การใช้รา *Mucor ellipsoideus, Rhizopus oryzae* และ *Trichoderma harzianum* ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต และควบคุมโรคจากรา *Alternaria brassicicola* และ *Pythium aphanidermatum* ในคะน้า

วรวุฒิ อ้ายดวง

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
กรกฎาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การใช้รา *Mucor ellipsoideus, Rhizopus oryzae* และ *Trichoderma harzianum* ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต และควบคุมโรคจากรา *Alternaria brassicicola* และ *Pythium aphanidermatum* ในคะน้า

วรวุฒิ อ้ายดวง

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
กรกฎาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้รา *Mucor ellipsoideus*, *Rhizopus oryzae* และ *Trichoderma harzianum*
ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต
และควบคุมโรคจากรา *Alternaria brassicicola*
และ *Pythium aphanidermatum* ในคะน้า

ของ วรวุฒิ อ้ายดวง

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....ประธาน
(ดร.นครินทร์ สุวรรณราช)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ทิตย์วรรณ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญฤทธิ์ สินค้างาม)

.....กรรมการ
(ดร.บุญร่วม คิดค้า)

.....กรรมการ
(ดร.วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์รัตนา อัตตปัญโญ)
คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
กรกฎาคม 2561

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร.วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก ประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างยิ่ง ที่กรุณามอบโอกาสทางการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ชี้แนะแนวทางในการเรียนรู้ คอยอบรมสั่งสอน ให้ความช่วยเหลือ และดูแลเป็นอย่างดีเสมอมา ตลอดจนการให้คำปรึกษาและแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ทิตย์วรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ สินค้างาม และดร.บุญร่วม คิดค้า คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึง ดร.นครินทร์ สุวรรณราช ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้แนวทาง และคำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร นักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย และอาจารย์ในคณะทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา และเทคนิควิธีการในการทำวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนเจ้าหน้าที่สำนักเลขานุการและบุคลากร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ทุก ๆ ท่าน ที่คอยบริการอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน

ขอกราบขอพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ที่คอยให้โอกาส กำลังใจ และการสนับสนุนที่ดีในทุก ๆ ด้าน ตลอดมา

ขอขอบคุณ ทุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประจำปี 2559 (MSD59I0084) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ตลอดจนโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา และคณะเกษตรเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ที่คอยสนับสนุน และอำนวยความสะดวกสถานที่ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ วิทยานิพนธ์เล่มนี้คงเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษา เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัย และสร้างประโยชน์ให้กับสังคมต่อไป หากแต่มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

วรวุฒิ อ้ายดวง

เรื่อง: การใช้รา *Mucor ellipsoideus, Rhizopus oryzae* และ *Trichoderma harzianum* ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรคจากรา *Alternaria brassicicola* และ *Pythium aphanidermatum* ในคะน้า

ผู้วิจัย: วรวุฒิ อ้ายดวง, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์การเกษตร), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2561

ประธานที่ปรึกษา: ดร.วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก, **กรรมการที่ปรึกษา**: รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ทิตย์วรรณ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ สินค้างาม, ดร.บุญร่วม คิดค้า

คำสำคัญ: รายย่อยสลาย, ปุ๋ยหมักผักตบชวา, คะน้า

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของรายย่อยสลาย *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) ในการย่อยสลายผักตบชวา สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและการควบคุมโรคจากรา *Alternaria brassicicola* และ *Pythium aphanidermatum* ของคะน้า ในการทดลองที่ 1 การศึกษาการย่อยสลายผักตบชวาด้วยรายย่อยสลายในระดับโรงงาน พบว่า การหมักผักตบชวาด้วยรา *R. oryzae* และ *T. harzianum* นาน 60 วัน ได้ผักตบชวาหมักที่มีสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักดีที่สุด ตามหลักเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร (ปี 2551) เมื่อแยกเชื้อกลับเพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของราในผักตบชวาหมัก พบว่า ในทุก ๆ กรรมวิธี พบรายย่อยสลายแต่ละชนิดที่ใส่ลงไปในผักตบชวาหมัก และมีการพบรา *Rhizopus* sp. ในทุก ๆ กรรมวิธี ส่วนการทดลองที่ 2 การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า ในระดับโรงเรือน พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้คะน้ามีการเจริญเติบโตและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี โดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายมีผลผลิตคะน้าต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 41.76 กรัม รองลงมา คือ การใช้ปุ๋ยเคมี มีผลผลิตคะน้าต่อต้นเฉลี่ย 37.36 กรัม ซึ่งมากกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การทดลองที่ 3 การทดสอบผลของรายย่อยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคในคะน้าในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า รา *M. ellipsoideus*, *R. oryzae* และ *T. harzianum* มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของรา *P. aphanidermatum* สาเหตุโรคเน่าคอดิน เท่ากับ 61.06, 62.61 และ 80.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของรา *A. brassicicola* สาเหตุโรคใบจุดของคะน้า เท่ากับ 53.39, 86.83 และ 82.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการควบคุมโรคของคะน้าในระดับโรงเรือน พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย สามารถควบคุมการเกิดโรคเน่าคอดิน และโรคใบจุดของคะน้าได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเน่าคอดินน้อยที่สุด เท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับความรุนแรงของโรคใบจุดเท่ากับ 1.74 ของระดับคะแนนการเกิดโรคบนพื้นที่ใบ ตามลำดับ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยเคมี พบว่า ต้นกล้าคะน้ามีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเน่าคอดินสูงถึง 86 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับความรุนแรงของโรคใบจุดสูงถึง 3.20 ของระดับคะแนนการเกิดโรคบนพื้นที่ใบ ซึ่งมีการเกิดโรคมากกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น การนำปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายมาใช้ในการปลูกคะน้า สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และลดการเกิดโรคในคะน้าได้ดีที่สุด

Title: THE USE OF *MUCOR ELLIPSOIDEUS, RHIZOPUS ORYZAE* AND *TRICHODERMA HARZIANUM* IN DEGRADING WATER HYACINTH FOR GROWTH PROMOTING AND BIOLOGICAL CONTROL OF *ALTERNARIA BRASSICICOLA* AND *PYTHIUM APHANIDERMATUM* IN KALE

Author: Worawoot Aiduang, Thesis: M.S. (Agricultural Science), University of Phayao, 2018

Advisor: Dr.Wipornpan Nuangmek, **Co-advisor**: Associate Professor Dr.Manus Titayavan, Assistant professor Dr. Bunyarit Sinkangam, Dr.Bunraum Khitka

Keyword: fungal degradation, Water hyacinth compost, Kale

ABSTRACT

Studies were conducted to investigate effect of *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) and *Trichoderma harzianum* (UPPY19) in degrading water hyacinth contributed to the production of organic compost toward growth improvement and management of fungal disease caused by *Alternaria brassicicola* and *Pythium aphanidermatum* of kale. Experiment 1, studied of organic fertilizer derived from the decomposition of water hyacinth for 60 days in the closed room under modeled industrial processing condition. Results revealed that the best fermentation quality including physical properties chemical composition and the main nutrient content necessarily comply with the organic fertilizer standard of the Ministry of Agriculture was achieved in the silage with the contribution of *R. oryzae* and *T. harzianum* to overall decay of water hyacinth for 60 days. A method for the re-isolation demonstrated that all described fungal species were survived in compost. Experiment 2, effect of organic compost from water hyacinth commercial organic fertilizer and chemical fertilizer on the growth, yield and postharvest quality of kale growth under greenhouse conditions. Similar effects on growth parameters and postharvest quality were found where application of water hyacinth manure was applied at the rate of 500 kg/rai comparable to that of chemical fertilizer. Treatment obtained from water hyacinth had the maximum yield per plant of kale was 41.76 g followed by chemical fertilizer yielded per plant was 37.36 g. and yield were significantly higher than commercial manure treatment. Experiment 3, was designed to investigate the bio-efficacy of *M. ellipsoideus*, *R. oryzae* and *T. harzianum* in inhibiting *P. aphanidermatum* and *A. brassicicola* the caused agent of damping-off and leaf spot of kale under the laboratory conditions, *M. ellipsoideus*, *R. oryzae* and *T. harzianum* were inhibited growth of *P. aphanidermatum* 61.06, 62.61 and 80.61%, respectively and were inhibited growth of *A. brassicicola* 53.39, 86.83 and 82.39% respectively. Effect of the application of water hyacinth compost showed the lowest disease incidence (4%) recorded for damping-off and lowest disease severity was 1.74 for leaf spot compound with 86% and 3.20 in trial of chemical fertilizer. The results also showed significant difference between chemical fertilizer application compounds with control group.

