ็นต์

4 = ต้นพริกตาย (100 เปอร์เซ็นต์)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิดต่อการยับยั้งราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum capsici*) และโรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium solani*) ของพริก ในระดับห้องปฏิบัติการ

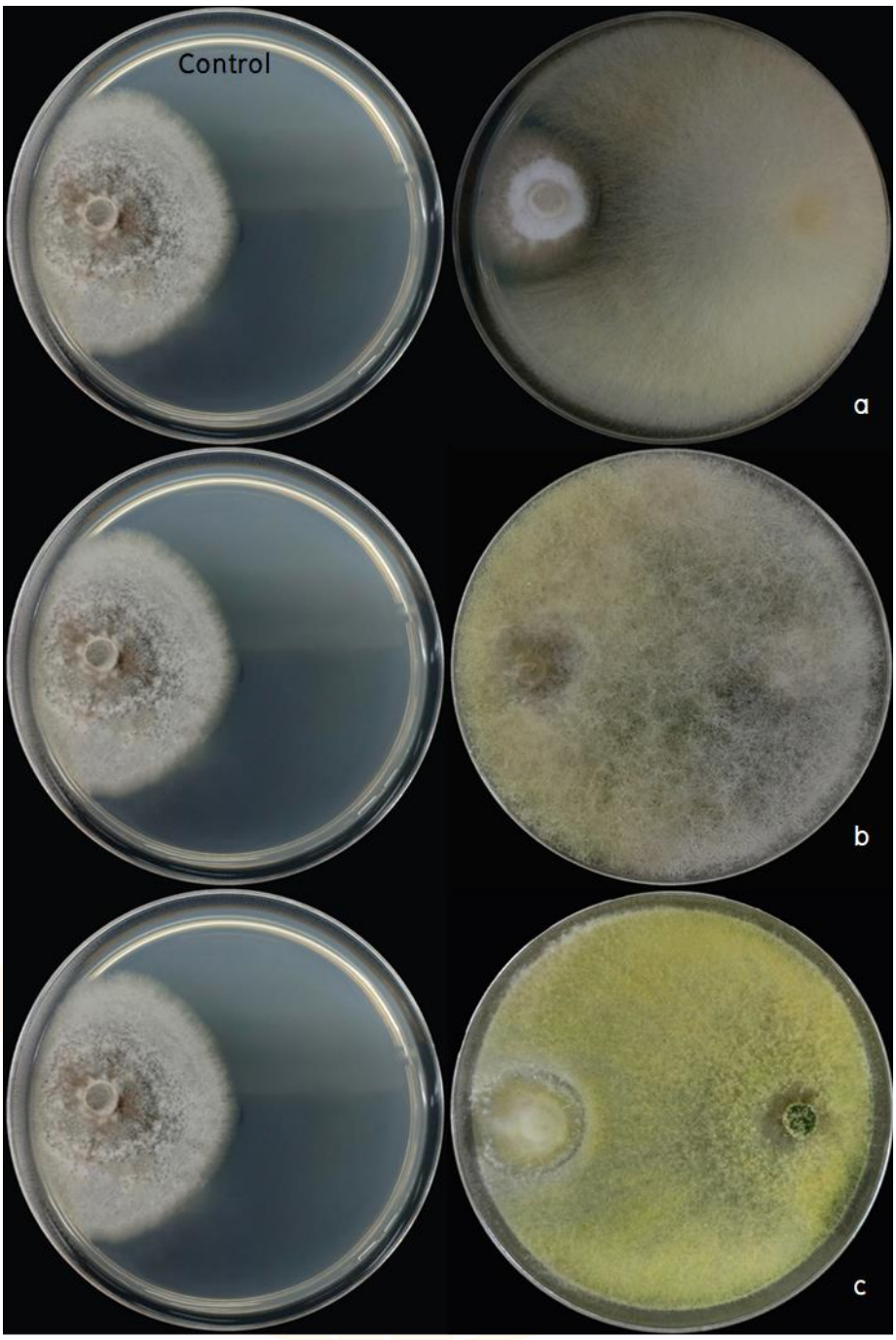
การทดสอบประสิทธิภาพของรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากห้องปฏิบัติการสาขาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ได้แก่ รา *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) มาทดสอบการยับยั้งเจริญของราสาเหตุโรคพืชที่สำคัญของพริก ได้แก่ โรคแอนแทรคโนส (*Collettotrichum capsici*, KPK00292) และโรคเหี่ยวของพริก (*Fusarium solani*, TISTR3436) บนอาหาร PDA ด้วยวิธี dual culture technique พบว่า รายย่อยสลาย *R. oryzae* (UPPY29), *T. harzianum* (UPPY19) และ *M. ellipsoideus* (UPPY06) สามารถยับยั้งการเจริญของรา *C. capsici* (KPK00292) โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 83.52, 73.38 และ 68.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพ 5) และสามารถยับยั้งการเจริญของรา *F. solani* (TISTR3436) โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 74.76, 70.56 และ 50.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 2, ภาพ 6)

ตาราง 2 แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของรา *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) ทดสอบโดยวิธี dual culture technique

รา่ย่อยสลาย	**เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (%)**	
	***C. capsici* (KPK00292)**	***F. solani* (TISTR3436)**
M. ellipsoideus (UPPY06)	68.31±2.20[b]	50.58±1.82[c]
R. oryzae (UPPY29)	83.52±5.81[a]	74.76±0.00[a]
T. harzianum (UPPY19)	73.38±0.00[b]	70.56±1.82[b]
F–test	*	*
CV (%)	4.77	2.28

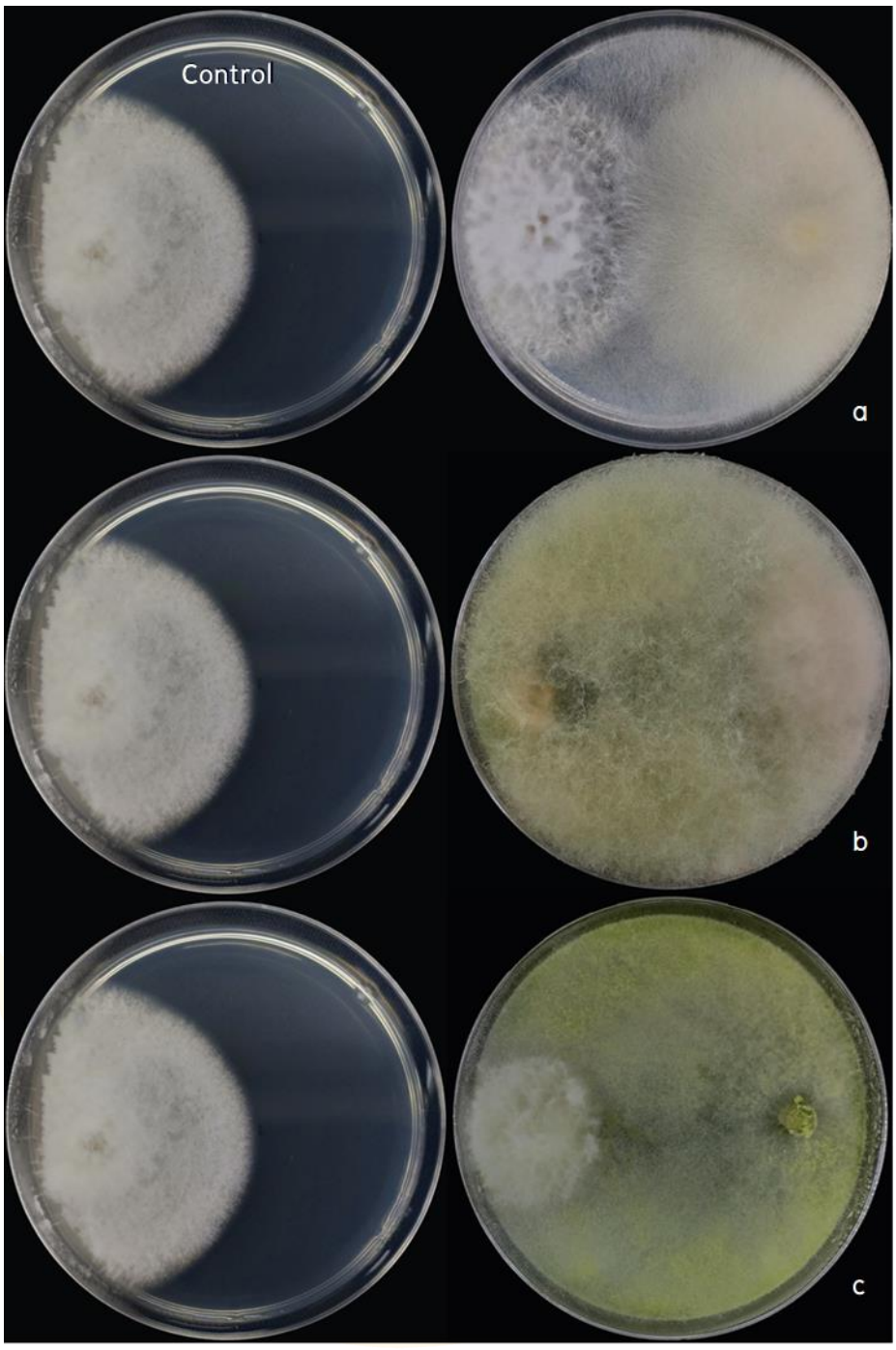
หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test)

* = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ± = ส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพ 5 แสดงประสิทธิภาพของราย่อยสลาย**ต่อการยับยั้งการเจริญของรา *C. capsici*** **(KPK00292) สาเหตุโรคแอนแทรคโนสพริก ทดสอบด้วยวิธี** dual culture technique

หมายเหตุ: [a = *M. ellipsoideus* (UPPY06), b = *R. oryzae* (UPPY29), c = *T. harzianum* (UPPY19)]



ภาพ 6 แสดงประสิทธิภาพของรา่ย่อยสลายต่อการยับยั้งการเจริญของรา *F. solani* (TISTR3436) สาเหตุโรคเหี่ยวของพริก ทดสอบด้วยวิธี dual culture technique

หมายเหตุ: [a = *M. ellipsoideus* (UPPY06), b = *R. oryzae* (UPPY29), c = *T. harzianum* (UPPY19)]

การทดลองที่ 2 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย และผลการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตพริก

1.1 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย

จากการหมักผักตบชวาด้วยรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ในบ่อหมักนาน 60 วัน พบว่าผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายมีการย่อยสลายที่สมบูรณ์ กล่าวคือสีของผักตบชวาเปลี่ยนจากสีเขียวสดเป็นสีน้ำตาลไปจนถึงสีน้ำตาลเข้มเข้ม และกลายเป็นสีดำในที่สุด โดยมีขนาดของชิ้นส่วนผักตบชวาที่เล็กลง (ภาพ 7)

ภาพ 7 ผักตบชวาก่อนการหมัก และผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายนาน 60 วัน

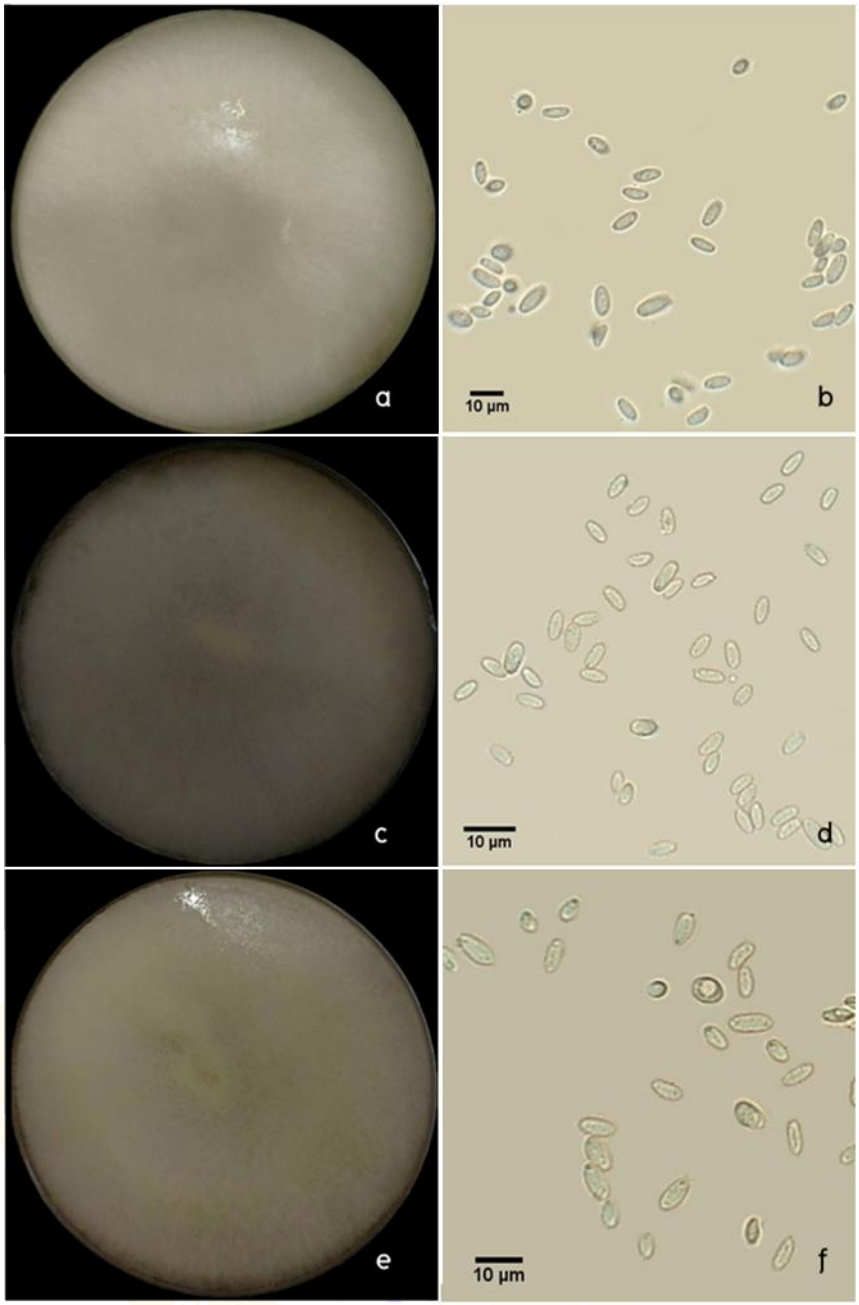
หมายเหตุ: (a = ผักตบชวาสดก่อนการหมัก, b = ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายนาน 60 วัน)

จากการแยกจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ที่ระยะเวลาการหมัก 30, 45 และ 60 วัน ในช่วงระยะเวลา 30 วัน ตรวจพบราที่ใส่เข้าไปในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ รา *Trichoderma* sp., *Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp. อัตราส่วน 32.80, 35.40 และ 31.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในช่วงระยะเวลา 45 วัน ตรวจพบราที่ใส่เข้าไปในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ รา *Trichoderma* sp., *Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp. อัตราส่วน 34.70, 33.90 และ 31.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในช่วงระยะเวลา 60 วัน ตรวจพบราที่ใส่เข้าไปในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ รา *Trichoderma* sp.,

Mucor sp. และ *Rhizopus* sp. อัตราส่วน 35.30, 33.70 และ 31.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งราทั้งสามชนิดที่แยกได้จากกองปุ๋ยหมักจาก 3 ช่วงเวลา พบว่ามีลักษณะสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกันและมีลักษณะคล้ายคลึงกับรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ที่ใส่เข้าไปในขั้นตอนการหมักปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา (ตาราง 3, ภาพ 8 – 10)

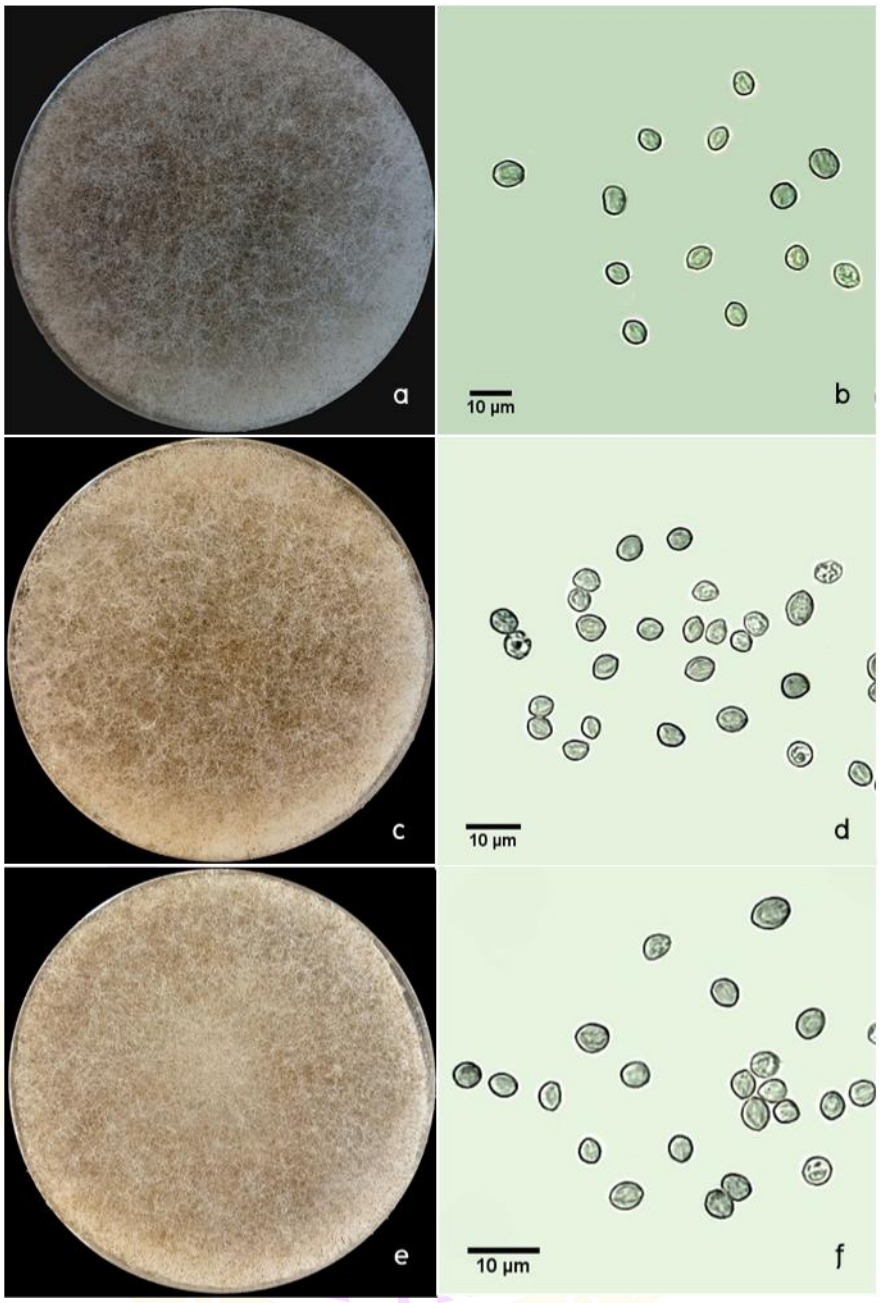
ตาราง 3 แสดงชนิดของราในกองผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา นาน 30, 45 และ 60 วัน

ระยะเวลาในการหมักผักตบชวา	ชนิดราที่แยกได้จากผักตบชวาหมัก	
	ชนิดรา	เปอร์เซ็นต์ (%)
ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน	*Trichoderma* sp.	32.80
	Mucor sp.	35.40
	Rhizopus sp.	31.80
ระยะเวลาในการหมัก 45 วัน	*Trichoderma* sp.	34.70
	Mucor sp.	33.90
	Rhizopus sp.	31.40
ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน	*Trichoderma* sp.	35.30
	Mucor sp.	33.70
	Rhizopus sp.	31.00



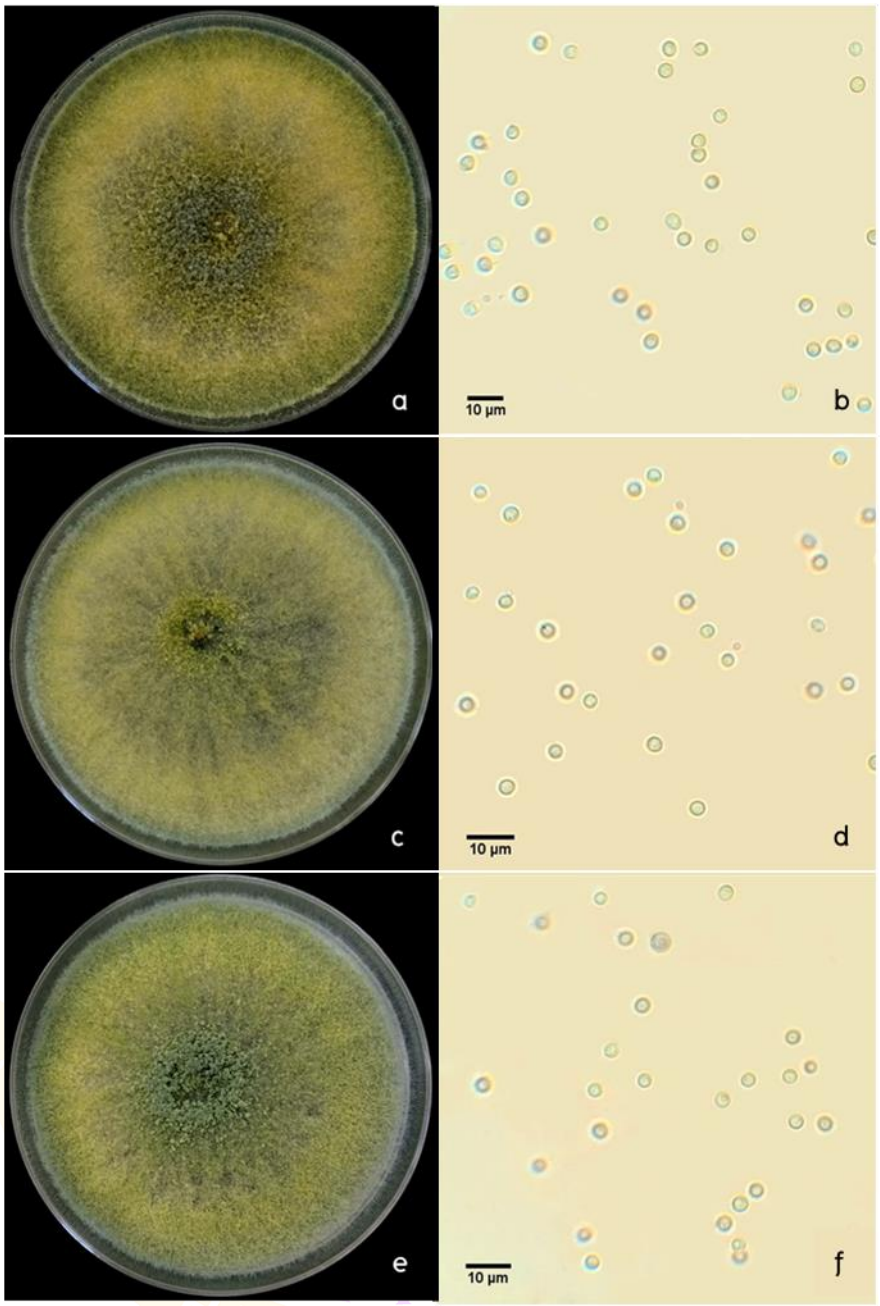
ภาพ 8 แสดงรา Mucor sp. ในกองผักตบชวาหมักที่ระยะเวลานาน 30, 45 และ 60 วัน บนอาหาร PDA

หมายเหตุ: [(a = ระยะเวลา 30 วัน, c = ระยะเวลา 45 วัน, e = ระยะเวลา 60 วัน, b, d และ f = ลักษณะโคนีเดีย (conidia)]



ภาพ 9 แสดงรา *Rhizopus* sp. ในกองผักตบชวาหมักที่ระยะเวลานาน 30, 45 และ 60 วัน บนอาหาร PDA

หมายเหตุ: [(a = ระยะเวลา 30 วัน, c = ระยะเวลา 45 วัน, e = ระยะเวลา 60 วัน, b, d และ f = ลักษณะโคนีเดีย (conidia)]



ภาพ 10 แสดงรา *Trichoderma* sp. ในกองผักตบชวาหมักที่ระยะเวลา นาน 30, 45 และ 60 วัน บนอาหาร PDA

หมายเหตุ: [(a = ระยะเวลา 30 วัน, c = ระยะเวลา 45 วัน, e = ระยะเวลา 60 วัน, b, d และ f = ลักษณะโคนีเดีย (conidia)]

จากการแยกจุลินทรีย์ในวัสดุผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ มูลสุกร มูลไก่ และผักตบชวาหมักของโรงงานปุ๋ย จากการตรวจหาจุลินทรีย์ในมูลสุกร พบราชนิด *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. และ *Mortierella* sp. อัตราส่วน 45.45, 27.27 และ 27.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนมูลไก่ตรวจพบราชนิด *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. และ *Mortierella* sp. อัตราส่วน 33.33, 26.67, 26.67 และ 13.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผักตบชวาหมักของโรงงานตรวจพบราชนิด *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. และ *Mortierella* sp. อัตราส่วน 33.33, 41.67 และ 25.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 4)

ตาราง 4 แสดงชนิดของราในวัสดุผลิตปุ๋ยอินทรีย์

ระยะเวลาในการหมักผักตบชวา	ชนิดราที่แยกได้จากผักตบชวาหมัก	
	ชนิดรา	เปอร์เซ็นต์ (%)
มูลสุกร	*Aspergillus* sp.	45.45
	Penicillium sp.	27.27
	Mortierella sp.	27.27
มูลไก่	*Aspergillus* sp.	33.33
	Penicillium sp.	26.67
	Cladosporium sp.	26.67
	Mortierella sp.	13.33
ผักตบชวาหมักของโรงงาน	*Aspergillus sp.*	33.33
	Penicillium sp.	41.67
	Mortierella sp.	25.00

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของอัตราส่วนปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 8 กรรมวิธี ที่มีส่วนผสมของ ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ ในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า กรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด และปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด เท่ากับ 1.51 เปอร์เซ็นต์, 2.52 เปอร์เซ็นต์, 3.27 เปอร์เซ็นต์ และ 26.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 2 อัตราส่วน 1:3:1:3:2 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.08 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากที่สุด เท่ากับ 11.86, ส่วนค่าการนำไฟฟ้า พบว่า กรรมวิธีที่ 3 อัตราส่วน 1:2:2:2:3 มีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุด เท่ากับ 1.02 เดซิซีเมนต่อเมตร รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 เท่ากับ 0.99 เดซิซีเมนต่อเมตร, ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า กรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีค่าความเป็นกลาง เท่ากับ 7.05 และปริมาณความชื้น พบว่า กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาหมัก มีปริมาณความชื้นมากที่สุด เท่ากับ 55.67 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 5)

ตาราง 5 แสดงคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

กรรมวิธี	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	กรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมน/เมตร)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
1. 2:2:2:2:2	18.60±0.92^{cd}	6.50±0.23^{d}	0.89±0.07^{c}	14.61±1.10^{d}	8.77±0.56^{c}	0.97±0.06^{c}	0.62±0.01^{c}	2.11±0.10^{b}
2. 1:3:1:3:2	16.27±0.23^{d}	6.29±0.22^{e}	0.93±0.11^{bc}	22.15±0.21^{b}	11.86±0.40^{a}	1.08±0.03^{b}	0.68±0.02^{bc}	2.03±0.23^{b}
3. 1:2:2:2:3	14.73±0.23^{d}	6.82±0.12^{bc}	1.02±0.25^{a}	15.56±1.66^{d}	9.12±1.04^{c}	0.99±0.01^{c}	0.74±0.04^{b}	1.83±0.16^{b}
4. 2:1:2:3:2	14.67±0.23^{d}	6.93±0.34^{ab}	0.77±0.11^{d}	11.49±0.36^{e}	6.65±0.34^{d}	1.01±0.04^{bc}	0.74±0.03^{b}	2.07±0.16^{b}
5. 3:2:1:2:2	21.40±1.31^{c}	6.55±0.28^{d}	0.94±0.18^{bc}	17.72±0.41^{c}	10.66±0.26^{b}	0.97±0.05^{c}	0.66±0.02^{c}	1.89±0.19^{b}
6. 4:1:1:2:2	22.80±2.80^{c}	7.05±0.32^{a}	0.99±0.30^{ab}	26.93±0.00^{a}	10.12±0.07^{b}	1.51±0.00^{a}	2.52±0.01^{a}	3.27±0.01^{a}
7. 5:1:1:2:1	29.93±4.61^{b}	6.74±0.21^{c}	0.67±0.15^{e}	11.62±0.83^{e}	6.81±0.53^{d}	0.99±0.02^{c}	0.67±0.04^{c}	1.23±0.22^{c}
8. ผักตบชวาหมัก	55.67±1.03^{a}	6.85±0.18^{bc}	0.39±0.29^{f}	2.87±0.00^{f}	2.62±0.10^{e}	0.63±0.02^{d}	0.48±0.02^{d}	1.40±0.00^{c}
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	8.36	0.95	2.84	5.13	6.04	3.37	2.92	7.96

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สัดส่วน ผักตบชวาหมัก: แร่ลีโอนาไดท์: หินภูเขาไฟ: มูลสุกร: และมูลไก่

การวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ตรากว๊านพะเยาที่มีส่วนผสมของวัตถุดิบ ได้แก่ ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตราส่วน 3:2:2:1.5:1.5 พบว่ามีปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 12.05 เปอร์เซ็นต์, 7.45, 1.61 เดซิซิเมนต่อเมตร, 16.55 เปอร์เซ็นต์ และ 20.60 ตามลำดับ ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.51, 0.51 และ 1.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 6)

ผักตบชวาหมักของโรงงาน พบว่า มีปริมาณความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 16.67 เปอร์เซ็นต์, 7.28, 0.09 เดซิซิเมนต่อเมตร, 1.91 เปอร์เซ็นต์ และ 7.28 ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.15, 0.41 และ 0.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 6)

ตาราง 6 แสดงคุณสมบัติผักตบชวาหมักของโรงงานและปุ๋ยอินทรีย์ตรากว๊านพะเยา

กรรมวิธี	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	กรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมน/เมตร)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
ผักตบชวาหมักของโรงงาน	16.67±0.19	7.28±0.02	0.09±0.00	1.91±0.00	7.28±0.33
ปุ๋ยอินทรีย์ตรากว๊านพะเยา	12.05±0.48	7.45±0.06	1.61±0.07	16.55±1.80	20.60±5.34

ตาราง 6 แสดงคุณสมบัติผักตบชวาหมักของโรงงานและปุ๋ยอินทรีย์ตรากว๊านพะเยา (ต่อ)

กรรมวิธี	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
ผักตบชวาหมักของโรงงาน	0.15±0.01	0.41±0.05	0.12±0.02
ปุ๋ยอินทรีย์ตรากว๊านพะเยา	0.51±0.24	0.51±0.04	1.53±0.36

หมายเหตุ: ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

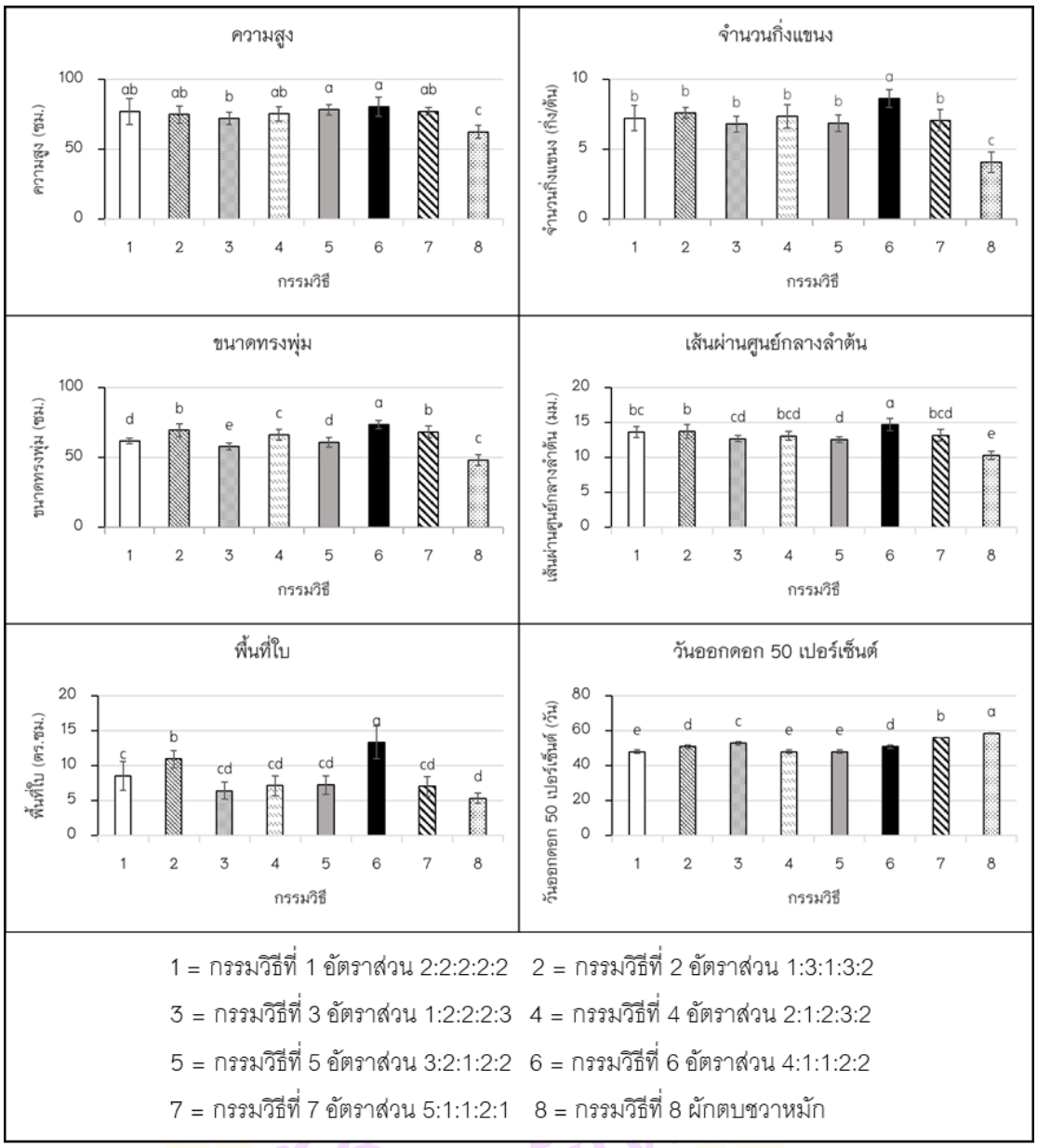
1.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพริก

การเจริญเติบโต

ผลการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์ ทั้ง 8 กรรมวิธี ที่มีส่วนผสมของ ผักตบชวาหมักแร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยทำการบันทึกข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตตลอดอายุ 24 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีความสูง ขนาดทรงพุ่ม จำนวนกิ่งแขนง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และพื้นที่ใบมากที่สุด เท่ากับ 80.52 เซนติเมตร, 73.68 เซนติเมตร, 8.80 กิ่ง, 14.69 มิลลิเมตร และ 13.32 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 2 อัตราส่วน 1:3:1:3:2 มีลักษณะโดยรวมรองลงมา ได้แก่ ความสูง ขนาดทรงพุ่ม จำนวนกิ่งแขนง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และพื้นที่ใบ เท่ากับ 74.92 เซนติเมตร, 69.52 เซนติเมตร, 7.60 กิ่ง, 13.77 มิลลิเมตร และ 10.99 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ, ส่วนวันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า กรรมวิธีที่ 1 อัตราส่วน 2:2:2:2:2 และกรรมวิธีที่ 5 อัตราส่วน 3:2:1:2:2 มีเปอร์เซ็นต์การออกดอกเร็วสุด เท่ากับ 48.00 และ 48.00 วัน ตามลำดับ (ภาพ 11 และ 12, ตาราง 7)

ภาพ 11 แสดงลักษณะการเจริญเติบโตของพริกขี้หนู

หมายเหตุ: (a = กรรมวิธีที่ 1 อัตราส่วน 2:2:2:2:2, b = กรรมวิธีที่ 2 อัตราส่วน 1:3:1:3:2, c = กรรมวิธีที่3 อัตราส่วน 1:2:2:2:3, d = กรรมวิธีที่ 4 อัตราส่วน 2:1:2:3:2, e = กรรมวิธีที่ 5 อัตราส่วน 3:2:1:2:2, f = กรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2, g = กรรมวิธีที่ 7 อัตราส่วน 5:1:1:2:1, h = กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาหมัก)



ภาพ 12 แสดงการเจริญเติบโตของพริก

ตาราง 7 แสดงการตอบสนองของพริกขี้หนูต่อปุ๋ยอินทรีย์

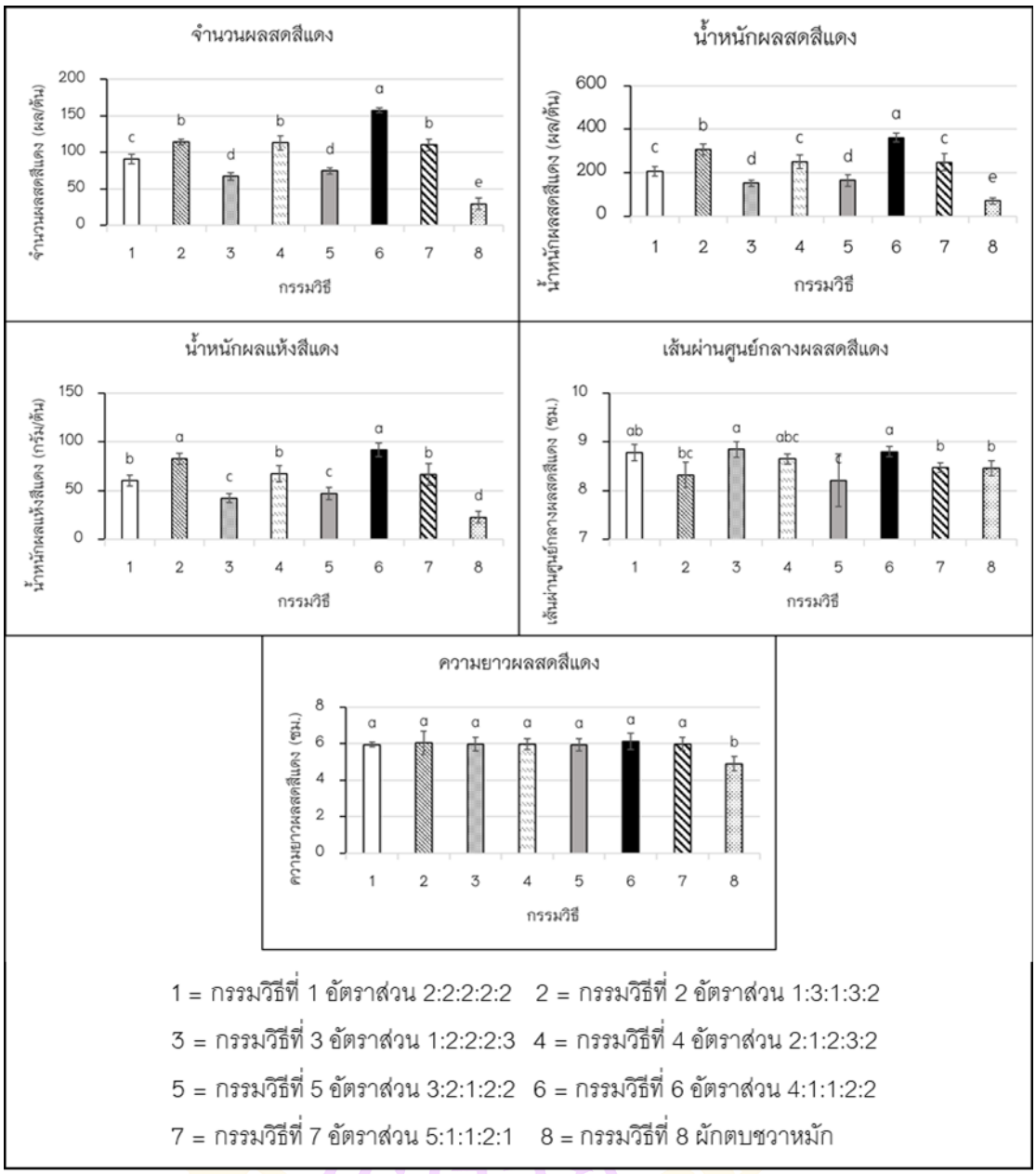
กรรมวิธี	ความสูงของต้น (เซนติเมตร)	ขนาดทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	จำนวนกิ่งแขนง (กิ่ง/ต้น)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)	วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ (วัน)
1. 2:2:2:2:2	77.16±9.39 ^{ab}	61.84±2.08 ^{d}	7.20±0.92 ^{b}	13.67±0.76 ^{bc}	8.55±2.06 ^{c}	48.00±1.00^{e}
2. 1:3:1:3:2	74.92± 6.17 ^{ab}	69.52±4.54 ^{b}	7.60±0.40 ^{b}	13.77±0.97 ^{b}	10.99±1.22 ^{b}	51.00±1.00^{d}
3. 1:2:2:2:3	72.24±4.33 ^{b}	57.76±2.48 ^{e}	6.80±0.55 ^{b}	12.69±0.46 ^{cd}	6.44±1.23 ^{cd}	53.00±1.00^{c}
4. 2:1:2:3:2	75.36±5.13 ^{ab}	66.22±3.85 ^{c}	7.40±0.85 ^{b}	13.11±0.67 ^{bcd}	7.13±1.41 ^{cd}	48.00±1.00^{e}
5. 3:2:1:2:2	78.40±3.61 ^{a}	61.00±3.43 ^{d}	6.80±0.58 ^{b}	12.60±0.40 ^{d}	7.25±1.34 ^{cd}	48.00±1.00^{e}
6. 4:1:1:2:2	80.52±6.70^{a}	73.68±4.03 ^{a}	8.80± 0.65 ^{a}	14.69±0.89 ^{a}	13.32±2.37 ^{a}	51.00±1.00^{d}
7. 5:1:1:2:1	77.20±2.69 ^{ab}	68.46±4.03 ^{bc}	7.00±0.77 ^{b}	13.21±0.86 ^{bcd}	7.03±1.46 ^{cd}	56.00±0.00^{b}
8. ผักตบชวาหมัก	62.56±4.49 ^{c}	48.34±3.91 ^{f}	4.00±0.73 ^{c}	10.33±0.57 ^{e}	5.35±0.70 ^{d}	58.67±0.50^{a}
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	5.19	3.27	11.84	5.37	16.15	0.75

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สัดส่วน ผักตบชวาหมัก: แร่ลีโอนาไดท์: หินภูเขาไฟ: มูลสุกร: และมูลไก่

ผลผลิตและองค์ประกอบของผลพริก

ทำการเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบของผลพริก จำนวน 10 ครั้ง ระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีจำนวนผลสดสีแดงต่อต้น น้ำหนักผลสดสีแดงต่อต้น น้ำหนักผลแห้งสีแดงต่อต้น และความยาวผลสดสีแดงมากที่สุด เท่ากับ 157.52 ผล, 361.17 กรัม, 91.55 กรัม และ 6.13 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 2 อัตราส่วน 1:3:1:3:2 มีจำนวนผลสดสีแดงต่อต้น น้ำหนักผลสดสีแดงต่อต้น น้ำหนักผลแห้งสีแดงต่อต้น และความยาวผลสดสีแดง เท่ากับ เท่ากับ 113.96 ผล, 307.42 กรัม, 82.72 กรัม และ 6.05 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางผล พบว่า กรรมวิธีที่ 3 อัตราส่วน 1:2:2:2:3 มีเส้นผ่านศูนย์กลางผลมากที่สุด เท่ากับ 8.85 เซนติเมตร รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 เท่ากับ 8.80 เซนติเมตร (ภาพ 13, ตาราง 8)