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 3

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

แนวทางการจัดการผักตบชวาและการนำมาใช้ประโยชน์ 4

ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา 4

บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก 5

กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร 6

การนำเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ 8

ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์ 10

ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) 11

บทบาทของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช 11

บทบาทของการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการควบคุมโรคพืช 12

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12

3 วิธีดำเนินการวิจัย 18

การศึกษาคุณภาพการย่อยสลายผักตบชวาด้วยรายย่อยสลายในระดับโรงงาน . 18

การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าในระดับโรงเรือน 22

การทดสอบผลของรายย่อยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคเน่าคอดินและโรคใบจุดในคะน้า 24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย	30
การศึกษาคุณภาพการย่อยสลายผักตบชวาด้วยรายย่อยสลายในระดับโรงงาน	30
การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว ของคะน้าในระดับโรงเรือน	39
การทดสอบผลของรายย่อยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุ โรคเน่าคอดินและโรคใบจุด ในคะน้า	51
5 บทสรุป	57
สรุปผลการวิจัย	57
อภิปรายผลการวิจัย	60
ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก อุปกรณ์และวิธีในการเตรียมอาหารเลี้ยงและเพาะขยายรา	79
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์	80
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน	87
ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส	93
ภาคผนวก จ วิธีการวิเคราะห์คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า	95
ภาคผนวก ฉ การคำนวณหาน้ำหนักดินในพื้นที่ 1 ไร่	97
ภาคผนวก ช การคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นสปอร์ของรา	99
ประวัติผู้วิจัย	100

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1 แสดงคุณสมบัติและธาตุอาหารหลักของพืชจากปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์ ที่ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน 10

2 แสดงอุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด–ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของผักตบชวาหมักนาน 30, 45 และ 60 วัน 32

3 แสดงปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และการย่อยสลายที่สมบูรณ์ ของผักตบชวาหมักนาน 30, 45 และ 60 วัน..... 33

4 แสดงปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ของผักตบชวาหมักนาน 30, 45 และ 60 วัน 34

5 แสดงปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดของผักตบชวาหมักนาน 30, 45 และ 60 วัน 36

6 แสดงชนิดเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากผักตบชวาหมักนาน 30, 45 และ 60 วัน 38

7 แสดงสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ 40

8 แสดงความสูงของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน อายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก 42

9 แสดงจำนวนใบของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน อายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก 43

10 แสดงขนาดลำต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน อายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก 44

11 แสดงความยาวรากและน้ำหนักแห้งรากของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน อายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก 45

12 แสดงผลผลิตและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า ที่ทดสอบโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ในระดับโรงเรือน..... 48

13 แสดงสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในดินปลูกคะน้า ที่ทดสอบด้วยปุ๋ยแต่ละชนิด..... 50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

14 แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใยราสาเหตุโรคในคะน้าของรา ย่อยสลาย ด้วยวิธี dual culture ในระดับห้องปฏิบัติการ 51

15 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเน่าคอดินในคะน้า จากการทดสอบปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน 53

16 แสดงการเกิดโรคใบจุดของคะน้า จากการทดสอบปุ๋ยแต่ละชนิดในระดับโรงเรือน 55

17 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของดินจำแนกตามประเภทของเนื้อดิน 98

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

1 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *M. ellipsoideus*..... 19
2 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *R. oryzae*..... 19
3 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *T. harzianum* 20
4 แสดงวิธีการทดสอบการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคด้วยวิธี dual culture. 25
5 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *P. aphanidermatum*..... 27
6 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *A. brassicicola*..... 29
7 แสดงลักษณะของผักตบชวาหมักที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ที่ระยะเวลา 60 วัน..... 31
8 แสดงลักษณะของรายย่อยสลายบนอาหาร PDA ที่แยกได้หลังจากการหมัก ผักตบชวา นาน 60 วัน..... 37
9 แสดงความสูงของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือนอายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก 45
10 แสดงการเจริญเติบโตของคะน้าที่ปลูกในระดับโรงเรือนอายุ 5 สัปดาห์ หลังถอนแยก .. 46
11 แสดงจำนวนใบของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือนอายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก 46
12 แสดงขนาดลำต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือนอายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก 47
13 แสดงประสิทธิภาพของรายย่อยสลายต่อการยับยั้งการเจริญของรา *P. aphanidermatum* ที่ทดสอบโดยวิธี dual culture นาน 7 วัน..... 52
14 แสดงประสิทธิภาพของรายย่อยสลายต่อการยับยั้งการเจริญของรา *A. brassicicola* ที่ทดสอบโดยวิธี dual culture นาน 7 วัน 52
15 แสดงการเปรียบเทียบการเกิดโรคเน่าคอดินของคะน้าในระยะต้นกล้า อายุ 27 วัน จากการใช้ปุ๋ยแต่ละชนิด..... 54
16 แสดงลักษณะอาการเกิดโรคเน่าคอดินของคะน้าในระยะต้นกล้า อายุ 27 วัน ในระดับโรงเรือน..... 54
17 แสดงลักษณะอาการเกิดโรคใบจุดของคะน้าหลังการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ ของรา *A. brassicicola* ในการใช้ปุ๋ยแต่ละชนิด เป็นเวลา 7 วัน..... 56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

18 แสดงสูตรการหาค่าดัชนีการงอกของเมล็ด 82

19 แสดงภาพถ่ายช่อง Grid ของ hemocytometer จากเลนส์กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า 99

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms) เป็นวัชพืชทางน้ำที่สามารถขยายพันธุ์และแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีอัตราในการเจริญเติบโตสูง และทนต่อสภาพแวดล้อม นำไปสู่ปัญหาการกีดขวางการไหลของทางน้ำ ปัจจุบันกว๊านพะเยากำลังประสบกับปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านมลภาวะทางน้ำอย่างต่อเนื่อง และมีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีสาเหตุมาจากผักตบชวาที่ไหลมาจากต้นน้ำ และเกิดการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว จนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ปริมาณสัตว์น้ำลดลง และปัญหาด้านภูมิศาสตร์ (สำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัดพะเยา, 2559, สื่อออนไลน์) จนส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณน้ำ ดังนั้น จึงหาวิธีกำจัดหรือลดปริมาณโดยการนำมาใช้ประโยชน์ เช่น การทำผลิตภัณฑ์จักสาน และนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมาก จึงสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่ปะปนอยู่กับตะกอนในน้ำได้ดีและเก็บสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ทั้งในลำต้นและใบ ดังนั้น เมื่อเกิดการย่อยสลายผักตบชวาจึงมีปริมาณธาตุอาหารที่สูง ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ถึงร้อยละ 1.75, 0.63 และ 3.07 ตามลำดับ จึงทำให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพของดิน เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช และช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน (Sotolu, 2010; นิสากร วิเวกวินย์, 2546)

การนำผักตบชวามาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เป็นหนทางในการกำจัดและลดปัญหาการแพร่ระบาดของผักตบชวา แต่จากกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านมาพบปัญหาด้านการผลิตที่ยังไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ซึ่งมีสาเหตุที่สำคัญ คือ ผักตบชวาที่ใช้เป็นวัตถุดิบ มีการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการนำผักตบชวามากองไว้ และปล่อยให้เกิดการย่อยสลายเองตามธรรมชาติ เป็นการใช้ระยะเวลาที่นาน และย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จนส่งผลทำให้ปุ๋ยไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้น การใช้รายย่อยสลายผักตบชวาจึงเป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่จะทำให้ผักตบชวามีการย่อยสลายได้ดีและเร็วขึ้น

จากข้อมูลการวิจัย พบว่า ผักตบชวาที่ผ่านกระบวนการตากแห้งแล้ว จะทำให้มีคุณภาพและคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะที่ส่วนของใบ คือ มีโปรตีนที่ 16.80 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยทั้งหมด (neutral detergent fiber) 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ปัญหาในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานปุ๋ยองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากผักตบชวายังไม่ได้ทั้งคุณภาพ