1 = กรรมวิธีที่ 1 อัตราส่วน 2:2:2:2:2 2 = กรรมวิธีที่ 2 อัตราส่วน 1:3:1:3:2

3 = กรรมวิธีที่ 3 อัตราส่วน 1:2:2:2:3 4 = กรรมวิธีที่ 4 อัตราส่วน 2:1:2:3:2

5 = กรรมวิธีที่ 5 อัตราส่วน 3:2:1:2:2 6 = กรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2

7 = กรรมวิธีที่ 7 อัตราส่วน 5:1:1:2:1 8 = กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาหมัก

ภาพ 13 แสดงผลผลิตและองค์ประกอบของผลพริก

ตาราง 8 แสดงผลผลิตและลักษณะทางกายภาพของผลพริก

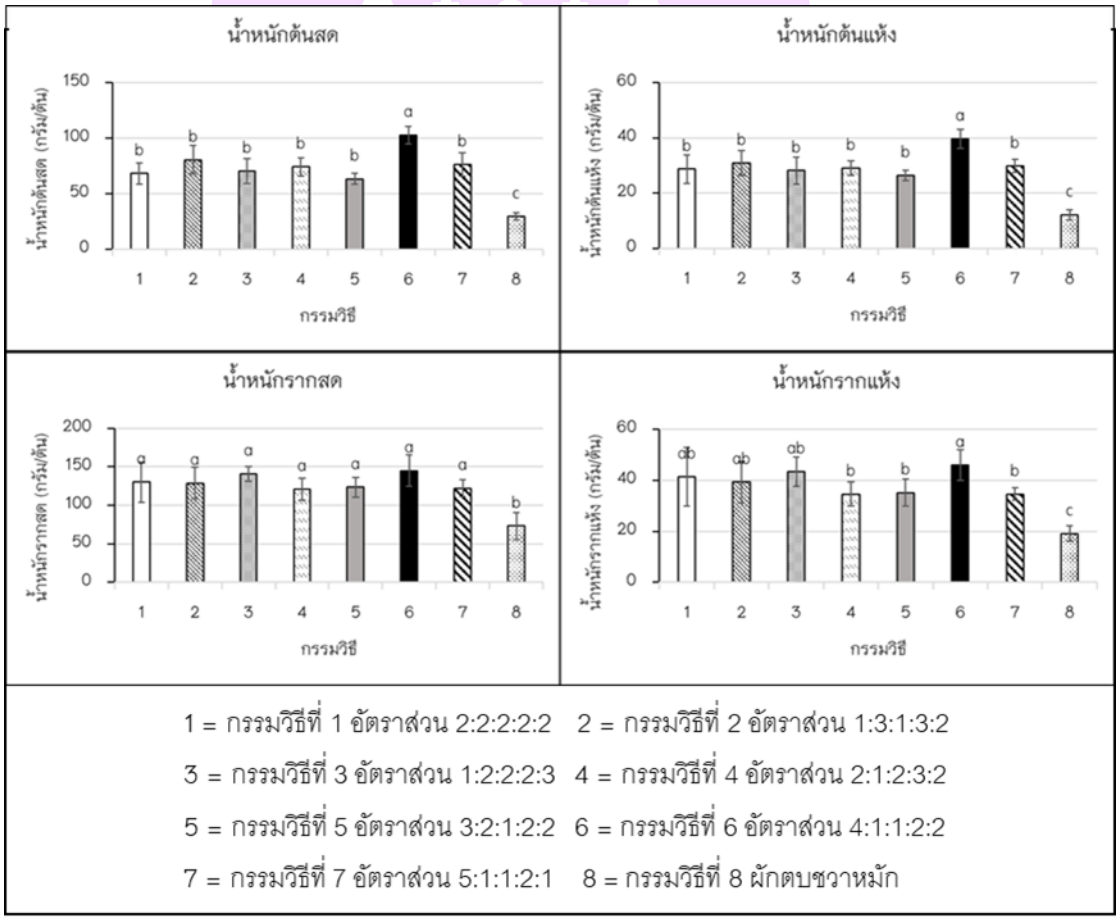
กรรมวิธี	จำนวนผลสดสีแดง (ผล/ต้น)	น้ำหนักผลสดสีแดง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักผลแห้งสีแดง (กรัม/ต้น)	ความยาวผลสดสีแดง (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางผลสดสีแดง (มิลลิเมตร)
1. 2:2:2:2:2	90.80±6.21[c]	207.21±5.54[c]	60.38±5.88 [b]	5.96±0.13 [a]	8.78±0.17 [ab]
2. 1:3:1:3:2	113.96±3.91[b]	307.42±4.87[b]	82.72±5.37 [a]	6.05±0.64 [a]	8.32±0.26 [bc]
3. 1:2:2:2:3	67.04±4.77 [d]	151.65±8.65[d]	42.13±4.61 [c]	5.99±0.38 [a]	8.85±0.16 [a]
4. 2:1:2:3:2	113.00±9.91[b]	250.97±8.78[c]	67.37±8.20 [b]	5.97±0.29 [a]	8.65±0.10 [abc]
5. 3:2:1:2:2	74.44±4.11[d]	63.73±5.08[d]	47.16±6.27 [c]	5.94±0.33 [a]	8.21±0.54 [c]
6. 4:1:1:2:2	157.52±3.14 [a]	361.17±4.12[a]	91.55±7.04 [a]	6.13±0.44 [a]	8.80±0.10 [a]
7. 5:1:1:2:1	110.40±7.77 [b]	248.21±7.86[c]	66.45±11.09 [b]	5.98±0.35 [a]	8.47±0.10 [b]
8. ผักตบชวาหมัก	30.88±4.05 [e]	69.26±3.57[e]	22.72±5.72 [d]	4.91±0.40 [b]	8.46±0.16 [b]
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	9.79	11.28	11.37	5.85	2.83

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สัดส่วน ผักตบชวาหมัก: แร่ลีโอนาไดท์: หินภูเขาไฟ: มูลสุกร: และมูลไก่

ปริมาณชีวมวลของส่วนลำต้นและส่วนราก

ด้านปริมาณชีวมวลของส่วนลำต้นและส่วนราก พบว่า กรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีน้ำหนักต้นสด น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรากสด และน้ำหนักรากแห้งมากที่สุด และมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 102.86 กรัม, 39.66 กรัม, 145.02 กรัม และ 45.88 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 2 อัตราส่วน 1:3:1:3:2 มีน้ำหนักต้นสดและน้ำหนักต้นแห้ง เท่ากับ 80.50 และ 30.87 กรัม และ กรรมวิธีที่ 3 อัตราส่วน 1:2:2:2:3 มีน้ำหนักรากสดและน้ำหนักรากแห้ง เท่ากับ 140.98 และ 43.38 กรัม ตามลำดับ (ภาพ 14, ตาราง 9)



ภาพ 14 แสดงชีวมวลของส่วนลำต้นและส่วนราก

ตาราง 9 แสดงชีวมวลของส่วนลำต้นและรากพริก

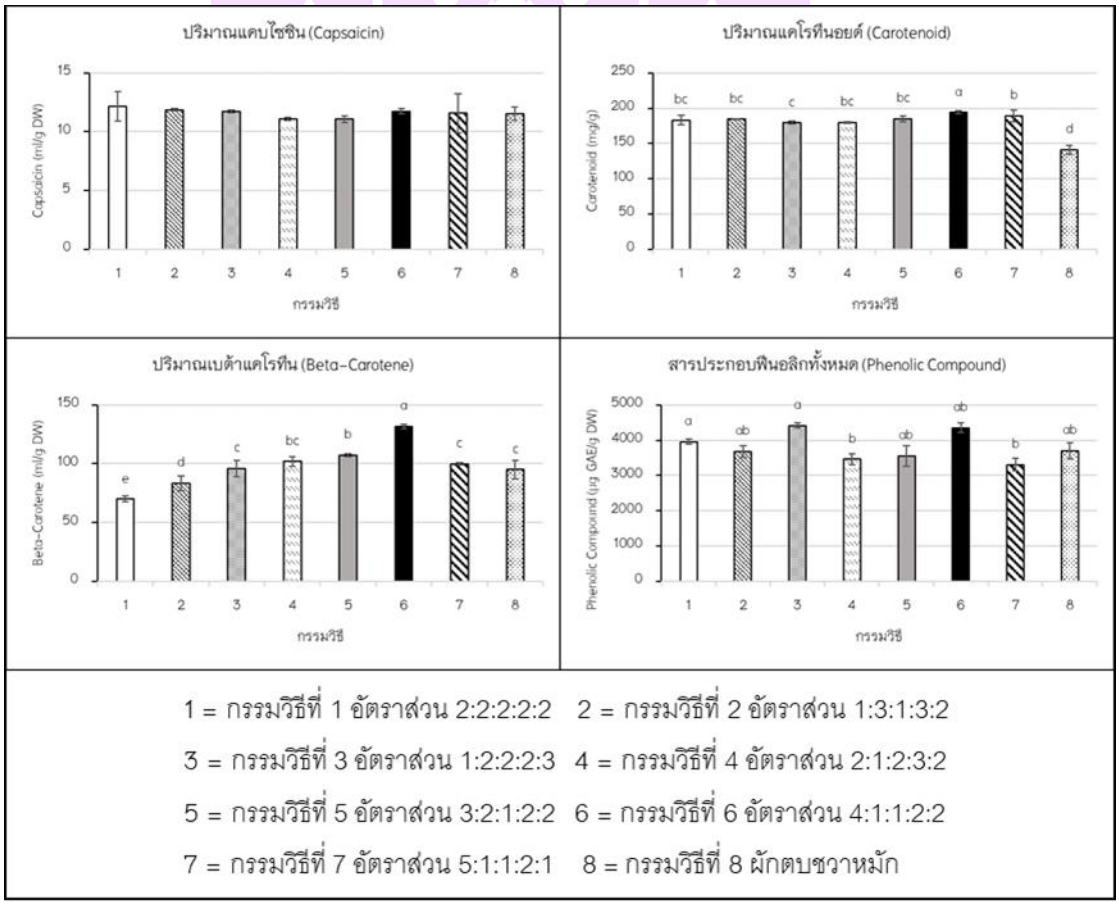
กรรมวิธี	น้ำหนักต้นสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักรากสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักรากแห้ง (กรัม/ต้น)
1. 2:2:2:2:2	68.25±4.74 ^{b}	28.70±2.56 ^{b}	130.01±5.20^{a}	41.34±2.87^{ab}
2. 1:3:1:3:2	80.50±6.38 ^{b}	30.87±2.24 ^{b}	128.97±2.42^{a}	39.23±2.02^{ab}
3. 1:2:2:2:3	70.50±5.61 ^{b}	28.14±2.50 ^{b}	140.98±3.57^{a}	43.38±1.45^{ab}
4. 2:1:2:3:2	74.22±4.18 ^{b}	29.06±1.27 ^{b}	120.99±3.16^{a}	34.56±1.16^{b}
5. 3:2:1:2:2	63.40±5.11 ^{b}	26.45±0.94 ^{b}	123.36±5.02^{a}	35.15±1.33^{b}
6. 4:1:1:2:2	102.86±4.01 ^{a}	39.66±1.67 ^{a}	145.02±5.01^{a}	45.88±1.52^{a}
7. 5:1:1:2:1	76.33±5.12 ^{b}	29.80±1.20 ^{b}	122.35±2.70^{a}	34.54±0.60^{b}
8. ผักตบชวาหมัก	29.37±1.71 ^{c}	12.19±0.93 ^{c}	73.07±4.43^{b}	19.06±0.75^{c}
F-test	*	*	*	*
CV (%)	12.79	11.81	13.51	15.11

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สัดส่วน ผักตบชวาหมัก: แร่ลีโอนาไดท์: หินภูเขาไฟ: มูลสุกร: และมูลไก่

ปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลพริก

ด้านปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลพริก พบว่า ปริมาณแคปไซซินในผลพริกทั้ง 8 กรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 11.08 – 12.16 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และพบว่าผลพริกในกรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีปริมาณแคโรทีนอยด์และปริมาณเบต้าแคโรทีนมากที่สุด เท่ากับ 194.19 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 131.84 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่ากรรมวิธีที่ 3 อัตราส่วน 1:2:2:2:3 มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 เท่ากับ 4,416.46 และ 4,355.58 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภาพ 15, ตาราง 10)



ภาพ 15 แสดงปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลพริก

ตาราง 10 แสดงปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญในผลพริก

กรรมวิธี	ปริมาณแคบไซซิน (Capsaicin) (ml/g DW)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) (mg/g)	ปริมาณเบต้าแคโรทีน (Beta-Carotene) (ml/g DW)	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Phenolic Compound) (µg GAE/g DW)
1. 2:2:2:2:2	12.16±1.25	183.34±7.04^{bc}	69.94±2.48^{e}	3956.76±75.92^{a}
2. 1:3:1:3:2	11.87±0.10	184.64±0.25^{bc}	83.23±6.34^{d}	3681.78±161.57^{ab}
3. 1:2:2:2:3	11.73±0.13	179.40±2.21^{c}	95.95±7.17^{c}	4416.46±75.92^{a}
4. 2:1:2:3:2	11.11±0.15	179.91±0.76^{bc}	101.92±4.15^{bc}	3463.47±153.86^{b}
5. 3:2:1:2:2	11.08±0.26	184.93±4.15^{bc}	107.33±1.15^{b}	3557.93±289.88^{ab}
6. 4:1:1:2:2	11.74±0.21	194.18±1.97^{a}	131.84±2.10^{a}	4355.58±132.74^{a}
7. 5:1:1:2:1	11.58±1.66	189.23±8.41^{b}	99.92±0.83b^{c}	3306.04±180.00^{b}
8. ผักตบชวาหมัก	11.54±0.57	140.98±6.34^{d}	95.13±7.96^{c}	3702.77±230.43^{ab}
F-test	ns	*	*	*
CV (%)	6.67	2.69	4.90	11.87

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สัดส่วน ผักตบชวาหมัก: แร่ลีโอนาไดท์: หินภูเขาไฟ: มูลสุกร: และมูลไก่

วิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนการทดลองปลูกพริก

การศึกษาคุณสมบัติของดินก่อนปลูกพริก พบว่า ดินก่อนการทดลองปลูกพืชมีความชื้น ค่าความเป็นกรด–ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และอินทรียวัตถุ เท่ากับ 1.60 เปอร์เซ็นต์, 8.42, 0.08 เดซิซีเมนต่อเมตร และ 2.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.09 เปอร์เซ็นต์, 0.71 เปอร์เซ็นต์ และ 0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 11)

วิเคราะห์คุณสมบัติของดินหลังการเก็บเกี่ยวพริก

การศึกษาคุณสมบัติของดินหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า ดินปลูก พบว่ากรรมวิธีที่ 1 อัตราส่วน 2:2:2:2:2 มีปริมาณความชื้นมากที่สุด เท่ากับ 4.73 เปอร์เซ็นต์, ส่วนค่าความเป็นกรด–ด่าง พบว่ากรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาหมัก มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 8.55, ส่วนค่าการนำไฟฟ้าในกรรมวิธีที่ 2 – กรรมวิธีที่ 8 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอยู่ในช่วง 0.03 – 0.04 เดซิซีเมนต่อเมตร, ปริมาณอินทรียวัตถุ พบว่ากรรมวิธีที่ 7 อัตราส่วน 5:1:1:2:1 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 2.58 เปอร์เซ็นต์, ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบทั้ง 8 กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.07–0.08 เปอร์เซ็นต์, ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช พบว่ากรรมวิธีที่ 1 อัตราส่วน 2:2:2:2:2 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.71 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่ากรรมวิธีที่ 3 อัตราส่วน 1:2:2:2:3 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.03 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 11)

ตาราง 11 แสดงคุณสมบัติดินก่อนการทดลองปลูกพืช และดินหลังการเก็บเกี่ยวพืช

กรรมวิธี	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	กรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมน/เมตร)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
ดินก่อนปลูกพืช	1.60±0.40	8.42±0.04	0.08±0.02	2.02±0.41	0.09±0.01	0.71±0.02	0.08±0.01
1. 2:2:2:2:2	4.73±0.31^{a}	8.20±0.01^{c}	0.02±0.00^{b}	1.91±0.22^{b}	0.07±0.01	0.71±0.08^{a}	0.02±0.00^{ac}
2. 1:3:1:3:2	2.93±0.70^{b}	8.07±0.04^{de}	0.03±0.01^{ab}	2.51±0.04^{a}	0.07±0.00	0.59±0.02^{b}	0.02±0.00^{c}
3. 1:2:2:2:3	2.93±0.80^{b}	8.08±0.02^{de}	0.04±0.01^{a}	1.75±0.15^{b}	0.07±0.01	0.56±0.01^{b}	0.03±0.00^{a}
4. 2:1:2:3:2	2.80±0.84^{b}	8.04±0.07^{e}	0.03±0.01^{a}	2.07±0.25^{ab}	0.08±0.01	0.58±0.03^{b}	0.02±0.00^{ac}
5. 3:2:1:2:2	2.73±0.31^{b}	8.31±0.06^{b}	0.03±0.01^{ab}	2.54±0.34^{a}	0.08±0.00	0.56±0.03^{b}	0.02±0.00^{c}
6. 4:1:1:2:2	3.27±0.50^{ab}	8.24±0.07^{bc}	0.03±0.01^{ab}	1.95±0.47^{b}	0.08±0.01	0.58±0.04^{b}	0.02±0.00^{c}
7. 5:1:1:2:1	4.20±0.20^{ab}	8.16±0.01^{cd}	0.03±0.00^{ab}	2.58±0.18^{a}	0.08±0.00	0.55±0.04^{b}	0.02±0.00^{c}
8. ผักตบชวาหมัก	2.93±0.23^{b}	8.55±0.08^{a}	0.03±0.00^{ab}	2.12±0.40^{ab}	0.08±0.01	0.56±0.02^{b}	0.03±0.00^{ab}
F-test	*	*	*	*	ns	*	*
CV (%)	24.49	0.63	20.70	24.49	7.16	6.74	14.89

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สัดส่วน ผักตบชวาหมัก: แร่ลีโอนาไดท์: หินภูเขาไฟ: มูลสุกร: และมูลไก่

การทดลองที่ 3 การผลิต คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน

การตรวจคุณภาพความสม่ำเสมอของการผลิต คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน พบว่า ปริมาณความชื้นเฉลี่ย เท่ากับ 22.48 เปอร์เซ็นต์, ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย เท่ากับ 8.00, ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย เท่ากับ 2.01 เดซิซีเมนต่อเมตร, ปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ย เท่ากับ 27.59 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ย เท่ากับ 9.85 (ตาราง 12) ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 1.63 เปอร์เซ็นต์, ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 2.59 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 3.14 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 12)

การตรวจอัตราการมีชีวิตรอดของรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด หลังจากการผลิตระดับโรงงาน พบว่า เม็ดปุ๋ยที่วางบนอาหารเลี้ยงแข็ง PDA มีราเจริญของราออกมาจากเม็ดปุ๋ยโดยมีเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพ 16) และจากการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของรายอ่อยสลายด้วยวิธี serial dilution spread plate มีความเข้มข้นของสปอร์ทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 9.52×10^5 สปอร์ต่อมิลลิลิตร (ตาราง 13) และสามารถเป็นเชื้อบริสุทธิ์ ได้แก่ รา *Trichoderma* sp., *Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp. (ภาพ 17)

ตาราง 12 แสดงคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน

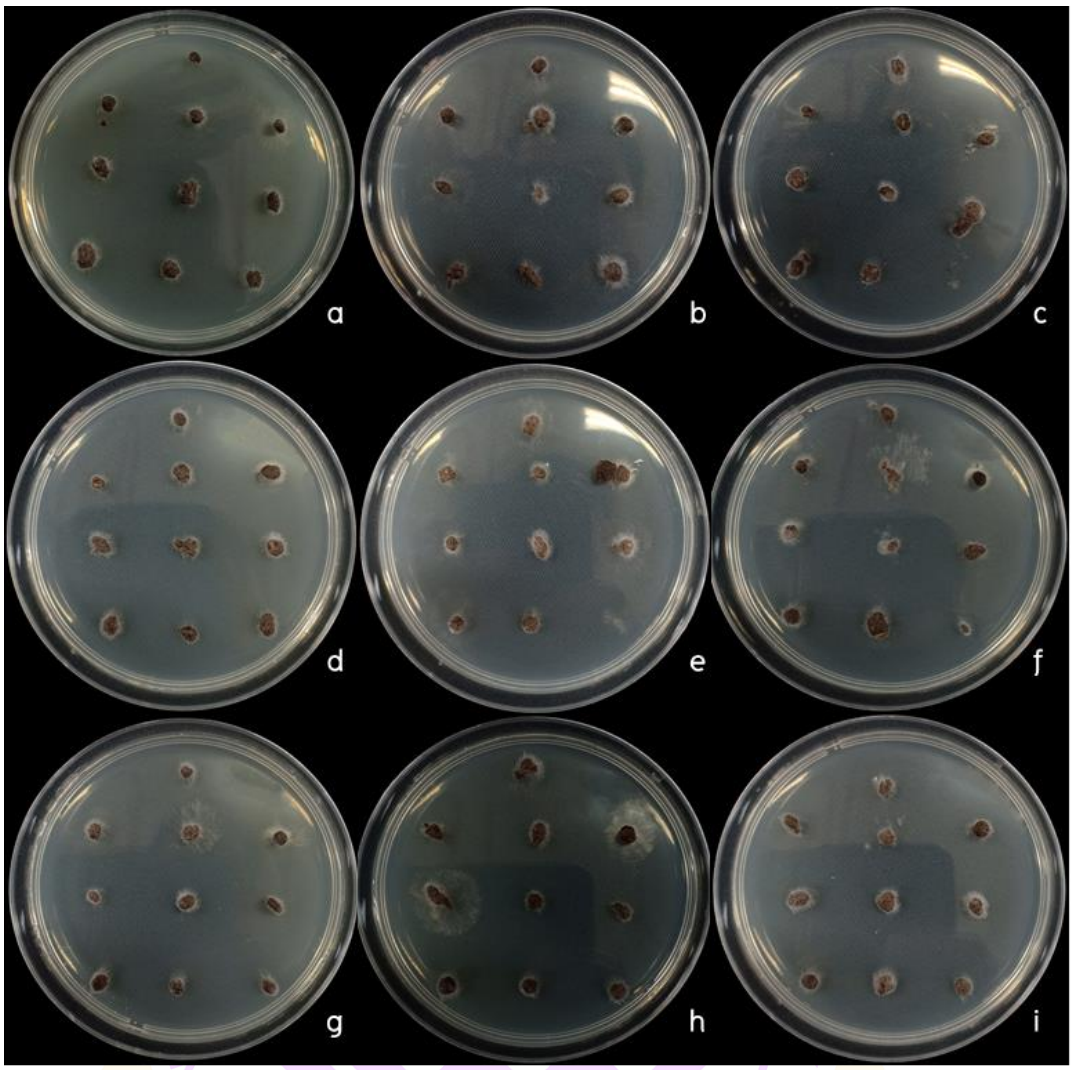
กรรมวิธี	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	กรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมน/เมตร)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
1	24.33±0.68	7.92±0.08	2.03±0.02	28.01±2.21	10.51±0.88	1.55±0.01	2.60±0.01	3.12±0.10
2	22.80±0.40	8.04±0.00	1.96±0.07	23.88±1.10	8.87±0.00	1.56±0.07	2.58±0.00	3.17±0.16
3	23.13±0.68	7.98±0.01	2.17±0.09	23.72±2.85	8.70±1.07	1.58±0.00	2.59±0.01	2.81±0.19
4	22.80±0.23	8.23±0.01	1.90±0.02	28.65±0.92	10.71±0.13	1.55±0.07	2.52±0.04	3.02±0.16
5	22.73±0.29	7.92±0.00	2.06±0.01	26.26±0.83	8.43±0.02	1.81±0.05	2.59±0.01	2.86±0.06
6	26.93±0.37	7.75±0.02	2.90±0.00	29.61±2.02	10.59±0.57	1.62±0.02	2.69±0.03	3.37±0.18
7	22.07±0.41	8.01±0.01	1.99±0.01	30.56±2.76	10.03±1.10	1.78±0.04	2.57±0.01	3.49±0.14
8	22.47±0.47	7.93±0.02	2.01±0.01	30.40±1.75	10.78±0.19	1.63±0.06	2.55±0.01	3.42±0.05
9	21.07±0.57	8.17±0.02	1.91±0.06	27.22±0.09	10.05±0.28	1.57±0.05	2.59±0.01	3.03±0.27
$\bar{x} \pm \mathrm{SE}$	22.48±0.05	8.00±0.01	2.01±0.01	27.59±0.31	9.85±0.15	1.63±0.01	2.59±0.00	3.14±0.02
CV (%)	3.68	0.62	3.90	11.55	11.10	5.08	1.33	8.80

หมายเหตุ: $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ย, ± = ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error: S.E.)

ตาราง 13 แสดงเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของรายย่อยสลายในเม็ดปุ๋ย

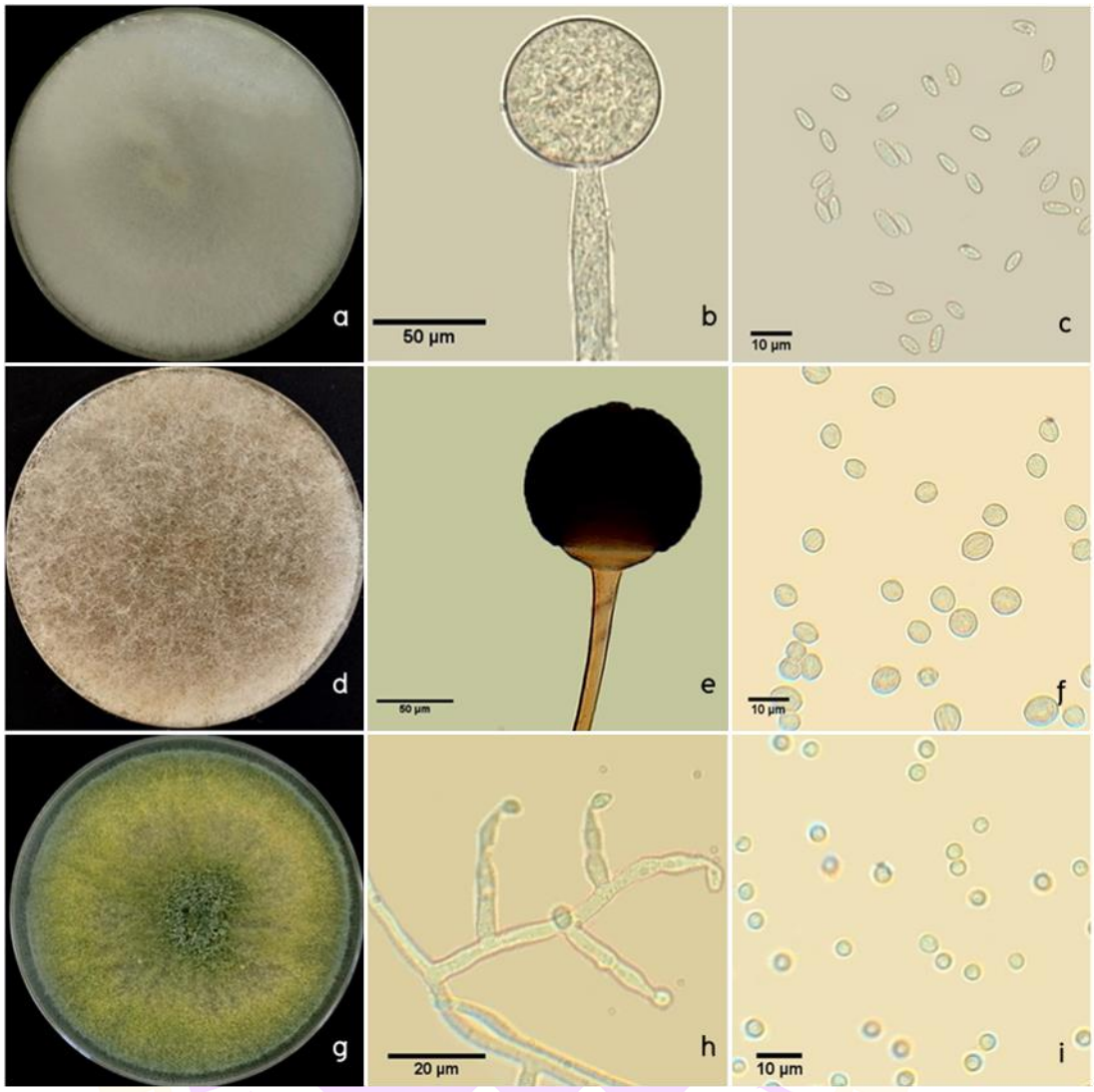
กรรมวิธี	เปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของรายย่อยสลายทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	จำนวนโคโลนีของรายย่อยสลายทั้งหมด (cfu/g)
1	100±0.00	9.83×10^{5}±0.67
2	100±0.00	9.17×10^{5}±1.01
3	100±0.00	9.83×10^{5}±1.17
4	100±0.00	9.50×10^{5}±0.33
5	100±0.00	9.67×10^{5}±0.87
6	100±0.00	8.83×10^{5}±0.60
7	100±0.00	9.67×10^{5}±1.30
8	100±0.00	9.50×10^{5}±1.30
9	100±0.00	9.50×10^{5}±0.50
$\bar{x}$±SE	100±0.00	9.52×10^{5}±0.10
CV (%)	1.42^{e-14}	15.51

หมายเหตุ: $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ย, ± = มาตรฐานความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (standard error: S.E.)



ภาพ 16 แสดงเม็ดปุ่ยบนอาหารเลี้ยงแข็ง PDA ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

หมายเหตุ: (a = กรรมวิธีที่ 1, b = กรรมวิธีที่ 2, c = กรรมวิธีที่ 3, d = กรรมวิธีที่ 4, e = กรรมวิธีที่ 5, f = กรรมวิธีที่ 6, g = กรรมวิธีที่ 7, h = กรรมวิธีที่ 8, i = กรรมวิธีที่ 9)



ภาพ 17 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราที่แยกจากเม็ดปุ๋ย

หมายเหตุ: [*Mucor* sp. (a = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA, b = ลักษณะสปอร์แรงเจียม; sporangium, c = ลักษณะโคนีเดีย; conidia, รา *Rhizopus* sp. (d = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA, e = ลักษณะสปอร์แรงเจียม; sporangium, f = ลักษณะโคนีเดีย; conidia, รา *Trichoderma* sp. (g = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA, h = ลักษณะโคนิดิโอฟอร์; conidiophores, i = ลักษณะโคนีเดีย; conidia]

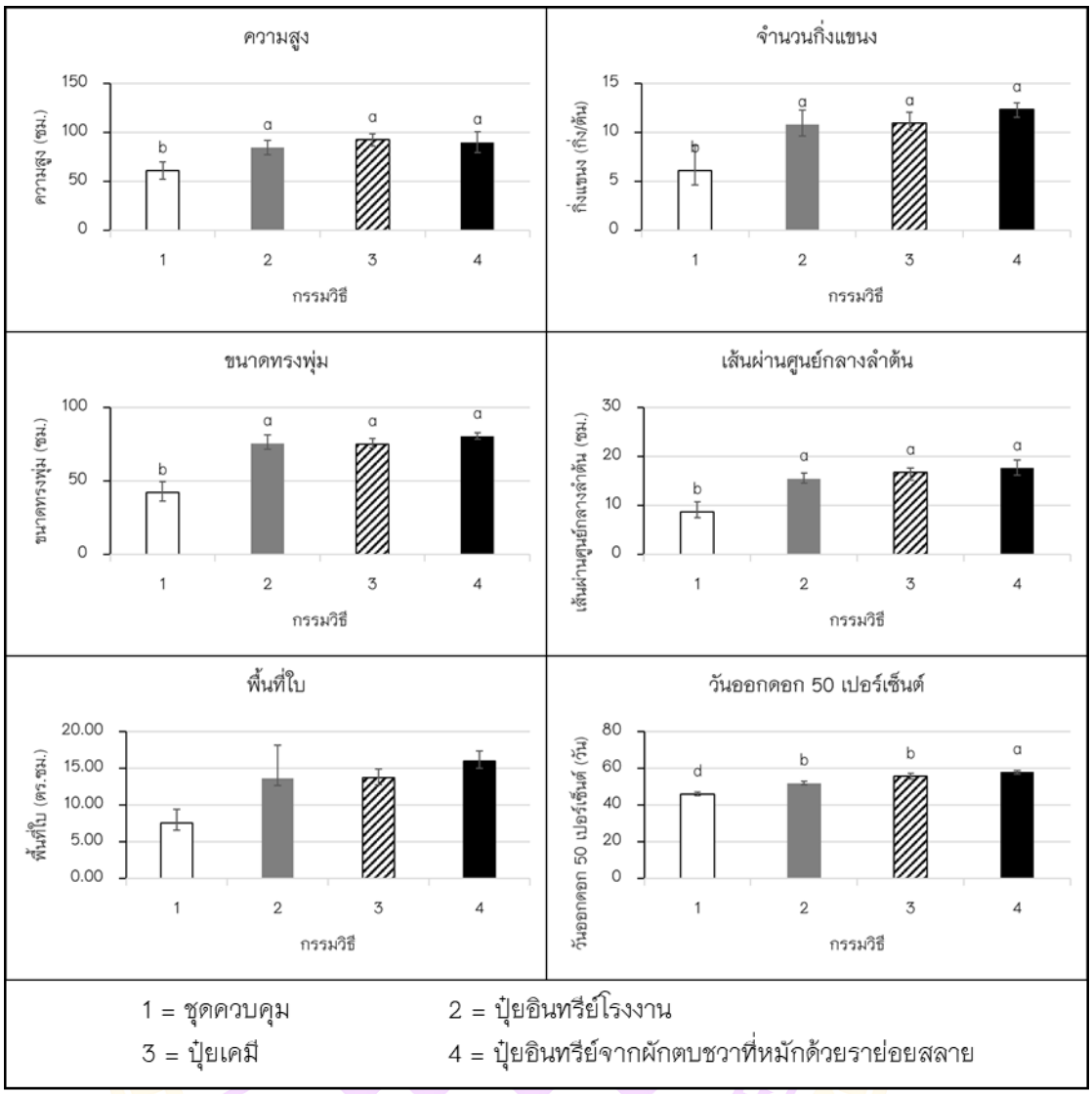
การทดลองที่ 4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงานต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก

การเจริญเติบโตของพริก

การเจริญเติบโตของพริกขี้หนูตลอดอายุ 24 สัปดาห์ พบว่า ความสูงกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีความสูงมากที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่อินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย และ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน เท่ากับ 92.60, 90.20 และ 84.70 เซนติเมตร ตามลำดับ, ส่วนขนาดทรงพุ่ม จำนวนกิ่งแขนง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และพื้นที่ใบ พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 80.35 เซนติเมตร, 13.00 กิ่ง, 17.61 มิลลิเมตร และ 15.98 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 75.28 เซนติเมตร, 11.00 กิ่ง, 16.77 มิลลิเมตร และ 13.76 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ, ส่วนเปอร์เซ็นต์การออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า กรรมวิธีชุดควบคุมมีระยะเวลาการออกดอกน้อยที่สุด เท่ากับ 46.00 วัน รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยโรงงาน และกรรมวิธที่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 52.00 และ 55.67 วัน ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพ 18 และ 19, ตาราง 14)

ภาพ 18 แสดงการเจริญเติบโตของต้นพริก

หมายเหตุ: (a = ชุดควบคุม, b = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน, c = ใส่ปุ๋ยเคมี, d = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา่อยสลาย)



ภาพ 19 แสดงการเจริญเติบโตของพริก

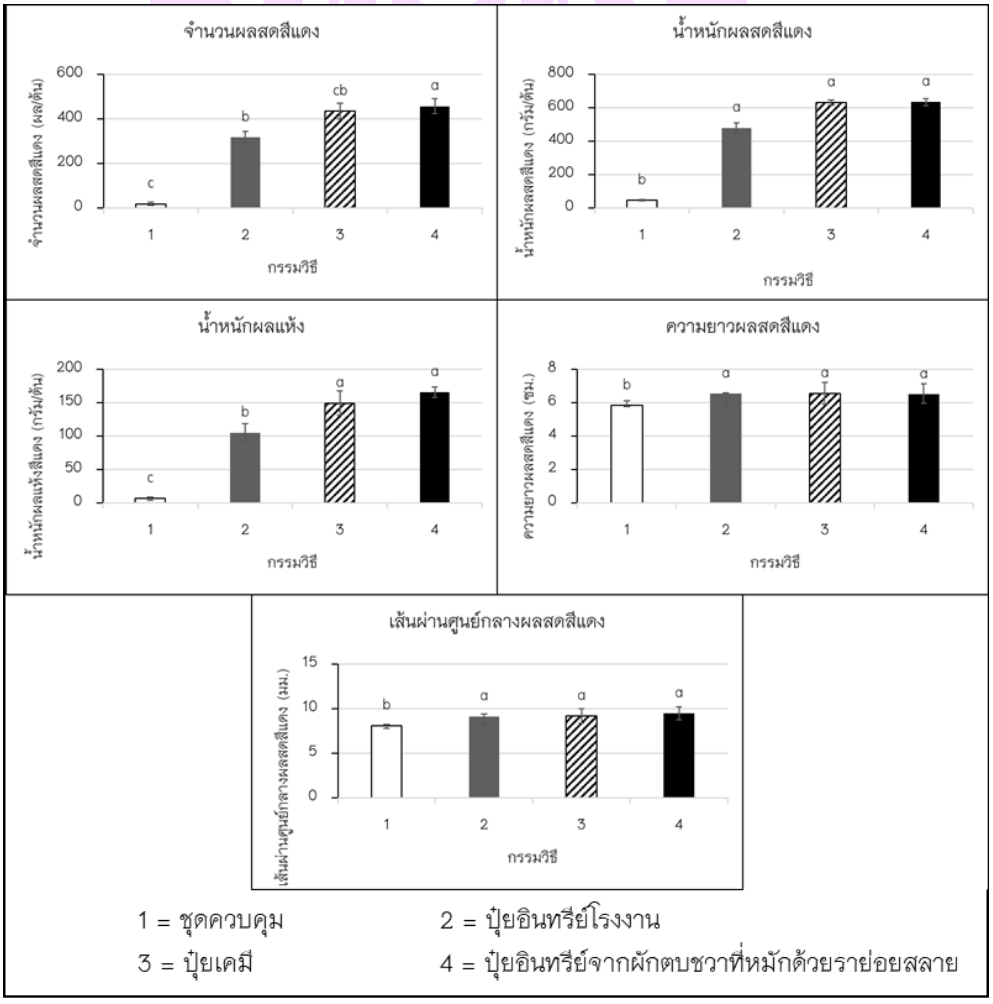
ตาราง 14 แสดงการเจริญเติบโตของต้นพริก

กรรมวิธี	ความสูงของต้น (เซนติเมตร)	ขนาดทรงพุ่ม (เซนติเมตร)	จำนวนกิ่งแขนง (กิ่ง)	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มิลลิเมตร)	พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)	วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ (วัน)
1. ชุดควบคุม	61.25±9.04^{b}	42.02±5.88^{b}	6.00±1.47^{b}	8.72±1.20^{b}	7.60±1.84^{b}	46.00±1.00^{d}
2. ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน	84.70±7.22^{a}	75.60±3.84^{a}	11.00±1.15^{a}	15.50±0.98^{a}	13.65±4.48^{a}	52.00±1.00^{c}
3. ปุ๋ยเคมี	92.60±6.45^{a}	75.28±2.49^{a}	11.00±0.69^{a}	16.77±1.65^{a}	13.76±1.18^{a}	55.67±1.53^{b}
4. ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย	90.20±10.87^{a}	80.35±1.93^{a}	13.00±0.80^{a}	17.61±1.40^{a}	15.98±1.43^{a}	58.00±1.00^{a}
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	10.93	7.09	15.70	11.88	20.66	1.44

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลผลิตและองค์ประกอบของผลพริก

จากการเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบของผลพริกจำนวน 10 ครั้ง ระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายมีจำนวนผลสดสีแดง น้ำหนักผลสดสีแดง น้ำหนักผลแห้งสีแดง และเส้นผ่านศูนย์กลางผลมากที่สุด เท่ากับ 456.00 ผล, 633.75 กรัม, 165.41 และกรัม 9.45 มิลลิเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีจำนวนผลสดสีแดง น้ำหนักผลสดสีแดง น้ำหนักผลแห้งสีแดง และเส้นผ่านศูนย์กลางผล เท่ากับ 433.00 ผล, 630.12 กรัม, 149.14 กรัม และ 9.16 มิลลิเมตร ตามลำดับ, ส่วนความยาวผลพริก พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 6.54 เซนติเมตร รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์โรงงานมีความยาวผล เท่ากับ 6.52 เซนติเมตร (ภาพ 20, ตาราง 15)



ภาพ 20 แสดงผลผลิตและองค์ประกอบของผลพริก

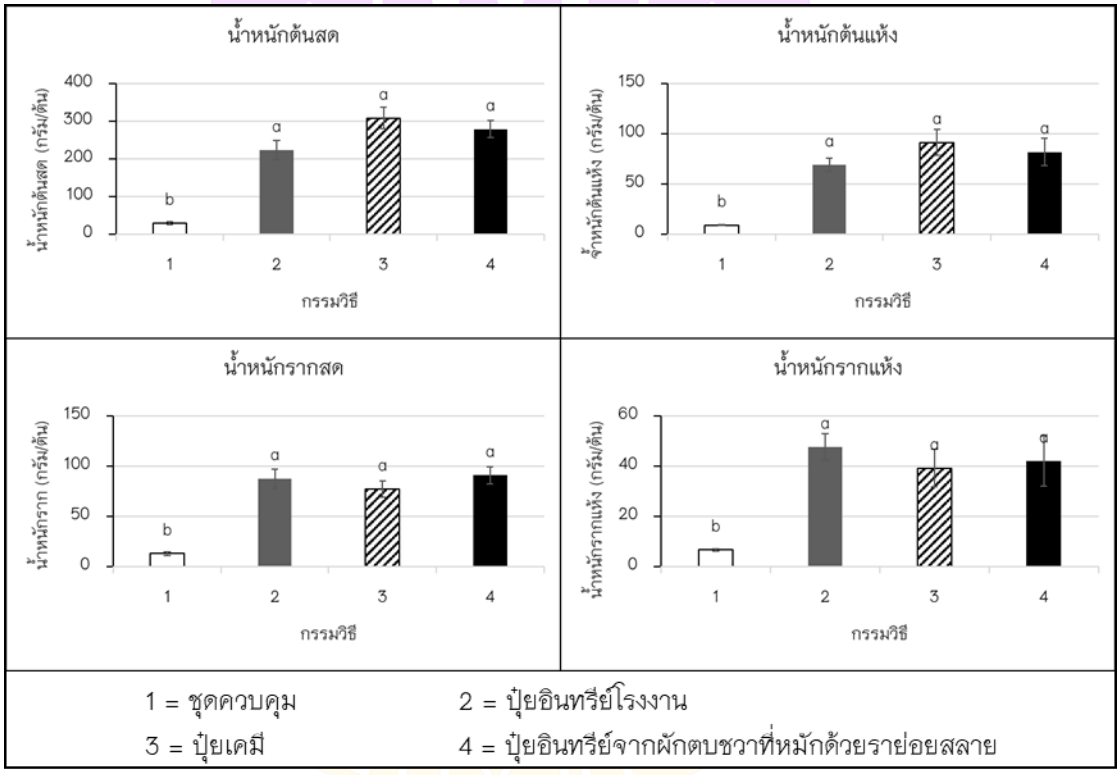
ตาราง 15 แสดงปริมาณผลผลิตและลักษณะทางกายภาพของผลพริก