และปริมาณธาตุอาหาร ที่ไม่เพียงพอต่อการเพิ่มผลผลิตให้แก่พืช เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายผักตบชวาไม่สมบูรณ์ จึงได้มีการศึกษาการใช้รายย่อยสลายมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายผักตบชวา และเพิ่มคุณภาพของปุ๋ย โดย วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก และเฉลิมชัย แพะคำ (2555) ได้ศึกษาการย่อยสลายผักตบชวาโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ท้องถิ่น ที่แยกมาจากดินในพื้นที่ป่าจังหวัดพะเยา โดยพบรา *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) ซึ่งเป็นราที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายผักตบชวาได้ดีในระดับห้องปฏิบัติการ จึงควรต่อยอดงานวิจัยดังกล่าว โดยนำไปใช้จริงในระดับโรงงาน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้รา *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) ในการย่อยสลายผักตบชวาในระดับโรงงาน เพื่อเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณธาตุอาหารให้แก่ปุ๋ยอินทรีย์ และเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์ในผักคะน้า เนื่องจากคะน้าเป็นพืชผักเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ และมีความต้องการของตลาดสูง จากสถิติปี 2558–2559 พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกคะน้าประมาณ 75,919 ไร่ และมีผลผลิตรวม 102,405 ตัน (กรมวิชาการเกษตร, 2559, สื่อออนไลน์) แต่พบว่าคะน้าเป็นผักที่มี การตรวจพบสารเคมีตกค้างมากเกินมาตรฐาน (Maximum Residue Limits: MRL) (เครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช, 2559, สื่อออนไลน์) นอกจากนี้ยังมีอุปสรรคและปัญหาด้านการผลิตหลายประการทั้งโรคและแมลง (ศศิธร วุฒิวณิชย์, 2545) โดยเฉพาะโรคใบจุดและโรคเน่าคอดิน ที่มีสาเหตุมาจากรา *Alternaria brassicicola* และ *Pythium aphanidermatum* ซึ่งสร้างความเสียหายให้กับใบคะน้า ในระยะต้นโต และเกิดการเหี่ยวตายบริเวณโคนต้นและรากในระยะต้นกล้า ซึ่งในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทานพืชผักที่มาจากระบบการผลิตที่ปลอดภัย ชีววิธีจึงเป็นวิธีหลักที่ถูกนำมาใช้ในระบบการผลิต เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้สารเคมีทางการเกษตรให้น้อยลง เพื่อนำไปพัฒนาสู่ระบบเกษตรปลอดภัย และเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากเชื้อจุลินทรีย์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณภาพการย่อยสลายผักตบชวาด้วยรายย่อยสลาย *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) ในระดับโรงงาน

2. เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวาที่หมักด้วยเชื้อรายย่อยสลายต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการควบคุมโรคใบจุดและโรคเน่าคอดิน สาเหตุจากรา *A. brassicicola* และ *P. aphanidermatum* ในคะน้า

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาคุณภาพการย่อยสลายผักตบชวาด้วยราช่วยย่อยสลาย *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) ในระดับโรงงาน และศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลัก พร้อมทั้งทำการแยกเชื้อกลับ (re-isolation) เพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของเชื้อในผักตบชวาหมัก

2. ทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายต่อในการส่งเสริมการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าในระดับโรงเรือน พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ของดินและปุ๋ยที่ใช้ในการปลูกคะน้า

3. ทดสอบผลของรายย่อยสลายต่อการควบคุมการเจริญของรา *A. brassicicola* และ *P. aphanidermatum* สาเหตุโรคใบจุดและโรคเน่าคอดินของคะน้า ในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงเรือน

ประโยชน์ที่ได้จะรับจากการวิจัย

1. สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพเพิ่มขึ้น และโรงงานสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพดีจำหน่ายได้

2. ได้เทคโนโลยีการใช้รายย่อยสลาย เพื่อนำไปใช้ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวาให้เร็วขึ้นและเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร

3. ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการนำรายย่อยสลายมาใช้ในการควบคุมโรคพืช

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวทางการจัดการผักตบชวาและการนำมาใช้ประโยชน์

ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms) เป็นวัชพืชทางน้ำที่มีการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว จึงทำให้แนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์มีมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณมาก และเกิดทดแทนส่วนที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งการลอยน้ำของผักตบชวา ทำให้มีการเก็บเกี่ยวง่ายที่ขึ้น โดยเฉพาะหากมีลมหรือกระแสน้ำช่วยพัดพามายังสถานที่ตั้งอุปกรณ์การเก็บเกี่ยว ยิ่งช่วยทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวได้มากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการป้องกันไม่ให้ผักตบชวาลอยต่อไปยังแหล่งน้ำอื่น ๆ เพื่อขยายพันธุ์ต่อไป ซึ่งทำให้ยากแก่การกำจัด ผักตบชวาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายวิธี ทั้งในด้านงานหัตถกรรมและด้านการเกษตร เช่น ทำเครื่องจักสาน ทำปุ๋ยหมัก อาหารสัตว์ วัสดุเพาะเห็ด และแท่งเพาะชำ เป็นต้น (บุญชัย งามวิทย์โรจน์ และคณะ, 2555)

ด้านการเกษตร นำมาทำเป็นปุ๋ยหมักสำหรับการปลูกพืชผัก และทำเป็นวัสดุคลุมต้นไม้ที่ปลูกไว้ เพื่อให้เกิดความชื้น เนื่องจากผักตบชวามีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี รวมทั้งการนำมาทำเป็นวัสดุปรับปรุงดิน และวัสดุในการเพาะเห็ด (ประนอม ชำนาญ, 2552)

ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา

การทำปุ๋ยหมัก เป็นวิธีการควบคุมปริมาณผักตบชวาวิธีการหนึ่ง อีกทั้งยังได้ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับการประกอบอาชีพเกษตรกรรมของประชากรไทย เพื่อลดต้นทุนการผลิตที่ต้องใช้ปุ๋ยเคมี และผลกระทบจากสารเคมีการเกษตร ทั้งนี้เพราะว่าผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถดูดซับเอาอาหารพืชที่ปะปนอยู่กับตะกอนในน้ำ และปะปนในน้ำมาไว้ในส่วนต่าง ๆ ของลำต้นและใบ ฉะนั้น การสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักก็จะให้ปริมาณธาตุอาหารพืชสูงไปด้วย ซึ่งคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ในพื้นที่ดินเสื่อมโทรม ขาดอินทรียวัตถุ (นิสากร วิเวกวินย์, 2546)

ปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวา เมื่อนำมาใช้ปรับปรุงบำรุงดินเพื่อปลูกพืช จะทำให้ดินร่วนซุย เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ทำให้ดินทรายยึดตัวกัน ลดการสูญเสียหน้าดิน และช่วยอุ้มน้ำไว้หล่อเลี้ยงต้นพืชได้เป็นเวลานาน สำหรับดินที่เหนียวมาก ปุ๋ยหมักจะทำให้ดินร่วนโปร่ง

อากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวก ดินมีโครงสร้างดีขึ้น รากพืชแผ่กระจายไปหาธาตุอาหารได้ง่ายกว่าเดิม ดังนั้น การนำปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์จึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นพืชผัก พืชสวน พืชไร่แปลงเล็ก แปลงตกกล้าข้าว ไม้ดอกไม้ประดับ ไม้ยืนต้น และพืชชนิดอื่น ๆ อีกมากมาย โดยการใส่ปุ๋ยหมักปีละครั้ง ประมาณ 1–2 ตันต่อไร่ ควบคู่กับการใช้ปุ๋ยเคมี แต่ลดปริมาณลงเหลือเพียง 25–50 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราเดิมที่ใช้ ซึ่งเป็นการประหยัดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีได้อีกทางหนึ่ง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2540) ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา จะมีองค์ประกอบ คือ ไนโตรเจน 2.05 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 1.10 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 2.50 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งมีธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมที่จำเป็นแก่การเจริญเติบโตของพืชอย่างครบถ้วน (รัชนี ธงภูเขียว, 2534, สื่อออนไลน์)

บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก

จุลินทรีย์ที่มีบทบาทในกองปุ๋ยหมักมีหลายประเภท ที่ประกอบด้วย รา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยสีท ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ โดยบทบาทของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย มีดังนี้ (วุฒิพงษ์ ชัยภูมิ, 2556, สื่อออนไลน์)

1. รา (Fungi) จะเจริญได้ดีในระยะแรกของการหมักปุ๋ย เนื่องจากในระยะแรกของการหมักกองปุ๋ยจะมีอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก เพราะถ้ากองปุ๋ยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีความชื้นสูง ก็จะเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียมากกว่ารา ซึ่งโดยทั่วไปจะพบราพวก *Geotrichum candidum* และ *Aspergillus fumigatus* เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 45–55 องศาเซลเซียส จะพบราพวก *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะพบราพวก *Penicillium duponti*

2. แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่พบมากในกองปุ๋ยหมัก ประมาณ 80–90 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในกองปุ๋ยหมัก แบคทีเรียมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลาย และเกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมัก ในระยะแรกของการหมักอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะไม่สูงมากนัก แบคทีเรียที่พบจะเป็นพวก *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Cellulomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococcus* sp. และ *Achromobacter* sp. ระยะต่อมาเมื่อกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงมากขึ้น ในช่วงอุณหภูมิ 50–55 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่เจริญได้ดีส่วนใหญ่จะเป็นพวก *B. subtilis* และ *B. stearothermophilus* ในช่วงอุณหภูมิกองปุ๋ยหมักสูง ในบางกรณีอาจสูงถึง 65–70 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่เจริญได้และสามารถทนความร้อนได้สูง ได้แก่ พวก *Thermus* sp. ที่สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

และพวก *Bacillus* sp. ที่สามารถสร้างสปอร์ นอกจากนี้ ยังพบแบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ได้เช่นกัน แต่เจริญในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ได้แก่ *Clostridium* sp.

3. แอคติโนมัยสีท (Actinomycetes) จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าราและแบคทีเรีย เจริญได้ดีในสภาพที่มีอากาศพอเพียง เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 65–75 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 75 องศาเซลเซียส มักจะไม่พบ ลักษณะของเชื้อแอคติโนมัยสีทที่พบบนกองปุ๋ยหมักจะเจริญเป็นกลุ่มเห็นเป็นจุดสีขาว คล้ายผงปูน หลังจากอุณหภูมิสูงขึ้นจนสูงมาก เชื้อแอคติโนมัยสีทมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์สาร เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ไคติน และโปรตีน ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมัก ขณะมีอุณหภูมิสูง โดยเชื้อแอคติโนมัยสีทที่พบในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ *Thermoactinomyces* sp. และ *Thermomonospora* sp. เป็นพวกที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอาจพบ *Streptomyces* sp. และ *Micropolyspora* sp. เช่นกัน

กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร

1. จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixing microorganisms) ซึ่งมักจะเป็นกลุ่มแบคทีเรีย เพราะทำงานเร็วและมีอยู่จำนวนมาก โดยครึ่งหนึ่งของมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในโลก คือ แบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระ เช่น *Azotobacter* sp., *Clostridium* sp. และ *Azospirillum* sp. เป็นต้น ส่วนกลุ่มที่สอง คือ แบคทีเรียที่อยู่ร่วมกับตัวอื่นถึงจะตรึงไนโตเจนได้ (แบบพึ่งพาอาศัย) เช่น *Rhizobium* sp. ในปมรากตระกูลถั่ว

2. จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์หรือเซลลูโลส เป็นพวกที่ย่อยสลายเซลลูโลสหรือซากพืช ซากสัตว์ ที่ประกอบไปด้วย แบคทีเรีย รา แอคติโนมัยสีท และโปรโตซัว เช่น *Bacillus* sp., *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., *Penicillium* sp. และ *Themoactinomyces* sp. เป็นต้น โดยจุลินทรีย์พวกนี้พบได้ทั่วไปในซากพืช ซากสัตว์ ใบไม้ กิ่งไม้ เศษหญ้า และขยะอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ทำให้เกิดปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ขึ้นมาได้ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และน้ำหมักชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งในปุ๋ยหมักที่มีกิจกรรมของจุลินทรีย์ค่อนข้างดี พบว่า ในทุก ๆ 1 กรัม ของปุ๋ยหมัก จะต้องมีแบคทีเรีย 150–300 ไมโครกรัม และมีแบคทีเรียที่มีกิจกรรมสูงอยู่ 15–30 ไมโครกรัม มีรา 150–200 ไมโครกรัม และมีราที่มีกิจกรรมสูง 2–10 ไมโครกรัม มีพวกโปรโตซัว ซึ่งจะย่อยสลายเศษชิ้นส่วนขนาดใหญ่ให้เล็กลง ต้องมีถึงประมาณ 10,000 ตัว ต่อ 1 กรัม ของปุ๋ยหมัก และมีพวกไส้เดือนฝอยชนิดที่เป็นประโยชน์ 50–100 ตัว

3. จุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟตและธาตุอาหารอื่น ๆ จุลินทรีย์พวกนี้สามารถทำให้ธาตุอาหารหลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ที่มักอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ (ไม่ละลาย) ให้ละสายออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ช่วยส่งเสริมให้รากพืชดูดกินอาหารได้ดีขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่สามารถดูดกินธาตุอาหารบางชนิดได้ หรือดูดกินได้น้อย จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการแปรสภาพฟอสฟอรัสจะมีทั้งกลุ่มที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอินทรีย์ฟอสฟอรัส และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในกรณีของสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูปของไฟทิน และกรดฟอสฟอริก จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะสร้างเอนไซม์ phytase phosphatase nucleotidases และ glecerphosphate เพื่อแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ที่เรียกว่า ออโธฟอสเฟต (orthophosphate) ซึ่งเป็นพวกโมโน (mono) และ dihydrogen phosphate จุลินทรีย์ดังกล่าว ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Bacillus* sp. และราในสกุล *Aspergillus* sp., *Thichoderma* sp., *Penicillium* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น จุลินทรีย์ในสกุล *Bacillus* sp. และ *Aspergillus* sp. จะสร้างกรดอินทรีย์ละลายฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของหินฟอสเฟตออกมาให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ นอกจากนี้ ราไมคอไรซา (mycorrhizal fungi) ยังมีบทบาทในการละลายและการส่งเสริมการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัส

4. จุลินทรีย์ที่ผลิตสารป้องกันและทำลายโรคพืช จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการป้องกันและยับยั้งการเจริญของรา และแบคทีเรียพวกที่ก่อโรคบางชนิด เช่น กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) ได้แก่ *Lactobacillus* sp. บนใบพืชที่สมบูรณ์และมีสุขภาพดีจะพบแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแลคติกมาก จุลินทรีย์กลุ่มนี้ส่วนใหญ่ไม่ต้องการออกซิเจนและมีประโยชน์อย่างมากในการเกษตร เช่น เปลี่ยนสภาพดินจากดินที่ไม่ดีหรือดินที่สะสมโรคให้กลายเป็นดินที่ต้านทานโรค ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชให้มีจำนวนน้อยลง มีประโยชน์กับพืชและสัตว์ นอกจากนี้ ยังมีจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการสร้างสารปฏิชีวนะออกมาทำลายโรคพืชบางชนิด เช่น รา *Aspergillus* sp. *Thichoderma* sp. และเชื้อแอคติโนมัยสีทพวก *Streptomyces* sp.

5. จุลินทรีย์ที่ผลิตฮอร์โมนพืช เช่น *Bacillus* sp. *Azospirillum* sp. *Burkholderia cepacia* และ *Pseudomonas fluorescens* ซึ่งมีความสามารถสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน เป็นต้น ซึ่งสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (วุฒิพงษ์ ชัยภูมิ, 2556, สื่อออนไลน์)

การนำเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

การนำมาใช้เพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน เทคโนโลยีชีวภาพจึงมีบทบาทสำคัญต่อการผลิตทางการเกษตรอย่างมาก ได้แก่ การผลิตปุ๋ยชีวภาพ (biofertilizer) สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชีวภาพ (biopesticide) จุลินทรีย์ย่อยสลายลิกนินและเซลลูโลส การผลิตชีวมวลและเชื้อเพลิงชีวภาพ การดัดแปลงพันธุกรรมของพืช เป็นต้น ปัจจุบันมีนักวิทยาศาสตร์ และเกษตรกรให้ความสนใจเกี่ยวกับการใช้จุลินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรมากขึ้น การใช้จุลินทรีย์จะช่วยพัฒนาทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน โดยจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการปรับปรุงบำรุงดิน จะมีบทบาทอย่างมากในกระบวนการแปรสภาพอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) ให้กลายเป็นธาตุอาหาร ซึ่งจุลินทรีย์ในดินที่มีศักยภาพ แบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ จุลินทรีย์เพิ่มธาตุอาหารพืช จุลินทรีย์ที่ช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช จุลินทรีย์เร่งปุ๋ยหมัก และจุลินทรีย์ย่อยสลายสารพิษในดิน

1. จุลินทรีย์เพิ่มธาตุอาหารพืชในดิน ได้แก่ กลุ่มจุลินทรีย์แปรสภาพไนโตรเจน ซึ่งผลิตเอนไซม์โปรตีเอส ย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในดิน ให้อยู่ในรูปของไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้ได้ จุลินทรีย์ในดินที่มีบทบาทในการย่อย ได้แก่ *Bacillus* sp., *Arthrobacter* sp., *Streptomyces* sp., *Aspergillus* sp., *Nitrobacter* sp. และ *Nitrosomonas* sp. นอกจากนี้ จุลินทรีย์ในดินบางชนิด สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีประโยชน์ต่อพืชได้ จุลินทรีย์กลุ่มนี้แบ่งย่อยได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะความสัมพันธ์กับพืช ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่อยู่ร่วมกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis N2–fixingbacteria) เช่น *Rhizobium* sp. กับพืชตระกูลถั่ว แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืชแบบอิสระ (N2–fixing associatedbacteria) เช่น *Azospirillum* sp. พบในพืชตระกูลหญ้า อ้อย ข้าวฟ่าง และข้าวโพด ส่วนสุดท้าย คือ แบคทีเรียที่อาศัยอยู่อย่างอิสระในดินและบริเวณรากพืช (Free–livingN2–fixingbacteria) เช่น *Azotobacter* sp. และ *Beijerinckia* sp. นอกจากแบคทีเรียแล้ว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) จัดเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่สามารถสังเคราะห์แสง และตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่น้ำขัง เช่น ในนาข้าว เป็นต้น