กรรมวิธี	จำนวนผลสดสีแดง (ผล/ต้น)	น้ำหนักผลสดสีแดง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักผลแห้งสีแดง (กรัม/ต้น)	ความยาวผล (เซ็นติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางผล (มิลลิเมตร)
1. ชุดควบคุม	18.00±4.05^{c}	44.76±4.67^{b}	6.41±1.23^{c}	5.82±0.29^{b}	8.09 ±0.30^{b}
2. ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน	316.00±8.83^{b}	479.13±11.46^{a}	104.77±6.69^{b}	6.52±0.54^{a}	9.11±0.79^{a}
3. ปุ๋ยเคมี	433.00±7.63^{ab}	630.12±11.05^{a}	149.14±9.08^{a}	6.54±0.43^{a}	9.16±0.78^{a}
4. ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา่อยสลาย	456.00±6.54^{a}	633.75±9.18^{a}	165.41±3.80^{a}	6.48±0.29^{a}	9.45±0.69^{a}
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	31.5	32.75	29.09	4.93	5.59

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณชีวมวลของส่วนลำต้น และส่วนราก

ปริมาณชีวมวลของส่วนลำต้นและส่วนราก พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีน้ำหนักต้นสด และน้ำหนักต้นแห้งมากที่สุด เท่ากับ 307.97 กรัม และ 91.28 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย เท่ากับ 278.43 กรัม และ 81.79 กรัม ตามลำดับ, ส่วนน้ำหนักรากสด พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 90.72 กรัม รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน เท่ากับ 87.57 กรัม และน้ำหนักรากแห้ง พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์โรงงานมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 47.55 กรัม รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย เท่ากับ 41.97 กรัม (ภาพ 21, ตาราง 16)



ภาพ 21 แสดงปริมาณชีวมวลของส่วนลำต้นและส่วนราก

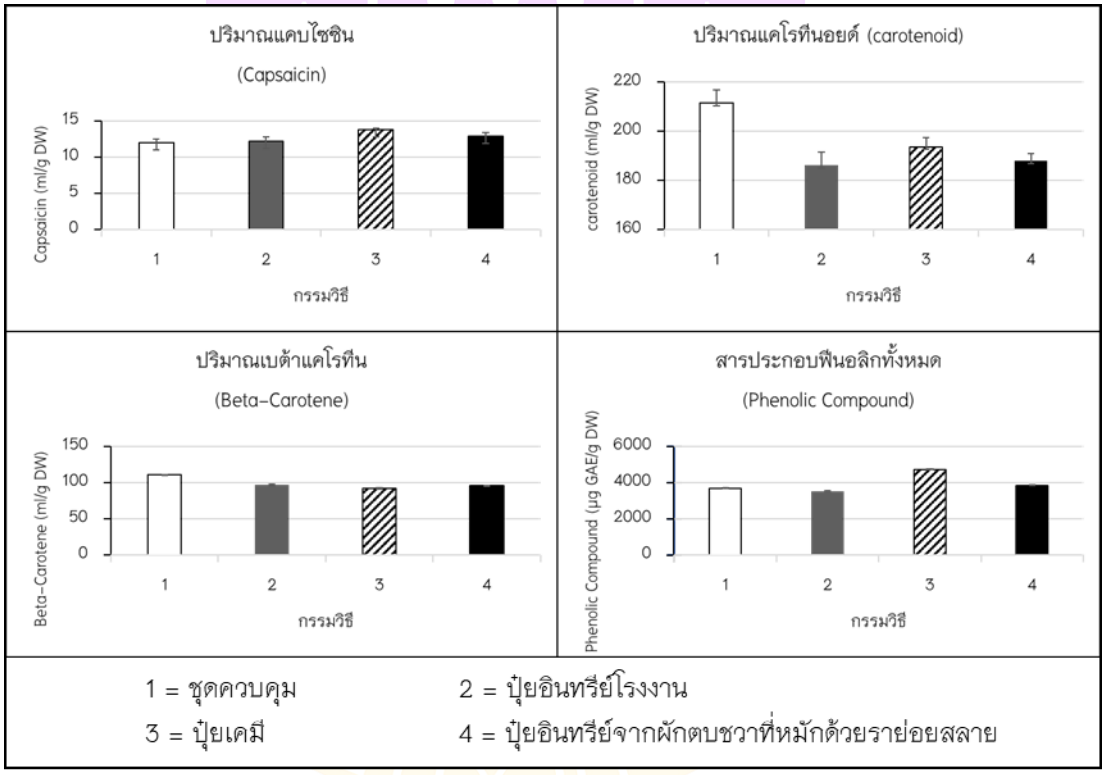
ตาราง 16 แสดงชีวมวลของส่วนลำต้นและรากพริก

กรรมวิธี	น้ำหนักต้นสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักต้นแห้ง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักรากสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักรากแห้ง (กรัม/ต้น)
1. ชุดควบคุม	29.02±0.97^{b}	8.98±0.11^{b}	12.77±0.43^{b}	6.63±0.11^{b}
2. ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน	222.77±6.26^{a}	68.89±6.43^{a}	87.57±2.36^{a}	47.55±1.33^{a}
3. ปุ๋ยเคมี	307.97±6.99^{a}	91.28±8.20^{a}	76.99±2.06^{a}	39.13±1.86^{a}
4. ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา่อยสลาย	278.43±5.67^{a}	81.79±7.61^{a}	90.72±2.12^{a}	41.97±2.49^{a}
F-test	*	*	*	*
CV (%)	11.48	17.59	12.89	22.89

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลพริก

ด้านปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญของผลพริก พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณสารแคปไซซินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 13.77 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 4,735.52 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย เท่ากับ 12.91 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 3,854.95 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ, ส่วนปริมาณปริมาณแคโรทีนอยด์และปริมาณเบต้าแคโรทีน พบว่า กรรมชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 211.43 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 110.62 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภาพ 22, ตาราง 17)



ภาพ 22 แสดงปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลพริก

ตาราง 17 แสดงปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลพริก

กรรมวิธี	ปริมาณแคบไซซิน (capsaicin) (ml/g DW)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoid) (mg/g)	ปริมาณเบต้าแคโรทีน (beta-carotene) (ml/g DW)	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (phenolic compound) (µg GAE/g DW)
1. ชุดควบคุม	11.98±0.54^{b}	211.43±11.09^{a}	110.62±0.24^{a}	3673.38±31.80^{b}
2. ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน	12.20±0.57^{b}	186.21±5.30^{b}	96.70±0.96^{b}	3521.20±39.38^{b}
3. ปุ๋ยเคมี	13.77±0.20^{a}	193.72±3.66^{b}	92.38±0.72^{c}	4735.52±17.46^{a}
4. ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา่ยอยสลาย	12.91±0.52^{ab}	187.89±3.21^{b}	95.90±0.37^{b}	3854.95±45.76^{b}
F-test	*	*	*	*
CV	3.79	3.39	0.64	8.88

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

วิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนการทดลองปลูกพริก

การศึกษาคุณสมบัติของดินก่อนปลูก พบว่า ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด–ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และอินทรียวัตถุ เท่ากับ 6.60 เปอร์เซ็นต์, 8.42, 0.03 เดซิซีเมนต่อเมตร และ 3.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 0.03 เปอร์เซ็นต์, 0.95 เปอร์เซ็นต์ และ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 18)

วิเคราะห์คุณสมบัติของดินหลังการเก็บเกี่ยวพริก

การศึกษาคุณสมบัติของดินหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า ดินปลูกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 0.12 เปอร์เซ็นต์ และ 1.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ค่าความเป็นกรดต่างในแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.01 – 8.03, ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์โรงงานมีค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด เท่ากับ 0.10 เดซิซีเมนต่อเมตร และ 6.86 เปอร์เซ็นต์, ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.95 – 1.08 เปอร์เซ็นต์ และ 0.03 – 0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 18)

ตาราง 18 แสดงคุณสมบัติของดินก่อนการทดลองปลูกพริก และดินหลังการเก็บเกี่ยวพริก

กรรมวิธี	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	กรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมน/เมตร)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
ดินก่อนปลูกพืช	6.60±0.40	8.24±0.04	0.03±0.02	3.07±0.41	0.03±0.01	0.95±0.06	0.03±0.00
1. ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย)	0.18±.0.02^{a}	10.01±0.46	0.03±0.00^{c}	3.06±0.29^{c}	0.03±0.0^{b}	0.95±0.04	0.03±0.00
2. ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน	0.20±0.11^{a}	8.59±0.26	0.10±0.02^{a}	6.86±0.76^{a}	0.11±0.01^{a}	0.98±0.07	0.03±0.01
3. ปุ๋ยเคมี	0.04±0.01^{b}	8.44±0.10	0.03±0.00^{c}	2.83±0.11^{c}	0.05±0.01^{b}	0.95±0.12	0.03±0.00
4. ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรา่อยสลาย	0.18±0.06^{a}	8.03±0.02	0.07±0.01^{b}	4.25±0.41^{b}	0.12±0.02^{a}	1.08±0.06	0.03±0.00
F-test	*	ns	*	*	*	ns	ns
CV (%)	41.76	3.06	17.79	10.80	14.48	7.59	15.14

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การทดลองที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงาน ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคเหี่ยวเหลืองพริกระดับโรงเรือน

5.1 การควบคุมโรคแอนแทรคโนสพริก (*C. capsici*, KPK00292)

จากการประเมินดัชนีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคแอนแทรคโนสในพริก และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคบนผลพริก หลังจากปลูกราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*C. capsici*, KPK00292) นาน 14 วัน และตลอดระยะการเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ต้นพริกที่แสดงอาการของโรคมีลักษณะจุดกลมขนาดเล็กบนใบมีสีน้ำตาลถึงสีดำทั่วใบและส่งผลให้ใบและดอกร่วง ส่วนอาการบนผล พบจุดวงกลมถึงวงรียุบตัวเป็นแอ่งและมีเมือกสีส้มปนดำกระจายอยู่บริเวณกลางแผล เมื่อแผลมีอายุมากจะมีวงซ้อนกันมีสีน้ำตาลหรือสีดำ โดยตำแหน่งแผลอาจอยู่ได้ทั่วผล เช่น กลางผล ไหล่ผล หรือปลายผล จากการทดลอง พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคแอนแทรคโนสบนต้น และบนผลพริกน้อยที่สุด เท่ากับ 10.00 และ 3.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เทียบเท่ากับชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่เชื้อก่อโรค) มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคแอนแทรคโนสบนต้นและบนผลพริก เท่ากับ 5.00 และ 12.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 40.00 และ 14.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 19, ภาพ 23)

ตาราง 19 แสดงการเกิดโรคแอนแทรคโนสบนต้นและบนผลพริกในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	การเกิดโรคแอนแทรคโนสบนต้นพริก (เปอร์เซ็นต์)	การเกิดโรคบนผลพริก (เปอร์เซ็นต์)
1. ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่เชื้อก่อโรค)	5.00±0.71^{b}	12.27±0.75^{bc}
2. ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย+ *C. capsici* (KPK00292)	45.00±4.18^{a}	40.94±1.75^{a}
3. ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน + *C. capsici* (KPK00292)	50.00±5.70^{a}	16.57±0.73^{b}
4. ปุ๋ยเคมี + *C. capsici* (KPK00292	40.00±5.00^{a}	14.53±1.49^{bc}
5. ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย + *C. capsici* (KPK00292)	10.00±3.54^{b}	3.37±0.58^{c}
F–test	*	*
CV (%)	14.27	6.58

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ±ส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน

ภาพ 23 แสดงลักษณะของโรคแอนแทรคโนสบนต้นและผลพริก

หมายเหตุ: [a = อาการเกิดโรคหลังจากการปลูกถ่ายโรคลงบนต้นพริก 21 วัน, b–d = ลักษณะของโรคแอนแทรคโนสบนผลพริกพริก, e = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA, f = ลักษณะของ setae และ acervuli, g = ลักษณะโคนีเดีย; conidia]

5.2 การควบคุมโรคเหี่ยวเหลืองพริก [*F. solani*, (TISTR3436)]

จากการประเมินความรุนแรงการเกิดโรคเหี่ยว (*Fusarium* wilt) ของต้นพริกหลังจากปลูกราสาเหตุโรคเหี่ยวของพริก [*F. solani*, (TISTR3436)] นาน 21 วัน พบว่า ต้นพริกที่เกิดโรคมีลักษณะใบและต้นพริกเริ่มเหี่ยวเหลืองต่อมาใบจะเริ่มร่วงโรยและต้นแห้งตายในที่สุด จากการทดลอง พบว่า ต้นพริกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีคะแนนการเกิดโรคและเปอร์เซ็นต์ดัชนีการเกิดโรคน้อยที่สุด เท่ากับ 0.42 คะแนน และ 8.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เทียบเท่ากับชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่เชื้อก่อโรค) มีคะแนนการเกิดโรคและเปอร์เซ็นต์ดัชนีการเกิดโรค เท่ากับ 0.00 คะแนน และ 0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมาคือชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ก่อโรค [*F. solani*, (TISTR3436)] มีคะแนนการเกิดโรคและเปอร์เซ็นต์ดัชนีการเกิดโรค เท่ากับ เท่ากับ 1.92 คะแนน และ 38.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีพบว่ามีคะแนนและดัชนีการเกิดโรคมากที่สุด

เท่ากับ 3.08 คะแนน และ 81.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 21, ภาพ 26)

ตาราง 20 แสดงคะแนนการเกิดโรคและเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเหี่ยว (*Fusarium* wilt) ของต้นพริกในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	คะแนนการเกิดโรค (คะแนน)	ดัชนีการเกิดโรค (เปอร์เซ็นต์)
1. ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่เชื้อก่อโรค)	0.00±0.00^{c}	0.00±0.00^{c}
2. ชุดควบคุม [ไม่ใส่ปุ๋ย + *F. solani* (TISTR3436)]	1.92±0.29^{b}	38.33±2.77^{b}
3. ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน + *F. solani* (TISTR3436)	2.75±0.62^{b}	55.00±6.43^{b}
4. ปุ๋ยเคมี + *F. solani* (TISTR3436)	3.08±0.90^{a}	81.67±8.01^{a}
5. ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย + *F. solani* (TISTR3436)	0.42±0.51^{c}	8.33±1.30^{c}
F–test	*	*
CV (%)	36.14	30.22

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ภาพ 24 แสดงลักษณะของโรคเหี่ยว (*Fusarium* wilt) ของต้นพริก อายุ 30 วัน หลังจากการปลูกถ่ายโรคลงบนต้นพริก 21 วัน

หมายเหตุ: [a = ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่เชื้อก่อโรค), b = ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและใส่เชื้อก่อโรค), c = ใส่ปุ๋ยเคมี, d = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากโรงงาน, e = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่หมักด้วยรา่อยสลาย]

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิดต่อการยับยั้งราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum capsici*) และโรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium solani*) ของพริก ในระดับห้องปฏิบัติการ (*In vitro*) พบว่า รา *R. oryzae* (UPPY29), *T. harzianum* (UPPY19) และ *M. ellipsoideus* (UPPY06) สามารถยับยั้งการเจริญของรา *C. capsici* (KPK00292) โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 83.52, 73.38 และ68.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถยับยั้งการเจริญของรา *F. solani* (TISTR3436) โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 74.76, 70.56 และ 50.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา และผลการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตพริก

2.1 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย จากการแยกจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักที่ระยะเวลา 30, 45 และ 60 วัน พบรา *Trichoderma* sp., *Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp. ซึ่งมีลักษณะสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกับรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ที่ใส่ไปในขั้นตอนการหมักและจากการศึกษาอัตราส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีคุณสมบัติปุ๋ยโดยรวมดีที่สุดมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 10.12 เปอร์เซ็นต์ 2.52 เปอร์เซ็นต์ และ 3.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพริก พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีผสมของผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตราส่วน 4:1:1:2:2 ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลพริกและปริมาณสารสำคัญในผลพริกมากที่สุด

การทดลองที่ 3 การผลิต คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่มีผสมของผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตราส่วน 4:1:1:2:2 ที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน

มีคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 (กรมวิชาการเกษตร, 2555) โดยมีเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอด และความเข้มข้นของสปอร์ของรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และ 9.52×10^5 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

การทดลองที่ 4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงานต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีการเจริญเติบโตเทียบเท่ากับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีและสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน โดยมีปริมาณผลพริกมากกว่าทุกกรรมวิธี

การทดลองที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงาน ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคเหี่ยวเหลืองพริกระดับโรงเรือน

5.1 การควบคุมโรคแอนแทรคโนสพริก *C. capsici* (KPK00292) พบว่า ต้นพริกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีเปอร์เซ็นต์ดัชนีการเกิดโรคบนต้นและบนผลพริกน้อยสุด เท่ากับ 10.00 และ 3.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เทียบเท่ากับชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่เชื้อก่อโรค)

5.2 การควบคุมโรคเหี่ยวเหลืองพริก *F. solani* (TISTR3436) พบว่า ต้นพริกในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีคะแนนและเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 0.42 คะแนน และ 8.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเทียบเท่ากับชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่เชื้อก่อโรค)

อภิปรายผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิดต่อการยับยั้งราสาเหตุโรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum capsici*) และโรคเหี่ยวเหลือง (*Fusarium solani*) ของพริก ในระดับห้องปฏิบัติการ (*In vitro*)

การทดสอบประสิทธิภาพของรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ รา *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งเจริญของราสาเหตุโรคพืชที่สำคัญ ได้แก่ โรคแอนแทรคโนส (*C. capsici*) และโรคเหี่ยวของพริก (*F. solani*) ระดับห้องปฏิบัติการ (*In vitro*) พบรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของราสาเหตุโรคแอนแทรคโนสในผลพริกที่เกิดจากราสาเหตุ *C. capsici*

(KPK00292) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับสูงถึงระดับสูงมาก โดยพบว่ารา *M. ellipsoideus* (UPPY06) และ *T. harzianum* (UPPY19) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งอยู่ในระดับสูงมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง เท่ากับ 68.31 และ 73.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ, ส่วน รา *R. oryzae* (UPPY29) พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งระดับสูงมากมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 83.52 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าราย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการยับยั้งราสาเหตุโรคเหี่ยวเหลืองของพริก [F. solani, (TISTR3436)] โดยพบ รา *M. ellipsoideus* (UPPY06) สามารถยับยั้งได้ในระดับปานกลาง เท่ากับ 50.58 เปอร์เซ็นต์, ส่วนรา *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) มีความสามารถยับยั้งในระดับสูง เท่ากับ 74.76 และ 70.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าราย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถเป็นปฏิปักษ์ต่อราก่อโรคแอนแทรคโนสและราก่อโรคเหี่ยวเหลืองของพริกได้ โดยเฉพราะอย่างยิ่งรา *R. oryzae* สามารถสร้างเส้นใยเข้าปกคลุมทับเส้นใยของรา *C. capsici* (KPK00292) และ *F. solani* (TISTR3436) ได้อย่างรวดเร็ว รองลงมาคือรา *T. harzianum* และ *M. ellipsoideus* ราทั้ง 2 ชนิดนี้มีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่ารา *R. oryzae* จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งราสาเหตุโรคพืชช้ากว่ารา *R. oryzae* (UPPY29) สอดคล้องกับงานวิจัยของ (สุรพงค์ คุณา, 2560) ได้นำรา *M. ellipsoideus*, *R. oryzae* และ *T. harzianum* มาทดสอบการยับยั้งเจริญของราสาเหตุโรคพืช ได้แก่ โรคใบไหม้แผลใหญ่ในข้าวโพดหวาน (*Exserohilum turcicum*) และโรคเหี่ยวของแคนตาลูป (*Fusarium oxysporum*) บนอาหาร PDA ด้วยวิธี dual culture technique พบว่ารา *R. oryzae*, *T. harzianum* และ *M. ellipsoideus* สามารถยับยั้งการเจริญของรา *E. turcicum* โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 85.04, 61.71 และ 61.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถยับยั้งการเจริญของรา *F. oxysporum* โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 61.67, 52.71 และ 48.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ (เฉลิมชัย แพะคำ, 2557) รายงานว่ารา *Trichoderma* sp. (UPPY19) รา *Mucor* sp. (UPPY06) และรา *Rhizopus* sp. (UPPY29) สามารถยับยั้งการเจริญของรา *Pyricularia oryzae* เท่ากับ 77.59, 68.97 และ 65.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องด้วยราย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด มีกลไกการแข่งขันต่อราสาเหตุของโรคและสามารถเป็นปฏิปักษ์ ด้วยการแก่งแย่งอาหาร พื้นที่อาศัย การเป็นปรสิต และภาวะการยับยั้ง อีกทั้งยังสามารถสร้างเอนไซม์ได้ หลายชนิด เช่น ไคทิเนส (chitinase) บีตา–1–3 กลูคาเนส (β–1–3 glucanase) โปรติเอส (protease) และเซลลูเลส (cellulase) จึงสามารถย่อยผนังเซลล์ของรา *Colletotrichum* sp. ST01 ได้ และยังสามารถชักนำให้พืชเกิดความต้านทานได้อีกด้วย (สุวิตา แสไพศาล, วีระศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์ และพัฒนา ศรีฟ้า ฮุนเนอร์, 2554; สายทอง แก้วฉาย, 2555; พรทิพย์ แย้มสุวรรณ, 2557)

การทดลองที่ 2 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย และผลการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตพริก

2.1 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย

จากการแยกชนิดของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ที่ระยะเวลาการหมัก 30, 45 และ 60 วัน พบว่าจุลินทรีย์ที่แยกได้มีลักษณะใกล้เคียงกับรายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ที่ใส่ลงไปในขั้นตอนการหมัก ในการตรวจชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ในกองผักชวาหมัก ซึ่งรา *Mucor* sp. และ *Trichoderma* sp. สามารถพบได้ทั่วไปในดินและเศษซากอินทรียวัตถุตามธรรมชาติ ซึ่งดำรงชีวิตเป็นผู้ย่อยสลายโดยมีบทบาทในการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์รวมถึงฮิวมัสในดิน (วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล, 2550) และจากการตรวจจุลินทรีย์ในวัสดุผลิตปุ๋ย ซึ่งรา *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. และ *Mortierella* sp. สามารถตรวจพบได้ในมูลสัตว์เกือบทุกชนิด สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Imran et al., 2014). ได้ทำการแยกและจำแนกชนิดของราในมูลสัตว์ พบชนิดของราที่หลากหลายต่างกัน ได้แก่ *Aspergillus* sp. มากสุดถึง 98.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Rhizopus* sp. และ *Mucor* sp. เท่ากับ 86.00 และ 78.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 8 กรรมวิธี ที่มีส่วนผสมของผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ ในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่ากรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีคุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์เป็นไปตามข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวตามมาตรฐานตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2555) โดยมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด และปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด เท่ากับ 1.51 เปอร์เซ็นต์, 2.52 เปอร์เซ็นต์, 3.27 เปอร์เซ็นต์ และ 26.93 เปอร์เซ็นต์ (ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์, 0.5 เปอร์เซ็นต์และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) มากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 2 อัตราส่วน 1:3:1:3:2 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.08 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากสุด เท่ากับ 11.86, ส่วนค่าการนำไฟฟ้าพบว่า กรรมวิธีที่ 3 อัตราส่วน 1:2:2:2:3 มีค่าการนำไฟฟ้ามากสุด เท่ากับ 1.02 เดซิซีเมนต่อเมตร รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 เท่ากับ 0.99 เดซิซีเมนต่อเมตร ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ไม่เกิน 10 เดซิซิเมนต่อเมตร),

ส่วนค่าความเป็นกรด–ด่าง พบว่า กรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีค่าความเป็นกลางสุด เท่ากับ 7.05 ซึ่งค่าความเป็นกรด–ด่าง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (5.5 – 8.5) ส่วนปริมาณความชื้น พบว่า กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาหมัก มีปริมาณความชื้นมากสุด เท่ากับ 55.67 เปอร์เซ็นต์ (สูง) ซึ่งเกินค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ความชื้นไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์)

จากการหมักผักตบชวาหมักด้วยรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) นาน 60 วัน พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.63 เปอร์เซ็นต์ 0.48 เปอร์เซ็นต์ และ 1.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 76.19 เปอร์เซ็นต์ 14.58 เปอร์เซ็นต์ และ 91.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ผักตบชวาหมักของโรงงาน เท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ 0.41 เปอร์เซ็นต์ และ 0.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ซึ่งคุณสมบัติของผักตบชวาหมักด้วยรายย่อยสลายที่ระยะเวลา 60 วัน พบว่ามีคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีขึ้นและมีการย่อยสลายที่สมบูรณ์ (กนิษฐา ทองเกล็ด, 2560) และพบว่ารายย่อยสลาย *Mucor* sp. (UPPY06), *Rhizopus* sp. (UPPY29) และ *Trichoderma* sp. (UPPY19) มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์สูง กล่าวคือสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ไซแลนเนส โปรติเอส และยูรีเอสได้ (เฉลิมชัย แพะคำ, 2557)

2.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพริก

จากการศึกษาผลการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของพริก พบว่า กรรมวิธีที่ 6 ที่มีส่วนผสมของ ผักตบชวาหมัก แร่ลีโอนาไดท์ หินภูเขาไฟ มูลสุกร และมูลไก่ อัตราส่วน 4:1:1:2:2 ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมากที่สุด เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ในกรรมวิธีที่ 6 อัตราส่วน 4:1:1:2:2 มีคุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณธาตุอาหารโดยรวมมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ จึงส่งผลทำให้ต้นพริกที่ได้รับปุ๋ยมีการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิตพริกมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ และส่งผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ที่สำคัญในผลพริกโดยรวมดีสุด แต่ยังคงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากปริมาณสารสำคัญในผลพริกจะอยู่กับลักษณะและความสามารถของพันธุ์พริกที่นำมาทดสอบ สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษา (Zewdie and Bosland, 2000; Ivonne, 2014)

การทดลองที่ 3 การผลิต คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่ผลิตได้จากการผลิตระดับโรงงาน

ศึกษาคุณภาพความสม่ำเสมอในขั้นตอนการผลิต ของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายในระดับโรงงาน จากการกำหนดขนาดกลุ่มประชากรในการสุ่มตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ตามสูตรของ เครซี่และมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970) เพื่อตรวจความสม่ำเสมอในด้านคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าเป็นไปตามข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2555) โดยมีปริมาณความชื้นเฉลี่ย เท่ากับ 22.48 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาณความชื้นไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก), ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย เท่ากับ 8.00 (กรด-ด่าง 5.5 – 8.5), ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย เท่ากับ 2.01 เดซิซีเมนต่อเมตร (ไม่เกิน 10 เดซิซิเมนต่อเมตร), ปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ย เท่ากับ 27.59 เปอร์เซ็นต์ (ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์) และปริมาณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ย เท่ากับ 9.85 (ไม่เกิน 20:1) ส่วนของปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 1.63 เปอร์เซ็นต์ (ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์), ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 2.59 เปอร์เซ็นต์ (ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์) และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเฉลี่ย เท่ากับ 3.14 เปอร์เซ็นต์ (ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากในขั้นตอนการหมักผักตบชวา มีการเติมรายอ่อยสลายลงไปในขั้นตอนการหมักจึงอาจทำให้มีอัตราการย่อยสลาย และปริมาณธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ (สุรพงค์ คุณา, 2560) ได้ศึกษาคุณภาพการย่อยสลายผักตบชวาระดับห้องปฏิบัติการ โดยการหมัก รา *M. ellipsoideus* (UPPY06) + *R. oryzae* (UPPY29) + *T. harzianum* (UPPY19) ร่วมกันนาน 60 วัน ได้ผักตบชวาหมักที่มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์ โดยมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เปอร์เซ็นต์เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เท่ากับ เท่ากับ 1.98, 8.83 และ 6.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนวัสดุที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่ต่างกัน เช่น จากงานวิจัยของ (ชัยมงคล ใจหล้า, 2559) พบว่า แร่ลีโอนาไดต์ของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ค่อนข้างเป็นกรดอ่อนเท่ากับ 4.5 และมีปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 55.41, 13.85 และ 3.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในส่วนของการเติมปุ๋ยคอก เช่น มูลไก่ และมูลสุกร เป็นวัตถุดิบในขั้นตอนการผลิตจะช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองสูง จากงานวิจัยของ (Brady and Weil, 2002 อ้างอิงใน ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) พบว่ามูลไก่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 4.4 และ

2.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของมูลสุกร มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 2.1 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีผลทำให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มีคุณสมบัติและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ที่ดีขึ้น ทั้งนี้คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดและความสม่ำเสมอของวัตถุดิบที่นำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์นั้น (กัญจน์วลัย ฤทธิ์เรืองเดช, 2554) ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร ทางโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ต้องมีการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์

จากการตรวจอัตราการมีชีวิตรอดของรา ย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด หลังจากผ่านกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระดับโรงงาน พบว่า รา ย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด มีอัตราการมีชีวิตรอดบนอาหาร PDA เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีความเข้มข้นของสปอร์ เท่ากับ 9.52×10^{5} สปอร์ต่อมิลลิลิตร (คิดเป็นร้อยละ 95.2 เปอร์เซ็นต์ จากความเข้มข้นที่ฉีดพ่นลงในเม็ดปุ๋ย) ซึ่งในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ระดับโรงงานมีขั้นตอนการลดความชื้นในเม็ดปุ๋ยด้วยความร้อนจากเตาเผาไฟที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเพลิงเผาไหม้ จำนวน 2 ครั้ง จึงส่งผลทำให้รา ย่อยสลายมีปริมาณลดลงจากร้อยละ 4.8 เปอร์เซ็นต์ (พลฤทธิ์ ทองคลี่, 2561) ได้ศึกษาความเหมาะสมของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ผสมรา *T. harzianum* สายพันธุ์ CB–Pin–01 ที่ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0.00 สปอร์ต่อมิลลิลิตร, 6.25×10^{7} สปอร์ต่อมิลลิลิตร, $6.70 \times 1\ 0^{8}$ และ 1×10^{9} สปอร์ต่อมิลลิลิตร โดยฉีดพ่นลงในกระบวนการผลิตปุ๋ยระดับโรงงาน พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ผสมรา *T. harzianum* สายพันธุ์ CB–Pin–01 ที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ของโรงงานมีอัตราการลดลงของราเกือบ 70 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านความร้อนครั้งแรก มีอัตราการรอดชีวิตเท่ากับ 26.67 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปุ๋ยที่ผ่านการอบลดความชื้นครั้งที่ 2 ไม่พบอัตราการรอดชีวิตของรา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการลดความชื้นมีผลต่อการลดปริมาณของจุลินทรีย์ในเม็ดปุ๋ยที่ลดลง (ธีรเดช ชีวนันทชัย, 2557) กล่าวว่าในกระบวนการผลิตปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูงในระดับอุตสาหกรรมนั้นจะต้องนำเม็ดปุ๋ยอินทรีย์มาผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อลดความชื้น และ ยับยั้งจุลินทรีย์ให้หยุดการย่อยสลายธาตุอนินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืช ซึ่งในกระบวนการดังกล่าวจะส่งผลต่อปริมาณจุลินรีย์ที่ลดลง และทั้งนี้อัตราการอยู่รอดของรา ย่อยสลายขึ้นอยู่กับความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความเป็นกรด–ด่าง ความชื้น อุณหภูมิ แหล่งพลังงาน เป็นต้น

การทดลองที่ 4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงานต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก

ต้นพริกที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับต้นพริกที่ใส่ปุ๋ยเคมี ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร ของปุ๋ยเคมีก็เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว พืชจึงสามารถดูดซับธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีได้ทันทีในขณะที่อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์จะเป็นไปอย่างช้า ๆ เนื่องจากธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น ธาตุไนโตรเจนอยู่ในสาร ประกอบประเภทโปรตีน เป็นต้น ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินพืชจะไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีโดยต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน จึงจะปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นออกมาอยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้ (Woo-Jung Choi, Sang-Mo Lee and Hee-Myong Ro, 2003) ส่วนปริมาณผลพริก พบว่าต้นพริกที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายมีปริมาณผลผลิตมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ เนื่องด้วยลักษณะดินที่ใช้ในการทดลองมีส่วนผสมของดินและแกลบดำ (อัตรา 2:1) จึงส่งผลทำให้อนุภาคของปุ๋ยที่เป็นประโยชน์ไม่สามารถยึดเกาะกับอนุภาคของดินได้และประกอบกับการลดน้ำจึงทำให้อนุภาคของธาตุอาหารปุ๋ยเคมีไหลไปกับน้ำจึงส่งผลทำให้ผลผลิตลดลง

การวิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนปลูกพืช พบว่าดินก่อนปลูกพริกมีความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และอินทรียวัตถุ เท่ากับ 6.60 เปอร์เซ็นต์, 8.42 (ค่อนข้างด่างปานกลาง), 0.03 เดซิซีเมนต่อเมตร (ไม่เค็ม ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อพืช), และ 3.07 เปอร์เซ็นต์ (ค่อนข้างสูง) ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 0.03 เปอร์เซ็นต์ (ต่ำมาก), 0.95 เปอร์เซ็นต์ (ต่ำ) และ 0.03 เปอร์เซ็นต์ (ต่ำมาก) ตามลำดับ ขณะที่ดินหลังการเก็บเกี่ยวในทุกกรรมวิธี มีค่าเท่ากับ 0.04-6.60 เปอร์เซ็นต์, กรรมวิธีใส่ปุ๋ยอินทรีย์โรงงาน ใส่ปุ๋ยเคมีและ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย เท่ากับ 8.03 – 8.59 (ด่างปานกลาง) และชุดควบคุม เท่ากับ 10.01 (ด่างจัดมาก), 0.03-0.10 เดซิซิเมนต่อเมตร เมตร (ไม่เค็ม ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อพืช), และ 2.83-6.86 เปอร์เซ็นต์ (ค่อนข้างสูง) ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 0.03-0.12 เปอร์เซ็นต์ (ต่ำ), 0.95 เปอร์เซ็นต์ (ต่ำ) และ 0.03 เปอร์เซ็นต์ (ต่ำมาก) ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่าดินหลังการเก็บเกี่ยวในชุดควบคุมและกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าการนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลง ขณะที่ปริมาณ

ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น เนื่องจากกรรมวิธีการที่ใส่ปุ๋ยโดยปุ๋ยแต่ละชนิดมีการปลดปล่อยธาตุอาหารเข้าสู่พืชและมีปริมาณธาตุอาหารบางส่วนที่ตกค้างในดินจึงทำให้ในดินหลังการทดลองปลูกพืชมีปริมาณธาตุที่สูงขึ้น สอดคล้องกับงานทดลองของ (อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2543) รายงานว่า เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์เติมลงในดิน มีผลทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงขึ้น ในส่วนชุดควบคุมมีปริมาณธาตุอาหารลดลงเพียงเล็กน้อย และเท่ากับปริมาณธาตุอาหารในชุดดินก่อนการทดลองปลูกพืช

การทดลองที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายที่ได้จากการผลิตระดับโรงงาน ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนสและโรคเหี่ยวเหลืองพริกระดับโรงเรือน

จากการประเมินประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการควบคุมโรคแอนแทรคโนส และโรคเหี่ยวเหลืองพริก พบว่าต้นพริกที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายมีดัชนีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคแอนแทรคโนสบนต้นและบนผลน้อยที่สุด เท่ากับ 10.00 เปอร์เซ็นต์ และ 3.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับการทดสอบการควบคุมโรคเหี่ยวเหลืองในพริก พบว่า มีคะแนน และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยที่สุด เท่ากับ 0.42 คะแนน และ 8.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิดที่อยู่ในปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาหมัก สามารถกระตุ้นให้พืชเกิดกลไกการชักนำให้เกิดความต้านทานต่อการเข้าทำลายของราสาเหตุโรคพืช อีกทั้งรายย่อยสลายยังเป็นปรสิตภายในของราสาเหตุโรคพืช นอกจากนี้ยังมีการแข่งขันการใช้อาหารและการครอบครองการใช้พื้นที่กับโรคพืช และการสร้างสารปฏิชีวนะเพื่อยับยั้งหรือทำลายราสาเหตุโรคพืช (ศิรพร อ่ำทอง, 2557) มีรายงานว่ารา *Trichoderma* spp. เป็นราปฏิปักษ์ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมราสาเหตุโรคพืช และสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืช อีกทั้งยังมีกลไกการสร้างสารปฏิชีวนะ การแข่งขัน การเป็นปรสิต และการชักนำให้พืชเกิดความต้านทาน เช่น *T. harzianum*, *T. viride* และ *T. virens* และสามารถควบคุมราสาเหตุโรคพืชหลายชนิด เช่น *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp., *Sclerotium rolfsii*,, *Alternaria* spp., *Colletotrichum* spp., *Sclerotinia sclerotiorum* และ *Botrytis cinerea* เป็นต้น (สายทอง แก้วฉาย, 2555)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรหาวัตุดิบชนิดอื่น ๆ และทำการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบเพื่อนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบที่อาจจะขาดแคลนในอนาคต เพื่อให้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต่อเนื่อง

2. ในการย่อยสลายผักตบชวาหรือวัสดุทางการเกษตรระดับโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ ควรนำเอารายย่อยสลาย *M. ellipsoideus*, *R. oryzae* และ *T. harzianum* เข้าไปช่วยในขั้นตอนการหมักเพื่อลดระยะเวลาในการหมักอีกทั้งรายย่อยสลายยังช่วยในการย่อยผักตบชวาให้มีคุณภาพดีขึ้นและยังสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรคพืช

บรรณานุกรม

เกตน์ณนิภา วันชัย. (2556). การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่นที่ตรึงอยู่บนวัสดุชนิดต่าง ๆ ในการปรับปรุงคุณภาพดินนาข้าวที่เกิดอุทกภัย กรณีศึกษา : อ.บางบาล จ.พระนครศรีอยุธยา. **มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา**, 11–13.

เกษม สร้อยทอง. (2532). **การควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี**. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). **คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ดินทางกายภาพ**. กรุงเทพฯ: กระทรงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. (2551). **คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. (2555). **การขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียน และการแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. ๒๕๕๕**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2557). **โรคแอนแทรคโนสของพริก**. ข่าวพยากรณ์และเตือนภัยการระบาดศัตรูพืช. สำนักงานเกษตรจังหวัดตราด. ตราด, 1(2).

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2559). **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กนิษฐา ทองเกล็ด. (2560). **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา โดยเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลาย เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

กัญจน์กรวลัย ฤทธิ์เรืองเดช. (2554). **การประเมิน ลักษณะ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ที่จำหน่อยในเขตภาคกลาง และผลของกระบวนการผลิตแบบปั้นเม็ดต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์**. วิทยานิพน์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิระเดช แจ่มสว่าง. (2538). การควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราด้วยเชื้อราไตรโคเดอร์มา: ตอนที่ 2. หลักการและบทบาท. **วารสารเคหเกษตร**, 19(10), 159–165.

จิระเดช แจ่มสว่าง. (2547). **การควบคุมโรคผักโดยชีววิธี**. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร การควบคุม ศัตรูพืชโดยชีววิธีในการปลูกผักระบบไม่ใช้ดิน และภายในโรงเรือน จัดโดย สำานักงานกองทุน สนับสนุนการวิจัย (สกว.) (ชุดโครงการ–การจัดการศัตรูพืช

แบบผสมผสาน) และคณะเทคโนโลยี การเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2547 ณ. อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

จิระเดช แจ่มสว่าง, กนกนาฏ เรืองวิเศษ อำไพวรรณ ภราดร์นุวัฒน์ ชวลิต ฮงประยูร วันทนีย์ ชุ่มจิตต์ และ สุขวัฒน์ จันทรปรรณิก. (2540). ศักยภาพของเชื้อราไทรโคเดอร์มาในการลดปริมาณเชื้อไฟทอฟธอราและเพิ่มความสมบูรณ์ของทุเรียนที่เป็นโรครากเน่า. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35**. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์., 265–276.

จิระเดช แจ่มสว่าง, วรรณวิไล อินทนู, ถวัลย์ คุ้มช้าง และวาริน อินทนา. (2546). การควบคุมโรคเน่าระดับดินของมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* โดยใช้เชื้อรา *Trichoderma harzianum* ชนิดสดคลุกเมล็ดและใส่วัสดุเพาะกล้า. **วิชาการอารักขาพืชแห่งชาติครั้งที่ 6 อารักขาพืช**: หนึ่งทศวรรษแห่งการอารักขาพืชในประเทศไทย. ขอนแก่น: โรงแรมโชฟิเทลราชาออคิด. 349–360.

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

ชนวน รัตนวราหะ. (2544). **เกษตรอินทรีย์**. กรุงเทพฯ: กลุ่มพัฒนาระบบการจัดการสหกรณ์ด้านพืชผักไม้ผล กองสหกรณ์การเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร.

ชัยมงคล ใจหล้า. (2557). **การปรับปรุงกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตรากว๊านพะเยา ตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์**. วิทยานิพนธ์ วท.ม. มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

ธงชัย มาลา. (2557). บทบาทของราอาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาต่อพืช ดิน และสิ่งแวดล้อม. **Thai Journal of Science and Technology**, 2(2), 91–101.

ธารทิพย์ ภาสบุตร, ธนิตย์ ปล่องบรรจล และ กรรณิการ์ เพี้ยนภักตร์ (2548). รวบรวมและจำแนกชนิดเชื้อราสกุล *Colletotrichum* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของไม้ผลและพืชเศรษฐกิจ. **รายงานผลงานวิจัยกลุ่มงานวิทยาไมโคกองโรคพืช และจุลชีววิทยากรมวิชาการเกษตร**, กรุงเทพฯ, 1–16.

ธีรเดช ชีวนันทชัย. (2557). จลนพลศาสตร์อุณหภูมิอบแห้งของปุ๋ยเม็ดอินทรีย์คุณภาพสูง. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**, 4(1), 1–27.

นันทิการ์ เสนแก้ว, อภิญญา สุราวุธ และ กลอยใจ คงเจี้ยง. (2558). การพัฒนาและทดสอบเทคโนโลยีการผลิตพริกและพืชผักเศรษฐกิจที่เหมาะสมในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง. รายงานโครงการวิจัย. **กรมวิชาการเกษตร**, 4–20.

นิจพร ณ พัทลุง และ นิชาพร ณ พัทลุง. (2552). ผลของปุ๋ยอินทรีย์ เคมี และชีวภาพ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศสีดา**. วารสารวิจัยพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์,** 4(2), 7–18.

นิศากร เจริญดี. (2545). **การผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากผักตบชวา**. ใน การประชุมการป่าไม้ประจำ ปี 2545. กรุงเทพฯ: กรมป่าไม้.

นิสากร วิเวกวินย์. (2546). **อิทธิพลของการเติมหัวเชื้อ และ/หรือ การเติมอากาศต่อการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา**. วิทยานิพน์ วท.บ., มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

นิชรัตน์ ศรีโสภณ, เฉลิมชัย แพะคำ และ วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก. (2558). การคัดเลือกจุลินทรีย์ดินในการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายผักตบชวาหมักและเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืช เพื่อผลิตปุ๋ยหมักผักตบชวา. **วารสารแก่นเกษตร**, 43(1), 367–372.