2. จุลินทรีย์ที่ช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช ประกอบด้วย 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์กลุ่มแปรสภาพฟอสฟอรัส ที่สร้างกรดอินทรีย์หรือเอนไซม์แปรสภาพฟอสฟอรัส ย่อยสารประกอบกลุ่มอินทรีย์ฟอสฟอรัส ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ และย่อยสลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส เช่น หินฟอสเฟต หรือตะกอนของสารประกอบฟอสเฟตที่ถูกตรึงไว้ในดิน ซึ่งการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตลงไป จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ย

ฟอสเฟตในดินได้ดีมากยิ่งขึ้น โดยจุลินทรีย์แปรสภาพฟอสฟอรัส ได้แก่ *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Thiobacillus* sp., *Aspergillus* sp. และ *Penicillium* sp. ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะช่วยเพิ่มศักยภาพในการดูดซึมธาตุอาหารพืช ได้แก่ ราไมคอร์ไรซา ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันกับรากพืชชั้นสูง โดยราจะได้รับอาหารจากพืช และพืชก็ได้รับประโยชน์จากราในการดูดน้ำและธาตุอาหารให้แก่พืช ราไมคอร์ไรซาที่พบโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือ เอ็คโตไมคอร์ไรซา ซึ่งจะสร้างเส้นใยอัดตัวแน่นรอบรากพืชคล้ายเป็นเปลือกรากอีกชั้นหนึ่ง และเอ็นโดไมคอร์ไรซา เป็นราที่สร้างเส้นใยแบบหลวมรอบรากพืช และบางส่วนเจริญเข้าไปในรากและสร้างเป็นโครงสร้างแตกแขนง เรียกว่า อาร์บัสคูล และแบบกลมคล้ายรูปไข่ เรียกว่า เวสิเคิล การใช้ราประเภทนี้นิยมใช้กับพืชยืนต้น เพื่อช่วยให้พืชดูดธาตุอาหารได้ง่ายขึ้น ช่วยให้ความชุ่มชื้น ช่วยควบคุมโรคพืช และลดความเป็นพิษของสารเคมีและโลหะหนักในดิน

3. จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ พีจีพีอาร์ (Plant Growth Promoting Rhizobacteria: PGPR) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินรอบรากพืช (rhizosphere) และช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช โดยสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไซเดอร์โรฟอร์ (siderophore) ซึ่งมีสมบัติเพิ่มการนำธาตุเหล็กเข้าสู่เซลล์พืช โดยการแย่งจับธาตุเหล็กบริเวณรอบรากพืช ทำให้ราโรคพืชไม่สามารถนำธาตุเหล็กไปใช้ได้ นอกจากนี้ เชื้อจุลินทรีย์ยังสามารถสร้างฮอร์โมนพืช (phytohormones) เช่น ฮอร์โมนกลุ่มออกซิน (auxins) ซึ่งช่วยกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการเปลี่ยนสภาพของเซลล์ สร้างเอนไซม์ไคติเนส (chitinase) และลามินาริเนส (laminarinase) เพื่อย่อยเส้นใยของราโรคพืช และสร้างสารปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์ในการต้านราสาเหตุโรคพืชได้ โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มพีจีพีอาร์ ได้แก่ *Azospirillum* sp., *Streptomyces* sp., *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. และ *Trichoderma* sp. เป็นต้น จุลินทรีย์นี้ได้ถูกพัฒนาสำหรับใช้ในการคลุกเมล็ดก่อนปลูก ผสมน้ำรดดิน ฉีดพ่นทางใบ และจุ่มรากต้นกล้าก่อนปลูก

4. จุลินทรีย์เร่งปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมัก (compost) คือ ปุ๋ยที่ได้จากการหมักซากพืชซากสัตว์ตลอดจนมูลสัตว์ เพื่อให้อินทรีย์สารสลายตัวผุพังจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ซึ่งใช้เวลานาน จึงมีการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูง ประกอบด้วย รา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยสีท เพื่อเร่งกระบวนการย่อยสลายให้เร็วขึ้น ซึ่งในกระบวนการหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ 3 ระยะ ซึ่งในแต่ละระยะ ก็จะมีจุลินทรีย์เข้ามามีบทบาทในการย่อยอินทรีย์สาร ในระยะแรกกองปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิปานกลาง ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophiles) มีการเจริญก่อน ซึ่งจะใช้น้ำตาล และสารอาหารที่ย่อยง่าย ทำให้กองวัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้นอยู่ที่ประมาณ 40–45 องศาเซลเซียส และเพิ่มสูงขึ้นถึง 50–70 องศาเซลเซียส ในระยะต่อมา

เชื้อจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophiles) จะมีการเจริญและย่อยสารที่สลายยาก และเมื่อผ่านระยะอุณหภูมิสูงแล้ว จึงเข้าสู่ระยะอุณหภูมิปานกลาง ครั้งที่สองซึ่งแหล่งอาหารของจุลินทรีย์เหลืออยู่น้อยกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดต่ำลง จนอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศโดยรอบ ทำให้จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลางเจริญได้อีกระยะหนึ่ง เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นสมบูรณ์ จะได้เป็นสารประกอบประเภทฮิวมัส มีสีดำหรือน้ำตาลดำ ประเภทเดียวกับฮิวมัสในดิน

5. จุลินทรีย์ย่อยสลายสารพิษในดิน การใช้สารเคมีเพื่อควบคุมโรค แมลง วัชพืช และศัตรูพืชอื่น ๆ หากใช้ในปริมาณสูงและไม่ถูกวิธี จะก่อให้เกิดสารพิษตกค้างทั้งในผลผลิตทางการเกษตร ตัวเกษตรกรผู้ใช้ รวมไปถึงสิ่งแวดล้อม ในธรรมชาติจะมีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถปรับตัวให้ทนต่อสารเคมี และสามารถใช้สารเคมีที่ตกค้างเพื่อเป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้ เช่น จุลินทรีย์ย่อยสลายอาทราซีน ซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืชชนิดหนึ่ง ซึ่งมีทั้งราและแบคทีเรีย หนึ่งในจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารอาทราซีนได้ คือ *Pseudomonas* sp. strain ADP ที่ย่อยอาทราซีนให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับแอมโมเนีย ปัจจุบันมีการศึกษาจุลินทรีย์เหล่านี้ ในรายละเอียดทั้งด้านพันธุกรรม และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสารพิษเพื่อนำไปถ่ายโอนให้แก่พืช และใช้ในการบำบัดดินหรือแหล่งปนเปื้อนอาทราซีน ต่อไป (สุวรรณี แทนธานี, 2555)

ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์ (เฉลิมชัย แพะคำ และคณะ, 2557)

ตาราง 1 แสดงคุณสมบัติและธาตุอาหารหลักของพืชจากปุ๋ยหมักผักตบชวา ที่ย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์ ที่ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน

คุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารหลัก	ค่า/ปริมาณที่วัดได้
ความเป็นกรด–ด่าง (pH)	9.00
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	5.00 dS/m
ปริมาณอินทรียวัตถุ	52.73 เปอร์เซ็นต์
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	47.29
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	21.03 g/kg
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5)	46.65 mg/kg
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O)	33.67 mg/kg

ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer)

ปุ๋ยอินทรีย์ คือ สารประกอบที่ได้จากสิ่งที่มีชีวิต ได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการผลิตทางธรรมชาติ ส่วนใหญ่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำ และถ่ายเทอากาศได้ดี ทำให้รากพืชหาธาตุอาหารได้ง่ายขึ้น ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณธาตุอาหารอยู่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี และธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น ไนโตรเจน อยู่ในสารประกอบจำพวกโปรตีน เมื่อใส่ลงไปในดิน พืชจะไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่ต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน แล้วปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นออกมาในรูปสารประกอบอินทรีย์ เช่นเดียวกันกับปุ๋ยเคมี จากนั้นพืชจึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2549, สื่อออนไลน์)

บทบาทของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

เชื้อจุลินทรีย์สามารถสร้างสารบางอย่างที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโต เช่น เชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* และ *P. putida* สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยการเจริญครอบครองส่วนของรากได้ดี ป้องกันการเข้าทำลายจากเชื้อโรคโดยสร้าง siderophore ที่สามารถจับยึดอนุภาคของ $Fe3^{+}$ ทำให้เชื้อโรคพืชไม่สามารถนำ $Fe3^{+}$ ไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการสร้างสารปฏิชีวนะ คือ สาร bacteriocin ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียหลายชนิด

ในขณะที่รา พบว่า เชื้อ *Rhizophagus intraradices* สามารถสร้างเอนไซม์ Phosphatase ที่ย่อยและปลดปล่อยฟอสฟอรัสในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Camprubi, et al., 1995) Hyakumachi (1994) รายงานว่า รา *Trichoderma* sp. ที่แยกได้จากบริเวณรอบรากของข้าวสาลีและข้าวโพด สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น ข้าวสาลี มะเขือเทศ แตง และพืชตระกูล Radish ได้ทั้งในด้านความสูงของพืช และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่ไม่ใส่รา *Trichoderma* sp. และ Shivanna, et al. (1996) พบว่า รา *Trichoderma* sp. และราในกลุ่มของ sterile fungi ที่แยกได้จากบริเวณรอบรากของ Zoysia grass สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองได้ Adhikari, et al. (2001) รายงานว่า เชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas tolaasii* (S20), *P. veronii* (S21) และ *Sphingomonas trueperi* (S12) มียีนที่สามารถช่วยตรึงไนโตรเจนได้ ทำให้ต้นข้าวสูงขึ้น และสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวได้ดีกว่าชุดควบคุมร้อยละ 22.1 มีรายงานถึงเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอีกหลายรายงาน เช่น เชื้อแบคทีเรียไรโซเบียม (rhizobium) ในปมของรากพืชตระกูลถั่ว ที่ช่วยตรึงไนโตรเจนและเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชตระกูลถั่วได้ จากงานวิจัยของกองปฐพีวิทยากรมวิชาการเกษตรในเขตพื้นที่ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้ผลสรุปเปรียบเทียบทางเศรษฐกิจ

ระหว่างการใช้ไรโซเบียมกับปุ๋ยเคมี และการไม่ใช้ทำให้เห็นว่า การใช้เชื้อไรโซเบียมถึงแม้ให้ผลผลิตน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี แต่เมื่อคิดเป็นกำไรสุทธิแล้ว พบว่า ได้กำไรสุทธิสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี (ชนวน รัตนวราหะ, 2544)

บทบาทของการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการควบคุมโรคพืช

การควบคุมโรคพืชโดยวิธีชีวภาพหรือชีววิธี (biological control) เป็นวิธีการนำเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ ที่สามารถพบในธรรมชาติมาใช้ควบคุมโรคพืช โดยพบเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในธรรมชาติหลายชนิด เช่น *Trichoderma harzianum*, *Gliocladium virens*, *Chaetomium globosum*, *Bacillus Subtilis* และ *Pseudomonas fluorescens* เป็นต้น โดยเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถควบคุมโรคพืชได้หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น โรครากเน่า โคนเน่า ของทุเรียนและส้ม โรคเน่าระดับดินของพืชผัก โรคลำต้นไหม้ของหน่อไม้ฝรั่ง โรคเหี่ยวของพืชผัก โรคโคนเน่าของพืชผัก โรคแอนแทรคโนสของพริกและมะม่วง โรคใบจุดของพืชผัก ตลอดจนโรคหลังการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ (จิระเดช แจ่มสว่าง และคณะ, 2546) นอกจากความสามารถในการควบคุมโรคพืชแล้ว ยังพบว่า เชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์หลายชนิด มีประสิทธิภาพในการเพิ่มแร่ธาตุอาหารในดินให้แก่ต้นพืช ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และชักนำให้ต้นพืชเกิดความต้านทานต่อเชื้อโรคพืชได้อีกด้วย (Harman, 2000; Hyakumachi, 1994; Intana, 2003; Shivanna, et al., 1996)

เชื้อจุลินทรีย์มีกลไกมากมายในการเข้าทำลายเชื้อโรคพืช ไม่ว่าจะการเป็นเชื้อปรสิต การผลิตหรือสร้างสารปฏิชีวนะ การสร้างเอนไซม์มาย่อยและทำลายผนังเซลล์ของเชื้อโรคพืช การแข่งขันปัจจัยในการดำรงชีวิต การสร้างสารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และการชักนำให้ต้นพืชสามารถต้านทานต่อเชื้อโรคพืช เป็นต้น (จิระเดช แจ่มสว่าง และคณะ, 2540; Anju, 1994; Ghisalberti, et al., 1991; Harman, 2000; Howell, 2003; Intana, et al., 2003) มีรายงานมากมายเกี่ยวกับความสำเร็จในการนำเชื้อจุลินทรีย์มาควบคุมโรคพืช เช่น การใช้รา *Trichoderma* sp. ในการควบคุมโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียนและส้ม โรคโคนเน่าของมะเขือเทศ โรคเน่าระดับดินของต้นแตงกวาและต้นถั่วฝักยาว โรคต้นไหม้ของต้นหน่อไม้ฝรั่ง และโรคกาบใบแห้งของข้าว เป็นต้น (จิระเดช แจ่มสว่าง และคณะ, 2546)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เฉลิมชัย แพะคำ และคณะ (2557) ได้ศึกษาคุณสมบัติและธาตุอาหารหลักของพืชจากปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายโดยรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท UPPY19 โดยทำการหมักและสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวา (10, 20, 30, 40, 50 และ 60 วัน) พบว่า ความเป็นกรด–ด่าง

ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 9.00, 5.00 dS/m, 52.73 เปอร์เซ็นต์, 47.29, 21.03 g/kg, 46.65 mg/kg และ 33.67 mg/kg ตามลำดับ เมื่อตรวจวัดปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส ไซแลนเนส โปรติเอส และยูรีเอส พบว่า ปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายด้วยรา *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 U/ml ตามลำดับ

นิชรัตน์ ศรีโสภณ และคณะ (2558) ได้ศึกษาจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส ที่ย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา และศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักจากปุ๋ยหมักผักตบชวา จากการทดลองสามารถแยกราได้ทั้งหมด 92 ไอโซเลท และนำราทั้งหมดไปทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ พบว่า ราที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสมากที่สุด คือ รา *Aspergillus flavus* (UPNCH–44) รองลงมา คือ รา *A. flavus* (UPNCH–66) และ *A. candidus* (UPNCH–33) ซึ่งมีค่า Potency index (PI value) เท่ากับ 3.63, 2.77 และ 2.11 ตามลำดับ และราที่ผลิตเอนไซม์เฮมิเซลลูเลส มากที่สุด คือ รา *A. Flavus* (UPNCH–66) รองลงมา คือ รา *Trichoderma* sp. (UPNCH–64) และ *A. candidus* (UPNCH–33) มีค่า Potency index (PI value) เท่ากับ 3.21, 3.03 และ 2.71 ตามลำดับ เมื่อนำเชื้อจุลินทรีย์ ทั้ง 3 ชนิด มาย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา พบว่า ปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายโดยรา *A. candidus* (UPNCH–33) มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.57% ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ไม่มีความแตกต่างกัน

กนิษฐา ทองเกล็ด และคณะ (2559) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของรายย่อยสลายผักตบชวา 3 ชนิด ได้แก่ รา *M. ellipsoideus, R. oryzae* และ *T. harzianum* ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิ (25–45 องศาเซลเซียส) ความเป็นกรด–ด่าง (4.0–7.5) แหล่งคาร์บอน และแหล่งไนโตรเจน และวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีหลังจากบ่มเชื้อนาน 7 วัน พบว่า รา *M. ellipsoideus* และ *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในขณะที่รา *T. harzianum* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ส่วนผลของความเป็นกรด–ด่าง (pH) พบว่า เชื้อ *M. ellipsoideus* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในระดับ pH 7.0, *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่สุด ในระดับ pH 7.5 และ *T. harzianum* เจริญเติบโตได้ดีที่สุด ในระดับ pH 6.0 และผลของแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน พบว่า *M. ellipsoideus* และ *T. harzianum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดบนอาหารที่มี fructose เป็นแหล่งคาร์บอน ในขณะที่รา *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในอาหารที่มี sucrose เป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต พบว่า รา *M. ellipsoideus* เจริญได้ดีที่สุดในอาหารที่มี peptone เป็นแหล่ง

ไนโตรเจน ในขณะที่รา *R. oryzae* และ *T. harzianum* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในอาหารที่มี KNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจน

ธเนศ แซวหลี และคณะ (2559) ศึกษาศักยภาพของปุ๋ยชีวภาพรา *Trichoderma* sp. เพื่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอราบิก้า พบว่า การนำราไตรโคเดอร์มาใส่ลงในวัสดุปลูกต้นกล้ากาแฟ มีปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันที่เป็นประโยชน์ เพิ่มขึ้นจาก 2.92, 0.18, 1.76, 0.30, 2.94, 0.34 และ 0.11 เป็น 5.98, 2.60, 0.35, 3.86, 4.82, 0.82 และ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมถึงค่า pH มีระดับเพิ่มขึ้นจาก 6.04 เป็น 7.12 สำหรับการเจริญเติบโตของราไตรโคเดอร์มาบริเวณรากพืช พบว่า มีปริมาณค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 1.4×10^3 และ 3.5×10^7 เป็น 1.17×10^6 และ 8.5×10^7 โคโลนี/กรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าที่มีการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว มีการพบราสาเหตุโรคของกาแฟเกิดขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตมีค่าเฉลี่ยของความสูง จำนวนใบทั้งหมด จำนวนใบที่สมบูรณ์ และน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 30 เซนติเมตร 24 ใบ, 14 ใบ และ 10.62 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว

สมชาย ชคตระการ และคณะ (2553) ศึกษาประสิทธิภาพของรา *Trichoderma* spp. ที่แยกได้จากใบไผ่ 3 ไอโซเลท คือ TB–015, TB–022 และ TB– 075 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมโรคเน่าคอดิน ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของคะน้า ทั้งในระดับโรงเรือนและแปลงปลูกทดลอง พบว่า หลังปลูก 42 วัน รา *Trichoderma* spp. ทั้ง 3 ไอโซเลท ที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของคะน้าได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไอโซเลท TB–015 มีเปอร์เซ็นต์การส่งเสริมการเจริญเติบโตรวมทุกตัวชี้วัดในระดับโรงเรือน และแปลงปลูกทดลอง เท่ากับ 106.91 และ 32.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใช้รา

วรรณิศา ปัทมะภูษิต และคณะ (2557) ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีต่ออัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตคะน้าพันธุ์บางบัวทอง 35 พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่ประกอบด้วยสูตร 46–0–0 + 27–6–6, 46–0–0 + 25–10–10 และ 46–0–0 + 16–12–8 มีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนต่ำ สูตร 46–0–0 + 12–12–17 อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยที่มีแอมโมเนียมร่วมกับยูเรีย สูตร 46–0–0 + 27–6–6, 46–0–0 + 25–10–10 และ 46–0–0 + 16–12–8 มีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิต สูงกว่าปุ๋ยที่มีแอมโมเนียมร่วมกับไนเตรท สูตร 46–0–0 + 12–12–17 ขณะที่ปริมาณเส้นใยในชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) มีปริมาณเส้นใยมากกว่ากรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และการใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 46–0–0 + 27–6–6 ให้ปริมาณผลผลิตรวม และค่าประสิทธิภาพการผลิตพืชสูงที่สุด

เรวัตร จินดาเจี่ย และคณะ (2557) ศึกษาการผลิตผักอินทรีย์เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ และทำการปลูกพืชทดสอบอย่างต่อเนื่องกันในพื้นที่เดียวกัน ได้แก่ คะน้า ผักชี และกวางตุ้ง พบว่า น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของคะน้า ผักชี และกวางตุ้ง ทั้ง 4 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลโคนม อัตรา 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยหมักจากมูลโคนม อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี สูตร 20–10–10 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 20–10–10 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 4 เป็นชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า กรรมวิธีที่ 3 การใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 20–10–10 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของคะน้า ผักชี และกวางตุ้ง สูงที่สุด ซึ่งน้ำหนักสดของผักทั้ง 3 ชนิด คือ 14,984 กิโลกรัมต่อไร่, 5,982.40 กิโลกรัมต่อไร่ และ 27,127 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักแห้งของผักทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ 1,352 กิโลกรัมต่อไร่, 661.79 กิโลกรัมต่อไร่ และ 2,110 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ 4 ชุดควบคุมที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีน้ำหนักสดและแห้งต่ำที่สุด

Chindo, et al. (2014) ศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของปุ๋ยหมักผักตบชวาโดยการนำผักตบชวามาหมักผสมร่วมกับขี้เลื่อยไม้ ในอัตราส่วน 9:1 โดยวิธีการนำมากองผสมรวมกันที่ระดับอุณหภูมิ ประมาณ 40 องศาเซลเซียส และทำการกลับส่วนผสมให้เข้ากันทุก ๆ 4–5 วัน แล้วปล่อยให้เกิดการหมักและย่อยสลาย เป็นระยะเวลา 23 วัน พบว่า ปุ๋ยหมักผักตบชวามีระดับความชื้น อยู่ในช่วง 45.0–66.7 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) สุดท้ายเท่ากับ 35 ซึ่งเกษตรกรสามารถนำปุ๋ยหมักผักตบชวาที่มีอัตราส่วนผสมของผักตบชวากับขี้เรื่อยไม้ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้

Vidya and Girish (2014) ศึกษาการใช้ปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวา มาทดสอบกับแปลงปลูกข้าวสาลี โดยวัดการเจริญเติบโต ทุก 15 วัน พบว่า ข้าวสาลีที่ใส่ปุ๋ยหมักผักตบชวามีอัตราการเจริญเติบโตทางสรีระวิทยา ได้แก่ อัตราการงอก น้ำหนักสดของต้น น้ำหนักแห้งของต้น ปริมาณชีวมวล และอัตราส่วนของต้นต่อราก ที่สูงกว่าชุดควบคุม ส่วนองค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีปริมาณคลอโรฟิลล์ โปรตีน และน้ำตาล มากกว่าชุดควบคุม และในด้านคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน พบว่า มีระดับค่า pH ความชื้น และปริมาณอินทรียวัตถุ ที่ดีกว่าชุดควบคุม ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการทำเกษตรในระบบอินทรีย์

Doni, et al. (2017) ศึกษาประสิทธิภาพและความสะดวกของเกษตรกรต่อการใช้ปุ๋ยชีวภาพจากรา *Trichoderma* spp. ในระบบการจัดการเพิ่มผลผลิตข้าว (System of Rice Intensification: SRI) พบว่า รา *Trichoderma* spp. เป็นราที่มีปฏิสัมพันธ์สูงกับรากพืช และอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี จึงช่วยให้พืชเกิดการต้านทานต่อโรค ภัยแล้ง และสภาพเครียดต่าง ๆ ได้ดี นอกจากนี้

มีรายงานว่า รา *Trichoderma* spp. มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอีกหลายชนิด ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้รา *Trichoderma* spp. สามารถใช้ร่วมกับการใช้สารเคมีได้ ซึ่งในระบบการปลูกข้าว การใช้ปุ๋ยชีวภาพจากรา *Trichoderma* spp. เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตทางสรีรวิทยาและเพิ่มผลผลิตของข้าว ภายใต้ระบบการบริหารจัดการข้าวแบบ SRI พบว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพจากรา *Trichoderma* spp. มีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางสรีรวิทยา และผลผลิตของข้าวได้ดีกว่าข้าวที่ไม่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพจากรา *Trichoderma* spp. โดยพบว่า ต้นข้าวมีการแตกก่อเพิ่มขึ้นถึงมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และมีผลผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 เท่า จึงทำให้วิธีดังกล่าว มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ในระบบการจัดการเพิ่มผลผลิตข้าว (SRI) ของเกษตรกรได้

Molla, et al. (2017) ศึกษาการกระตุ้นการเจริญเติบโตของรา *Trichoderma* sp. เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพทางโภชนาการของมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill) เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี พบว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพที่มีคุณภาพจะช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตพืชลงได้ ซึ่งจากการทดสอบในระดับแปลงปฏิบัติการ พบว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพจากรา *Trichoderma harzianum* T22 สามารถให้ผลิตของมะเขือเทศเพิ่มขึ้นได้เท่ากับ 200 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยชีวภาพจากรา *Trichoderma harzianum* T22 ร่วมกับปุ๋ยเคมี ในอัตราส่วน 1:1 สามารถให้ผลิตของมะเขือเทศเพิ่มขึ้นได้สูงที่สุดถึง 336.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งการใช้ปุ๋ยชีวภาพจากรา *Trichoderma harzianum* T22 ร่วมกับปุ๋ยเคมี จะช่วยทำให้ธาตุอาหารบางชนิดในปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปแบบที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ จะถูกย่อยสลายหรือละลายให้พืชสามารถดูดซับนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น