นุจารี ประสิทธิ์พันธ์ และ พิศุทธิ์ เอกก้านตรง. (2527). **การแยก การทำให้บริสุทธิ์และการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวา (**Water Hyacinth or *Eichhornia crassipes* Solms**)**. ใน รายงานค้นคว้าวิจัยประจำปี 2527 (หน้า 210). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญชัย งามวิทย์โรจน์, สมทรง เจริญภัณฑูรย์ ธีระเดช คุรุวุฒิ และ พงษ์พัฒน์ เสมอคำ. (2555). ใน **การบริหารจัดการผักตบชวาใน ระบบลุ่มแม่น้ำ** (27 ม.ค. 2555). สำนักวิจัยพัฒนาและอุทกวิทยา: กรมทรัพยากรน้ำ.

บุญญวดี จิระวุฒิ. (2540). **การทำให้เกิดโรคของเชื้อรา *Colletotrichum capsici.* บนผลพริก และถ่ายทอดเชื้อจากผลที่เป็นโรคส่วนเมล็ดและต้นกล้า**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประนอม ชำนาญ (ผู้บรรยาย). (2552). (25 มิถุนายน 2552). ใน **ผักตบชวากับปัญหาในแหล่งน้ำและการนำไปใช้ประโยชน์**. กลุ่มงานแผนสิ่งแวดล้อม: สำนักงานสิ่งแวดล้อม ภาคที่ 6 นนทบุรี.

พรทิพย์ แย้มสุวรรณ. (2557). **การคัดเลือก กลไกการเป็นปฏิปักษ์และการประยุกต์ใช้เชื้อรา *Trichoderma harzianum* Rifai เพื่อควบคุมโรครากขาวของยางพารา**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

พรอุมา เซ่งแซ่, นันทิการ์ เสนแก้ว และ บรรเทา จันทร์พุ่ม. (2556). ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมในการปลูกพริกชีอินทรีย์. **กรมวิชาการเกษตร**, 371–385.

พลฤทธิ์ ทองคลี่. (2561). **การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา และการควบคุมคุณภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

พิทยากร ลิ่มทอง และ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. (2540). **ระดับธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมัก ในกลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้**. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ (หน้า 70–81). กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. (2551). **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

รัชนี ธงภูเขียว. (2534). **ผักตบชวา**. สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2561, จาก http://www.biogang.net/biodiversity_view.php?menu=biodiversity&uid=*12221*&id=*118417.*

รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. (2540). **พริก**. พืชเครื่องเทศและสมุนไพร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ, 66–73.

ลลิตา ธีระสิริ. (2542). ผักพื้นบ้านและอาหารพื้นบ้านต้านทานโรคมะเร็ง. **บทความสัมนาวิชาการเรื่อง ผักพื้นบ้านและอาหารพื้นเมือง**. พื้นเมือง. หน้า 30–38. สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.

วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล. (2550). **จุลินทรีย์ในดิน ในพื้นที่โครงการสร้างป่า และป่าอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อ.ครบุรี นครราชสีมา**. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรวุฒิ อ้ายดวง, บุญร่วม คิดค้า มนัส ทิตย์วรรณ และ วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก. (2561). ผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาหมักด้วยเชื้อราย่อยสลายต่อการควบคุมโรคเน่าคอดินของคะน้าสาเหตุจาก เชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงเรือน. **การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย”**, 10, 1–7.

วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก และ เฉลิมชัย แพะคำ. (2555). ผลของเชื้อจุลินทรีย์ท้องถิ่นในการผลิตปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตและต้านทานการเกิดโรคใบไหม้ของข้าว. **การประชุมวิชาการพะเยาวิจัย ครั้งที่ 1**, มหาวิทยาลัยพะเยา, 1, 136–140.

ศักดิ์ สุนทรสิงห์. (2537). **โรคของผักและการป้องกันกำจัด**. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลักเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 198.

ศิรพร อ่ำทอง. (2557). **ประสิทธิภาพของสารโพแทสเซียมซิลิเกตและเชื้อรา *Trichoderma harzianun* ในการลดโรคใบจุดสีน้ำตาล โรคเมล็ดด่างและเพิ่มผลผลิตของข้าว**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริพรรณ สุขขัง. (2560). **การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี**. สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2561, จาก http://biology.ipst.ac.th/?p=*3341*.

ศุกฤชชญา เหมะธุลิ และ สุชีลา เตชะวงค์เสถียร. (2560). ผลของสายพันธุ์พริกและเครื่องเทศต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์พริกปรุงรสสมุนไพร. **แก่นเกษตร**, 45(1), 272–278.

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2554a). **Beta Carotene/บีตา–แคโรทีน**. สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2561, จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/*2026*/beta–carotene.

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2554b). **Capsicum/พริก**. สืบค้นเมื่อ 26 สิงหาคม 2561, จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/*2589*/capsicum–%E*0*%B*8*%*9*E%E*0*%B*8*%A*3*%E*0*%B*8*%B*4*%E*0*%B*8*%*81*.

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2554c). **carotenoid/แคโรทีนอยด์**. สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2561, จาก http://www.foodnetworksolution .com/wiki/word /1228/carotenoid.

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2554d). **Phenolic compounds/สารประกอบฟีนอล**. สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2561, จาก http://www.foodnetworksolution. Com/wiki/word/ *2585*/phenolic–compounds.

สายทอง แก้วฉาย. (2555). การใช้ไตรโคเดอร์มาในการควบคุมโรคพืช. **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์**, 4(3), 108–123.

สำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัดพะเยา. (2559). **พะเยา" จากผักตบชวาที่กว๊านพะยา สู่โรงงานปุ๋ยอินทรีย์**. สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2562, จาก http://phayao.cdd.go.th.

สิริชัย สาธุวิจารณ์, จิราภา ออสติน พิมพ์นภา ขุนพิลึก สุภาพร สุขโต ทิพย์ดรุณี สิทธินาม เสาวนี เขตสกุล (2553). การคัดเลือกพันธุ์พริกขี้หนูผลสดที่ตอบสนองต่อการปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์. **กรมวิชาการเกษตร**, 2756–2767.

สิริวรรณ สุนทรศารทูล. (2550). **การศึกษาคุณสมบัติบางประการของรา *Mucor* sp. และยีสต *Saccharomyces cerevisiae* เพื่อการผลิตสาโทจากธัญพืชชนิดต่าง ๆ**. ปัญหาพิเศษ วท.บ., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุชีลา เตชะวงค์เสถียน. **พริก การผลิต การจัดการ และการปรับปรุงพันธุ์** (พิมพ์ที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัท เพรส มีเดีย จำกัด.

สุณิษา พลรักษ์. (2557). **การผลิตกรดแลกติกจากเชื้อรา *Rhizopus* sp. โดยใช้วิธีการหมักแบบแข็งบนเปือกมันสำปะหลัง**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

สุมิสา อรุณโน และ วีระศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์. (2556). การใช้เชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการกระตุ้นความต้านทานโรคต้นแตกยางไหลในแตงเทศ. **แก่นเกษตร**, 41(1), 135–142.

สุรพงค์ คุณา, กนิษฐา ทองเกล็ด บุญร่วม คิดค้า และ วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก. (2559). ผลของเชื้อรา่อยสลายและระยะเวลาในการหมักปุ๋ยต่อคุณภาพปุ๋ยหมักผักตบชวา. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**, 3(3), 1–7.

สุรพงค์ คุณา. (2560). **การทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวาจากการย่อยสลายด้วยเชื้อรา *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการควบคุมโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพดหวาน และโรคเหี่ยวของแคนตาลูป**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

สุวิตา แสไพศาล, วีระศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์ และพัฒนา ศรีฟ้า ฮุนเนอร์. (2554). การโคลนยีนไคติเนสจากเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ไอโซเลตที่มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นความต้านทานโรคใบจุดเป้ากระสุนในมะเขือเทศ. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 16(4), 342–347.

หมอชาวบ้าน. (2551). **พริก อาหารสมุนไพร**. สืบค้นเมื่อ 26 สิงหาคม 2561, จาก https://www.doctor.or.th/ask/detail/*5808*.

อธิคม ศรีม่วง และ อรพินธุ์ สฤษดิ์นำ. (2559). ผลของการตัดแต่งกิ่งและการให้ปุ๋ย สูตร 15–15–15 ต่อผลผลิตของพริก. **แก่นเกษตร**, 44(1), 136–140.

อนนท์ สุขสวัสดิ์. (2543). การจัดการฟางข้าวเพื่อการปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว. **วารสารวิชาการเกษตร**, 18(3), 280–286.

อนุรักษ์ สันป่าเป้า, วิไลลักษณ์ แดงสุวรรณ และ ปริศนา วงศ์ล้อม. (2562). ฤทธิ์ต้านเชื้อราของ *Trichoderma asperellum* V76-14 ต่อเชื้อรา *Sclerotium* sp. สาเหตุ โรครากและโคนเน่า. **แก่นเกษตร,** 47 (ฉบับพิเศษ 1). 1581-1594.

อรพรรณ วิเศษสังข์ และ จุมพล สาระนาค. (2558). **โรคแอนแทรคโนส (Anthracnose) หรือกุ้งแห้ง**. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัทสยามคัลเลอร์พริน จำกัด.

อาหารเสริมสมุนไพร แชมป์ออฟแชมป์. (2560). **พริกชี้ฟ้า สรรพคุณ และประโยชน์ของสารสกัดจากพริก**. สืบค้นเมื่อ 26 สิงหาคม 2561, จาก https://www.karatbarsaec.com.

อีสท์ เวสท์ ซีด จำกัด. (2562). **คู่มือการปลูกพริก**. นนทบุรี. อีสท์ เวสท์ ซีด จำกัด.

อุษาพร ภูคัสมาส. (2558). แคโรทีนอยด์สารสีในอาหาร. **สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**, 45(2), 46-48

Alvarez, Cano, J., Stchigel, A. M., Sutton, D. A., Fothergill, A. W., Salas, V. (2011). Two new species of *Mucor* from clinical samples. **Medical Mycology**, 49(1), 62-72.

Amini, J., and Sidovich, D. F. (2010). The Effects of Fungicides on *Fusarium Oxysporum* F. SP. *Lycopersici* Associated with *Fusarium* Wilt of Tomato. **Journal of Plant Protection Research**, 50(2), 172-178.

Anju, P. (1994). Antagonism of Trichoderma against fungal pathogen and their enzyme production. **Advance in Plant Sciences**, 7(1), 147-153.

Araceli Pena-Alvarez, Erika Ramirez-Maya and Luís Angel Alvarado-Suarez. (2009). Analysis of capsaicin and dihydrocapsaicin in peppers and pepper sauces by solid phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, 1216, 2843–2847.

Bae, H., D. P. Roberts, H.-S. Lim, M. D. Strem, S.-C. Park, C.-M. Ryu, R. L. Melnick, and B. A. Bailey. (2011). Endophytic *Trichoderma* isolates from tropical environments delay disease onset and induce resistance against *Phytophthora capsici* in hot pepper using multiple mechanisms. **Mol. PlantMicrobe Interact**, 24, 336-351.

Bae, S. J., Mohanta, T. K., Chung, J. Y., Ryu, M., Park, G., Shim, S., Hong, S. B., Seo, H., Bae, D. W., Bae, I., Kim, J. J. and Bae, H. (2016). T*richoderma* metabolites as biological control agents against *Phytophthora* pathogens. **Biological Control**, 92. 128-138.

Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri–industrial by–products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chem**, 99, 191–203.

Barnett and Hunter. (1972). Illustrated Genera of Imperfect Fungi. 3*rd Edition, Burgess Publishing Co., Minneapolis*, 241.

Benitez, T., Rincon A. M., Limon, M. C. and Codon, A. C. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma strains*. **International Microbiology**, 7, 249–260.

Błaszczyk, L., Siwulski, M., Sobieralski, K., Lisiecka, J., and J¸edryczka, M. (2014). *Trichoderma* spp. – application and prospects for use in organic farming and industry. J. **Plant Prot.** Res. 54, 309–317. doi: 10.2478/jppr–2014– 0047.

Bosland and Votava. (2012). **Peppers. Vegetable and spice capsicums**. 2nd ed. CABI, Cambridge.

Buchanan, B. B., Gruissem, W. and Jones R. L. (2000). **Biochemistry and molecular biology of plants**. ASPP press, Rockville.

Camprubi, A., Calvet, C. and Eschen, D. J. (1995). Growth enhancement of Citrus reshni after inoculation with *Glumus intraradices* and *Trichoderma aurcoviride* and associated effects on microbial population and enzyme activity in potingmixe. **Plant and Soil**, 173(2), 233–238.

Carvalho, D. D. C., Geraldine, A. M., Junior, M. L., and de Mello, S. C. M. (2015). Controle biologico do mofo–branco por *Trichoderma harzianum* em feijao em condicoes de campo. **Pesqui. Agropecuaria Bras**. 50, 1220–1224.

Chaturvedi, V., Chaturvedi, S., Ren, P., Li, X. and Victor, T. (2015). **Mycology Proficiency Testing Program**. New York: New York State Department of Health.

Dasa S.K, Charan Tejab, B. Duaryb, P. Kumar Agrawalc, S. and Bhattacharya, a. (2016). Impact of nutrient management, soil type and location on the accumulation of capsaicin in *Capsicum chinense* (Jacq.): One of the hottest chili in the world. **Scientia Horticulturae**, 213, 354–366.

Domínguez–Martínez, I., Meza–Márquez, M. M., Meza–Márquez, G., Proal–Nájera, J. and Gallardo–Velázquez, T. (2014). Determination of Capsaicin, Ascorbic Acid, Total Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of *Capsicum annuum* L. var. serrano by

Mid Infrared Spectroscopy (Mid–FTIR) and Chemometric Analysis. **J Korean Soc Appl Biol Chem**, 57, 133–142.

Doni, F., Isahak, A., Radziah, C., Zain C. M., Ariffin S. M., Nurashiqin, W., Mohamad, Wan., Mohtar, W., and Yusoff Wan. (2014). Formulation of *Trichoderma* sp. SL2 inoculants using different carriers for soil treatment in rice seedling growth. **Springer Plus**, 3. 1–5.

Ellis, M. B. (1972). **Dematiaceous Hyphomycetes**. *XI. Mycological Papers,* 131, 1–25.

Ellis, M. B. (1976). **More Dematiaceous Hyphomycetes**. *England: Commonwealth Mycological Institute*.

Ghisalberti, E. L., and Sivasithamparam, K. (1991). Antifungal antibiotics produced by *Trichoderma spp*. **Soil Biology and Biochemistry**, 23(11), 1011–1020.

Grattidge R.O, and Brien R. G. (1982). Occurrence of third race of *Fusarium* wilt of tomatoes in Queensland. **Plant Dis**, 66(165–166).

Harman, G. E. (2000). Myths and dogma of biocontrol: changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* (T22). **Plant Disease**, 84(4), 377–393.

Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I. and Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, 2, 43–56.

Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concept. **Plant Disease**, 87(1), 4–10.

Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I., and Monte, E. (2012). Plant–beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**, 158, 17–25. doi: 10.1099/mic.0. 052274–0

Hyakumachi, M. (1994). Plant growth promoting fungi from turgrass rhizosphere with potential for disease suspension. **Soil Microorganism**, 44, 53–68.

Imran, S. G., Razuqi, N. S. and Aziz, G. M. (2014). Isolation and Identification of Fungi Located in Horse Manure. **Indian Journal of Applied Research,** 8(4), 272–274.

Intana, W. (2003). **Selection and development of *Trichoderma* spp. for high glucanase, antifungal metabolites producing and plant growth promoting**

isolates for biological control of cucumber damping–off caused by *Pythium* spp. Doctoral dissertation, Ph.D., Kasetsart University, Bangkok.

Ivonne, D. M., Ofelia, G. M. M., Guillermo, O. R., José, P. N. and Tzayhri, G. V. (2014). Determination of Capsaicin, Ascorbic Acid, Total Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of *Capsicum annuum* L. var. serrano by Mid Infrared Spectroscopy (Mid–FTIR) and Chemometric Analysis. **Journal Korean Soc Appl Biol Chem**, *57*, 133–142.

Kant, M., Jonckheere, W., Knegt, B., Lemos, F., Liu, J., Schimmel, B.C.J., Villarroel, C.A., Ataide, L.M.S., Dermauw, W., Glas, J.J., Egas, C.J.M., Janssen, A.R.M., Van Leeuwen, T.B.S., Schuurink, R.C., Sabelis, M.W., Alba Cano, J.M. 2015. Mechanisms and ecological consequences of plant defence induction and suppression in herbivore communities. **Ann. Botany**, 115(7), 1015–1051.

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

Li, T., Tanga, J., Karuppiaha, V., Lia, Y., Xua, N. and Chen, J. (2020). Co–culture of *Trichoderma atroviride* SG3403 and *Bacillus subtilis* 22 improves the production of antifungal secondary metabolites. **Biological Control**, 140, 1–8.

Lunde and Kubo. (2000). Effect of polygodial on the mitochondrial ATPase of Saccharomycescerevisiae. **Antimicrob. Agents Chemother**, 44, 1943–1953.

Madhavi, M., Chandra, K. C. P., Reddy, D. R. R. and Singh, T. V. K. (2006). Integrated Management of Wilt of Chilli Incited by *Fusarium solani*. **indian journal of plant protection**, 34, 225–228.

MedThai. (2557). **พริกขี้หนู**. สืบค้นเมื่อ 26 สิงหาคม 2561, จาก https://medthai.com /%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%82%E0%B8%B5%E0%B9%89%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%B9/.

Mishra and Pandey. (2007). Lignocellulolytic enzyme production from submerged fermentation of paddy straw. **Indian J. Microbiol**, 47, 176–179.

Mohammad Reza, S.M. and Zahra, S. 2013. Evaluation of *Trichoderma* spp., as biological agents in some of plant pathogens. **Annals of Biological Research,** 4(3). 173–179

Mohiddin, F. A., Khan, M. R., Khan, S. M. and Bhat, B. H. (2010). Why *Trichoderma* is considered Super Hero (Super fungus) against the evil parasites. **Journal of Plant Pathology**, 9, 92–102.

Moyaa, P., Barrerad, V., Cipollonea, J., Bedoyaa, C., Kohana, L., Toledoa, A. and Sisternaa, M. (2020). New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth–promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres–barley* in Argentina. **Biological Control**, 141, 1–8.

Muntean, E. (2005). Quantification of carotenoids from pumpkin juice by HPLC–DAD. *Scientifical Researches.* **Agroalimentary Pocesses and Technologies**, 11, 123–128.

Nagata, M., and Yamashita, I. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **J. Japan Soc. Food Sci. Technol**, *39*, 925–928.

Nutrition and you. (2018). **Chili peppers nutrition facts**. สืบค้นเมื่อ 26 สิงหาคม 2561, จาก https://www.nutrition–and–you.com/chili–peppers.html.

Pal and Gardener. (2006). **Biological control of plant pathogens**. *The Plant Health Instructor doi:* 10.1094/*PHI–A–*2006–1117–02. *APSnet*, 1–25.

Pallabi, K., Anitha, K. and Ramani, N. (2016). Feeding Impact of The vegetable Mite,*TETRANYCHUS NEOCALEDONICUS* ANDRÉ (ACARI: TETRANYCHIDAE) ONMENTHA ROTUNDIFOLIAL. **International Journal of Recent Scientific Research**, 7(4), 10406– 10409.

Pathirana and Shahidi. (2005). Optimization of extraction of phenolic compounds from wheat using response surface methodology. **Food Chem**, 93, 47–56.

Porras, M., Barrau, C. and Romero, F. (2009). Influence of *Trichoderma* and soil solarization on strawberry yield. **Acta Hortic**, *842*, 389–392.

Prusky, G. T., Reidel, C. and Douglas, R. M. (2000). Environmental enrichment from birth enhances visual acuity but not spatial learning in mice. **Behavioral Brain Research**, 114, 11–15.

Rahman, M. S., Akhter, M. S., Maya, M. A., Rahman, A. H. M. A. and Akanda, A. M. (2011). Field Resistance of Chilli Cultivars Against Anthracnose Disease Caused by (*Colletotrichum capsici*). **Thai Journal of Agricultural Science**, 44(4). 243–250.

Rahman, M. A., Ansari, T. H.2,. Alam, M. F., Moni, J. R. and Ahmed, M. Efficacy of *Trichoderma* against *Colletotrichum capsici* Causing Fruit Rot Due to Anthracnose of Chilli (*Capsicum annum* L.). **The Agriculturists**, 16(2). 75–87.

Rani, G. S. D., Naik, M. K., Patil, M. B. and Prasad, P. S. (2009). Biological control of *Fusarium solani* causing wilt of chilli. **Indian Phytopathol**, 62, 152–156.

Rivera–Méndez, W. O., M., Morán–Diez, M. E., Hermosa, R. and Monte, E. (2020). *Trichoderma asperellum* biocontrol activity and induction of systemic defenses against *Sclerotium cepivorum* in onion plants under tropical climate conditions. **Biological Control**, 141, 1–9.

Rouhullah, D., Mohammad, A. A., Esmail, C., Gholamreza, M., Mohmoud, S., Gholam, A. M. and Mohammad, P. (2012). Identification of Fungal Communities in Producing Compost by Windrow Method. **Journal of Environmental Protection**, 3, 61–67.

Saba, H., Vibhash, D., Manisha, M., Prashant, K.mS., Farhan, H. and Tauseef, A. (2012): *Trichoderma* – a promising plant growth stimulator and biocontrol agent. **Mycosphere**, 3. 524–531.

Sahi and Khalid. (2007). In–vito biological control of *Fusarium oxysporum* causing wilt in *Capsicum annuum*. **Mycopathology**, 5(2), 85–88.

Sah, S. and Singh, R. (2015). Siderophore: structural and functional characterisation – a comprehensive review. **Agriculture (Poinohospodárstvo)**, 61(3). 97–114.

Schipper, M. A. A. (1984). **A revision of the genus *Rhizopus***. *Studies in Mycology,* 25, 1–9.

Setyowati, N., Muktamar, Z., Oktiasa, S. and Ganefianti D. W. (2014). Growth and Yield of Chili Pepper under Different Time Application of Wedelia (*Wedelia trilobata*) and Siam Weed (*Chromolaena odorata)* Organic Fertilizers. **Internationol Journal on Advanced Science Engineering Information Technology**, 4(6), 13–16.

Sharda and Lakshmi, g. (2014). WATER HYACINTH AS A GREEN MANURE FOR ORGANIC FARMING. **International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences.**, ISSN(E), 2321–8851; ISSN(P), 2347–4580.

Shi, W. L., Chen, X. L., Wang, L. X., Gong, Z. T., Li, S., Li, C. L. (2016). Cellular and molecular insight into the inhibition of primary root growth of Arabidopsis induced by peptaibols, a class of linear peptide antibiotics mainly produced by *Trichoderma* spp. J. Exp. Bot, 67. 2191–2205.

Shukla, N., Awasthi, R.P., Rawat, L. and Kumar, J. (2012). Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* under drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, 54. 78–88.

Sitara and Hasan. (2011). Studies on the efficacy of chemical and non chemical treatments to control mycoflora associated with chilli seed. **Pakistan Journal of Botany**, 43(1), 95–110.

Sotolu, A. O. (2010). **Management and utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for improved aquatic resources**. In: 25th Annual Conference of the Fisheries Society of Nigeria (FISON). *Lagos, Nigeria*, 162–170.

Sylvia, D. M., , Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G. and Zuberer, D. A. (2005). **Principles and Applications of Soil Microbiology** (2nd ed.). Pearson Education, 640.

Tang, W., Yang, H. and Ryder, M. (2001). Research and Application of *Trichoderma* spp. In Biological Control of Plant Pathogens. In: Bio–Exploitation of Filamentous Fungi (eds. Pointing, S.B. and Hyde, K.D.). **Fungal Diversity Research Series**, 6, 403–435.

The World's Healthiest Foods. (2018). **Chili pepper, dried**. สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2561, จาก http://www.whfoods.com/genpage.phptname=foodspice&dbid=29.

Thomma, B. P. H. J., Nurnberger, T. and Joosten, M. H. A. J. (2011). Of PAMPs and effectors: The blurred PTI–ETI dichotomy. **Plant Cell**, 23, 4–15.

Talkah, A. (2015). Effect of Organic Fertilizer Water Hyacinth on the Growth and Production Plant Taro (*Colocasia esculenta* L.). **Journal of Environment and Earth Science**, ISSN 2224–3216, 70–74.

Van Loon, L., Rep, M. and Pieterse, C. (2006). Significance of inducible defense–related proteins in infected plants. **Annu. Rev. Phytopatho**l, 44, 135–162.

Viterbo, A., Wiest, A., Brotman, Y., Chet, I. and Kenerley, C. (2007). The 18 mer peptaibols from Trichoderma virens elicit plant defence responses. **Molecular Plant Pathology**, 8(6), 737–746.

Walkley and Black. (1947). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, 37, 29–37.

War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant Signal Behav**, 7(10), 1306–1320.

Whipps, J. M. (2001). Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany**, 52, 487–511.

Woo–Jung, C., Sang–Mo, Lee. and Hee–Myong, R. (2003). Evaluation of contamination sources of groundwater NO_3^- using nitrogen isotope data: A review. **Geosciences Journal**, 7(1), 81–87.

Zapata–Sarmiento, D. H., Palacios–Pala, E. F., Rodríguez–Hernández, A. A., Medina Melchor, D. L., Rodríguez–Monroy, M. and Sepúlveda–Jiménez, G. (2020). *Trichoderma asperellum*, a potential biological control agent of *Stemphylium vesicarium*, on onion (*Allium cepa* L.). **Biological Control**, 140, 1–9.

Zewdie, Y., and Bosland, P. W. (2000). Evaluation of genotype, environment, and genotype–by–environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. **Euphytica**, 111, 185–190.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อรา

Potato dextrose agar (PDA)

Potato dextrose broth	26.5	กรัม
Agar	15–17	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร
Chloramphenical	0.05	กรัม

ต้มน้ำกลั่นปริมาตร 800 มิลลิลิตรให้เดือด จากนั้นเทส่วนประกอบต่าง ๆ ลง แล้วเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ส่วนประกอบของอาหารละลาย จากนั้นเทอาหารใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร ขวดละประมาณ 200 มิลลิลิตร ปิดจุกด้วยสำลี ปิดทับด้วยกระดาษ รัดด้วยยางรัด นำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที

Potato dextrose broth (PDB) ที่ผสม L–tryptophan

Potato dextrose broth	35.0	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร
L–tryptophan	0.1	กรัม
Chloramphenical	0.05	กรัม

ต้มน้ำกลั่นปริมาตร 800 มิลลิลิตรให้เดือด จากนั้นเทส่วนประกอบต่าง ๆ ลง แล้วเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ส่วนประกอบของอาหารละลาย จากนั้นเทอาหารใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร ขวดละประมาณ 200 มิลลิลิตร ปิดจุกด้วยสำลี ปิดทับด้วยกระดาษ รัดด้วยยางรัด นำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที

ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

วิธีวิเคราะห์ความชื้น

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

วิธีคำนวณ

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

วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน

1. วิธีการเตรียม Reagent

1.1 สารละลาย Potassium dichromate (Oxidizing agent) ความเข้มข้น 1 N ชั่ง Potassium dichromate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 49.0247 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร คนให้ละลายหมด ถ่าย และล้างใส่ Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

1.2 สารละลาย Ferrous sulfate heptahydrate (Reducing agent) ความเข้มข้น 0.5 N ชั่ง Ferrous sulfate heptahydrateจำนวน 139.0085 กรัม (หรือใช้ Ferrous ammonium sulfate) จำนวน 196.07 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ถ่าย และล้างใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติม 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.3 สารละลาย O-phenonthroline ferrous sulfate indicator ชั่ง O- phenontholine จำนวน 0.74 กรัม และ Ferrous sulfate heptahydrate จำนวน 0.35 กรัม ใส่ Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนจนละลายหมด

1.4 สารละลาย Silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ชั่ง Silver sulfate จำนวน 15 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 2,000 มิลลิลิตร เติม 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 1,000 มิลิลิตร คนให้เข้ากัน

2. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยจำนวน 0.1xxx กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย Potassium dichromate ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในตัวอย่างปุ๋ย เติม 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid หรือสารละลาย Silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างปุ๋ย อย่างช้า ๆ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน 16 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย O-phenontroline ferrous sulfate ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร

3. วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรต ด้วยสารละลาย Ferrous sulfate heptahydrate จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง แสดงว่าถึงจุดยุติ บันทึกผล

หมายเหตุ ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างปุ๋ย เตรียม และวิเคราะห์ เช่นเดียวกับตัวอย่างปุ๋ย

4. วิธีคำนวณ

$$\text{อินทรีย์คาร์บอน (\%)} = \frac{\text{0.3896 x N x มิลลิลิตรของ Potassium dichromate} \quad (C-D)}{\text{น้ำนักของตัวอย่าง (กรัม) x C}}$$

B = ปริมาณของ Potassium dichromate ที่เติมลงไปในตัวอย่าง และ Blank (มิลลิลิตร)

C = ปริมาตรของ Ferrous sulfate ที่ titrate พอดีกับ Potassium dichromate ใน Blank

D = ปริมาตรของ Ferrous sulfate ที่ titrate พอดีกับ Potassium dichromate ในตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นเป็น Normal ของสารละลายมาตรฐาน

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

ค่า C/N = (%O.C.)/(%TN)

%TN = ปริมาณ Total Nitrogen (เปอร์เซ็นต์)

วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรดด่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 10 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของปุ๋ยต่อน้ำ 1:2) แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งครึ่งชั่วโมง ทำการวัดค่า pH ด้วย pH-meter โดยนำ Glass electrode จุ่มลงในสารละลายตัวอย่าง เขย่าเบา ๆ เมื่อตัวเลขที่แสดงนิ่ง อ่านค่า pH และบันทึกผล

หมายเหตุ ในกรณีที่วิเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนปุ๋ย:น้ำ = 1:2 ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากตัวอย่างดูดน้ำมาก ให้ใช้อัตราส่วน ปุ๋ย:น้ำ = 1:10 และระบุไว้ในรายงานผลวิเคราะห์

วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยจำนวน 5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1 ใส่ใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดสภาพนำไฟฟ้าด้วย Conductivity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส บันทึกข้อมูล

วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 0.3xxx กรัม ใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 800มิลลิลิตร เติม Salicylic Acid จำนวน 2 กรัม จากนั้นเติม 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 40 มิลลิลิตร และ Sodium Thiosulfate Pentahydrate จำนวน 5 กรัม นำไปตั้งบนเตาย่อยตัวอย่าง ทำการย่อยตัวอย่างโดยใช้ไฟปานกลาง จนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำตาล ปิดไฟ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติม Mixed catalyst จำนวน 10 กรัม แล้วทำการย่อยอีกครั้งจนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดไฟทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย Sodium hydroxide ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และ Zinc granular จำนวน 5 กรัม นำ Kjeldahl flask ต่อกับเครื่องกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริกปริมาณ 100 มิลลิลิตร และสารละลาย Mixed indicator ปริมาณ 4–5 หยด ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายใน Erlenmeyer flask ปริมาณ 350 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทกับสารละลาย Hydrochloric acid (HCl) มาตรฐาน 0.2 N บันทึกผลทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

วิธีคำนวณ

$$\text{Total N (\%)} = \frac{\text{N(HCl) x \{มิลลิลิตร(HCl)–มิลลิลิตร(Blank)\} x 1.40067}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

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

2. Molybdovanadate reagent

ชั่ง Ammonium molybdate tetrahydrate จำนวน 40 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันทิ้งไว้ให้เย็นชั่ง Ammonium metavanadate ปริมาณ 2 กรัม ใส่ Beaker ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม 69–70 เปอร์เซ็นต์ Perchloric acid ปริมาณ 450 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็นค่อย ๆ รินผสมสารละลาย Ammonium molybdate tetrahydrate ลงในสารละลาย Ammonium metavanadate ใน Volumetric flask ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อนเขย่าให้เข้ากัน และถ่ายเก็บไว้ในขวดสีชา

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.1 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Standard P) 1,000 ppm ชั่ง Potassium dihydrogen phosphate ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.0984 กรัม ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลาย และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

3.2 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ Volumetric flak ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

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

4. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยจำนวน 0.3xxx–1.xxxx กรัมใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร หรือใส่ Digestion tube เติมกรดผสม Nitric acid: Perchloric acidปริมาณ 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน Hot plate หรือ Digestion block ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลายหรือสารละลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จากนั้นยกลงจาก Hot plate หรือ Digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นใส่ Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็นสารละลายมีตะกอนขุ่นนำไปผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

5. วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาณ 5 มิลลิลิตร หรือตามความเหมาะสมปริมาณความเข้มข้นของตัวอย่าง ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร เติม Molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:10 ของปริมาตร Volumetric flask) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำ Working standard 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm เติม Molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายตัวอย่างและ Working standard ไปวัดความเข้มของสี ด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร บันทึกค่า Absorbance (A) หรือ Transmittance (%T) หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่างกับกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และค่า A หรือ %T ของ Working standard (Standard curve)

6. วิธีคำนวณ

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

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

วิธีวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

1. การเตรียม Reagent

1.1 ชั่ง Calcium carbonate จำนวน 12.5 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติม 36–38 เปอร์เซ็นต์ Hydrochloric acid (HCl) ปริมาณ 105 มิลลิลิตร ลงไปทีละน้อย นำไปต้มจนเดือด ทิ้งไว้ให้เย็น เทใส่ Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

1.2 กรดผสม Nitric acid : Perchloric acid อัตรา 1:1 ผสม 69–70 เปอร์เซ็นต์ Nitric acid กับ 69–70 เปอร์เซ็นต์ Perchloric acid ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

2.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (Standard K) 100 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1,000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm (Working standard) ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 มิลลิลิตร ใส่ Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

3. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยจำนวน 1.xxxx กรัม ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดผสม Nitric acid: Perchloric acid จำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน Hot plate หรือ Digestion block ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลายหรือสารละลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จากนั้นยกลงจาก Hot plate หรือ Digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นใส่ Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็นสารละลายมีตะกอนขุ่นนำไปผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

4. วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 0–15 ppm ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตรเติมสารละลาย Suppressor 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันนำ Working standard 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm เติมสารละลาย Suppressor 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายไปวัดค่า Intensive of emission ด้วย Flame photometer หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างโดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่างกับกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโพแทสเซียมกับค่า Intensive of emission ของ Working standard (Standard curve)

5. วิธีคำนวณ

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

ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญในผลพริก

วิธีวิเคราะห์ปริมาณแคบไซซิน (Capsaicin)

การตรวจหาปริมาณแคบไซซินในผลพริกโดยดัดแปลงวิธีการของ Domínguez al., (2014) นำผลพริกสดสีแดงของแต่ละกรรมวิธีมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่นำมาบดให้ละเอียด ชั่ง 1 กรัม เติมสารละลายเอทิธ อะซิเตท (ethyl acetate) 25 มิลลิลิตร บ่มในที่เย็นนาน 2.30 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1 แล้วล้างตัวอย่างด้วยสารละลายเอทิธ อะซิเตท (ethyl acetate) จนกว่าตัวอย่างจะโปร่งใส จากนั้นเติมสารละลายเอทิธ อะซิเตท (ethyl acetate) 5 มิลลิลิตร และ อลูมินา (alumina) 1.5 กรัม ลงในคอลัมน์ (อลูมินา (alumina) อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) นำสารสกัดแคปไซซิน 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในคอลัมน์ใหม่ ปรับปริมาตรด้วยเมทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ (methanol 90 เปอร์เซ็นต์) ให้ได้ปริมาตร 22.5 มิลลิลิตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ 281 นาโนเมตรเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแคปไซซินบริสุทธิ์

แคปไซซิน (capsaicin) [(E)–N–(4–hydroxy–3–methoxybenzyl)–8–methyl–6–nonenamide] สกัดและหาปริมาณตามวิธีการของ Mexican regulations (NOM–F–389–1982) with a Perkin Elmer UV/VIS lambda 3 spectrophotometer (NOM–F–389–1982) โดยทำการเตรียมสารมาตรฐานแคปไซซินที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ไมโครลิตร ถึง 90 ไมโครลิตร ในเมทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ (methanol 90 เปอร์เซ็นต์) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ 281 นาโนเมตร โดยใช้เมทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ (methanol 90 เปอร์เซ็นต์) เป็น blank

วิธีวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid)

การตรวจหาปริมาณแคโรทีนอยด์ในผลพริกโดยดัดแปลงวิธีของ (Pallabi, Anitha and Ramani, 2016) โดยนำผลพริกสดสีแดงของแต่ละกรรมวิธีมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่นำมาบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างพริก 0.5 กรัม จากนั้นสกัดด้วยสารละลายอะซิโตน 80 เปอร์เซ็นต์ (acetone 80 เปอร์เซ็นต์) 25 มิลลิลิตร เขย่าและกรองตัวอย่าง ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตน 80 เปอร์เซ็นต์ (acetone 80 เปอร์เซ็นต์) ให้ได้ 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารที่สกัดได้ไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 470 nm, 645 nm และ 663 nm ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นบันทึกค่าการดูดกลืนคลื่นแสงและนำค่ามาคำนวณดังสูตรต่อไปนี้

Chlorophyll a = [12.7(A663) –2.69(A645)] x V/ (1000xW)

Chlorophyll b = [22.9(A645) – 4.68(A663)] x V/ (1000xW)

Total Carotenoid = [1000(A470) + 3.27{(chlorophyll A) – (chlorophyll B)}] x V/ (W x 229)

โดย A= ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (Abs)

V= ปริมาตรอะซิโตน (ml)

W= น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน (Beta–Carotene)

การตรวจหาปริมาณเบต้าแคโรทีนในผลพริกตามวิธีการของ Nagata and Yamashita (1992; frozen sample) โดยนำผลพริกสดสีแดงของแต่ละกรรมวิธีมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่นำมาบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างพริก 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลองสกัดด้วย อะซิโตน : เฮกเซน อัตราส่วน 4:6 (Acetone:Hexane) 20 มิลลิลิตร นำไปปั่นด้วยเครื่อง Homogenizer เป็นเวลา 1 นาที รินส่วนใสไปวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 663, 645, 505 และ 453 นาโนเมตร (nm) นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนดังสมการ

เบต้าแคโรทีน (มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม) = $0.216A_{663} – 1.22A_{645} – 0.034A_{505} + 0.452A_{453}$

วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Phenolic Compound)

การตรวจหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผลพริกตามวิธีของ Domínguez–Martínez et al., (2014) โดยนำผลพริกสดสีแดงของแต่ละกรรมวิธีมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่นำมาบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างพริก 0.5 กรัม สกัดด้วย เอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ (ethanol 80 เปอร์เซ็นต์) 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 นาที นำไปเซนตริฟิวจ์ที่ 10,000 รอบ เป็นเวลา 15 นาที นำสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติม Folim–phenol Reagent 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้นเติมโซเดียมคาร์บอเนต 15 เปอร์เซ็นต์ (Sodium carbonate 15 เปอร์เซ็นต์) 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปตั้งที่อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส 15 นาที จากนั้นปรับปริมาณด้วยน้ำ

กลั่นให้เป็น 25 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ($C_7H_6O_5$) เตรียมโดยละลายสารมาตรฐานแกลลิกจำนวน 0.00, 0.002, 0.004, 0.006, 0.008 และ 0.010 กรัม ละลายน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย volumetric flask จะได้ working solution ที่ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอล (polyphenal)

ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน

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

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

วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

1. การเตรียม Reagent

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

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) เติมน้ำ

กลั่น 600 มิลลิลิตร คนให้ละลายหมด ถ่าย และล้างใส่ใน volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติม 98% H_2SO_4 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

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

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. วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรตด้วยสารละลาย Ferrous sulfate จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง แสดงว่า ถึงจุดยุติ บันทึกผล

หมายเหตุ: ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างดิน เตรียมและวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างปุ๋ย

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)

วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจน

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

2. วิธีคำนวณ

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

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

1. การเตรียม Reagent

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

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

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

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 เติม

น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร ประมาณ 1600–1800 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าให้ละลาย แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

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

1.6 2.5% Ascorbic acid solution โดยละลาย Ascorbic acid 2.5 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และเก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะเก็บได้นานประมาณ 2 สัปดาห์

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

2.1 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Standard P) 1000 ppm

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

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

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

3. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

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

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. วิธีคำนวณ

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

วิธีวิเคราะห์โพแทสเซียม

1. การเตรียม Reagent

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

1.2 Stock solution solutions

1.3 Std. 1000 ppm K ชั่ง KCl 1.9066 กรัม ใส่ Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทผ่านกรวยกรองลง Volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร ใส่ Beaker ปรับปริมาตร

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

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

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

3. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างดิน จำนวน 5.xxxx กรัม ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารสกัด 1 N Ammonium acetate (NH4OAc) pH 7 ปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างดิน ปิดด้วยจุกยางเขย่า 30 นาที จากนั้นนำไปกรองแล้วเก็บไว้ในขวดพลาสติก

4. วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างตรวจวัดความเข้มข้น โดยตรวจวัดค่า Working standard ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer

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 การเตรียมราสาเหตุโรคพืช

การเตรียมสารแขวนลอยสปอร์ของรา *C. capsici* (KPK00292)

นำรา *C. capsici* (KPK00292) (ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน) ที่เลี้ยงในอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน ทำการขยายเชื้อ โดยใช้ cork borer เจาะปลายเส้นใยเชื้อรานำมาวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นเมื่อเชื้อราเจริญเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อแล้ว เตรียมสารแขวนลอยสปอร์โดยเทน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อลงบนจานอาหารจากนั้นใช้แท่งแก้วงอที่ฆ่าเชื้อเกลี่ยเชื้อ ให้สปอร์หลุดออกมาจากเส้นใยแล้วนำมากรองด้วยผ้าขาวบางปลอดเชื้อ ปรับความเข้มข้นให้ได้ 5×10^5 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ด้วย hemocytometer ทำการเติม Tween–20 ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ลงในสารแขวนลอยสปอร์ จากนั้นนำไปทดสอบในขั้นตอนตอนไป

การเตรียมสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อรา *F. solani* (TISTR3436)

นำเชื้อรา *F. solani* (TISTR3436) จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) มาเลี้ยงในอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน ทำการขยายเชื้อ โดยใช้ cork borer เจาะปลายเส้นใยเชื้อรานำมาวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นเมื่อเชื้อราเจริญเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อแล้ว เตรียมสารแขวนลอยสปอร์โดยเทน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อลงบนจานอาหารจากนั้นใช้แท่งแก้วงอที่ฆ่าเชื้อเกลี่ยเชื้อให้สปอร์หลุดออกมาจากเส้นใยแล้วนำมากรองด้วยผ้าขาวบางปลอดเชื้อ ปรับความเข้มข้นให้ได้ 5×10^5 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ด้วย hemocytometer จากนั้นนำไปทดสอบในขั้นตอนตอนไป

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นัทธพงศ์ ยะแสง
วัน เดือน ปี เกิด	11 สิงหาคม 2538
สถานที่เกิด	น่าน
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2559 วท.บ (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านสบสาย เลขที่ 63 หมู่ 4 ตำบลตาลชุม อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน รหัสไปรษณีย์ 55140
ผลงานตีพิมพ์	นัทธพงศ์ ยะแสง, บุญรวม คิดค้า และวิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก. (2562). การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ จากผัก ตบชวาโดยใช้เชื้อรายอ่อยสลาย Mucor ellipsoideus (UPPY06), Rhizopus oryzae (UPPY29) และ Trichoderma harzianum (UPPY19). การประชุมวิชาการระดับชาติ "วลัยลักษณ์วิจัย" ครั้งที่ 11, (หน้า 1-6). นครศรีธรรมราช, มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. นัทธพงศ์ ยะแสง, บุญร่วม คิดค้า และวิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก. (2562).การเปรียบเทียบคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ โรงงานกับปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา. แก่นเกษตร, 48(1). 1-6.