Nowicki, et al. (2012) ศึกษาความสำคัญและแนวทางการยับยั้งโรคใบจุดในพืชผักตระกูลกะหล่ำ ที่มีสาเหตุจากกลุ่มรา *Alternaria* sp. โดยเฉพาะรา *A. brassicae*, *A. brassicicola*, *A. raphani* และ *A. alternata* ที่ก่อให้เกิดโรค และสร้างความเสียหายให้กับพืชผักตระกูลกะหล่ำหลายชนิด เช่น กะหล่ำปลี ผักกาดขาวปลี กะหล่ำดอก บรอกโคลี คะน้า และพืชป่าอีกหลายชนิด โดยรา *Alternaria* sp. ที่มีการแพร่ระบาดในพืช ส่วนใหญ่ปะปนมากับระบบน้ำที่ใช้รดผัก และเกิดการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ รา *A. brassicae* และ *A. brassicicola* ยังปนเปื้อนหรือติดอยู่ในเมล็ดพันธุ์พืชได้อีกด้วย ซึ่งราชนิดนี้จะมีการแพร่กระจายในฤดูฝน โดยวิธีในการป้องกันและควบคุมโรคนั้น ขึ้นอยู่กับการจัดการด้านการเกษตร เช่น การใช้สารเคมีหรือการใช้เมล็ดพันธุ์ที่ปลอดโรค ก็จะช่วยทำให้ลดการเกิดโรคได้ แต่หากพบการเข้าทำลายของโรคในระยะแรก ๆ ควรมีการใช้สารเคมีในการฉีดพ่นเพื่อป้องกันการแพร่กระจาย ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาสายพันธุ์ให้มีความต้านทานต่อโรค เป็นวิธีที่ใช้ในการป้องกันและควบคุมโรคได้อย่าง

มีประสิทธิภาพ และได้ผลดีทางเศรษฐกิจ แต่ในขณะเดียวกัน ยังประสบความสำเร็จไม่มากนัก ในการปรับปรุงพันธุ์ให้พืชผักชนิดนี้ มีความต้านทานต่อโรคใบจุดได้ นอกจากนี้ สภาพแวดล้อม และระบบนิเวศน์ ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญต่อความต้านทานของพืช ซึ่งแต่ละพันธุ์ไม่สามารถทนต่อสภาวะความเครียดที่สูงได้ จึงทำให้พืชผักแต่ละชนิดในตระกูลนี้มีระดับความต้านทาน และความอ่อนแอแตกต่างกันไป

Parveen and Sharma (2015) ศึกษาการควบคุมและกลยุทธ์ในการจัดการโรคพืช ที่มีสาเหตุเกิดจากรา *Pythium* spp. ซึ่งเป็นราที่ถือว่ามีลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยา ที่เฉพาะตัว โดยส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายอยู่ในดินและน้ำ และสามารถเข้าทำลายพืชอาศัย ได้หลายชนิด ซึ่งรา *Pythium* spp. เป็นราที่ก่อให้เกิดโรค และสร้างความเสียหายให้กับพืชเศรษฐกิจ หลายชนิด โดยเฉพาะรา *P. aphanidermatum* ซึ่งเป็นราที่สร้างความเสียหายให้กับพืชในระยะต้นกล้า ทั้งก่อนและหลังการงอกของเมล็ด เช่น โรคเน่าคอดิน โรครากเน่าและโคนเน่า และโรคที่เกี่ยวกับ รากพืชหลายชนิด ซึ่งหากพบการระบาดเป็นจำนวนมาก อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพ และปริมาณของผลผลิต จนอาจส่งผลกระทบทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ ของตลาดได้ ซึ่งการใช้สารเคมีในการควบคุมราชนิดนี้ ยังถือเป็นการป้องกันกำจัดที่ยังไม่ได้ผล ที่สมบูรณ์ เนื่องจากการใช้สารเคมีในปริมาณที่มากเกินไป อาจทำให้ราเกิดความต้านทานได้ อีกทั้ง ควรตระหนักถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับผลผลิต ตลอดจนอันตรายที่จะเกิดขึ้น กับสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภคอีกด้วย ซึ่งการต้านทานต่อสารเคมีของรา *P. aphanidermatum* จึงทำให้มีการศึกษามากขึ้น เกี่ยวกับการควบคุมโรคที่เกิดจากรา *P. aphanidermatum* ด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งการใช้สารเคมี และการควบคุมทางชีวภาพ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาคุณภาพการย่อยสลายผักตบชวาด้วยรายย่อยสลายในระดับโรงงาน

นำรายย่อยสลาย *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) (ภาพ 1–3) จากห้องปฏิบัติการสาขาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา (เฉลิมชัย แพะคำ และคณะ, 2557) มาทดสอบความสามารถในการย่อยสลายผักตบชวา โดยนำราทั้ง 3 ชนิด ที่เจริญบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) ที่อายุ 7 วัน มาเพาะขยายเพิ่มปริมาณในข้าวฟ่าง โดยนำเมล็ดข้าวฟ่างมาต้มให้สุก จากนั้นบรรจุลงในขวดแก้ว ปริมาณขวดละ 250 กรัม แล้วปิดจุกขวดด้วยสำลี นำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที เมื่อครบระยะเวลานำออกมาพักให้เย็น ปลูกเชื้อโดยใช้ cork borer ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะบริเวณปลายเส้นใยของรา จากนั้นใช้เข็มเขี่ยชิ้นวุ้นใส่ลงในขวดแก้วประมาณขวดละ 5–10 ชิ้น แล้วปิดจุก นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน เมื่อรายย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด เจริญเต็มขวด นำมาผสมหมักร่วมกับผักตบชวาในอัตราส่วนผักตบชวาสด 100 กิโลกรัม/เมล็ดข้าวฟ่าง 4 กิโลกรัม หมักนาน 60 วัน โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 8 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* (UPPY06)

กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae* (UPPY29)

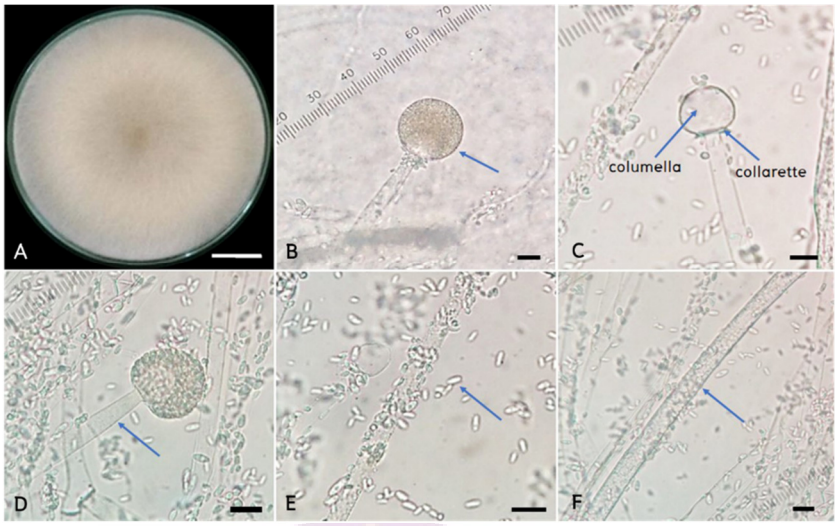
กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวา ร่วมกับรา *T. harzianum* (UPPY19)

กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* (UPPY06) + *R. oryzae* (UPPY29)

กรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* (UPPY06) + *T. harzianum* (UPPY19)

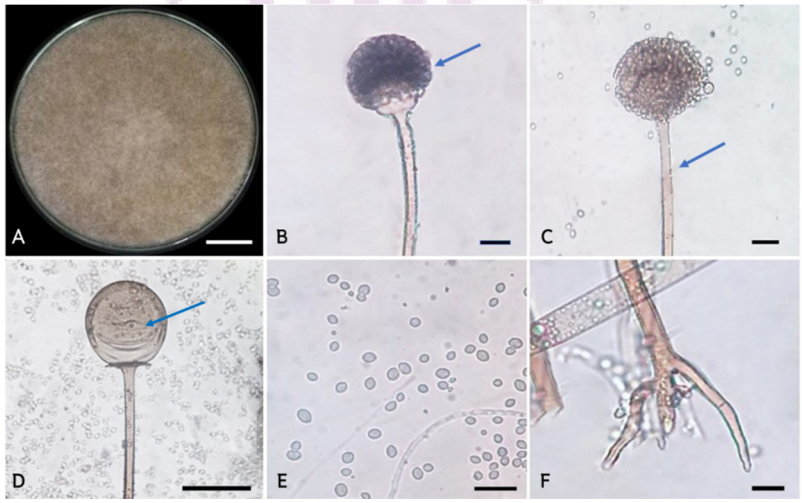
กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae* (UPPY29) + *T. harzianum* (UPPY19)

กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* (UPPY06) + *R. oryzae* (UPPY29) + *T. harzianum* (UPPY19)



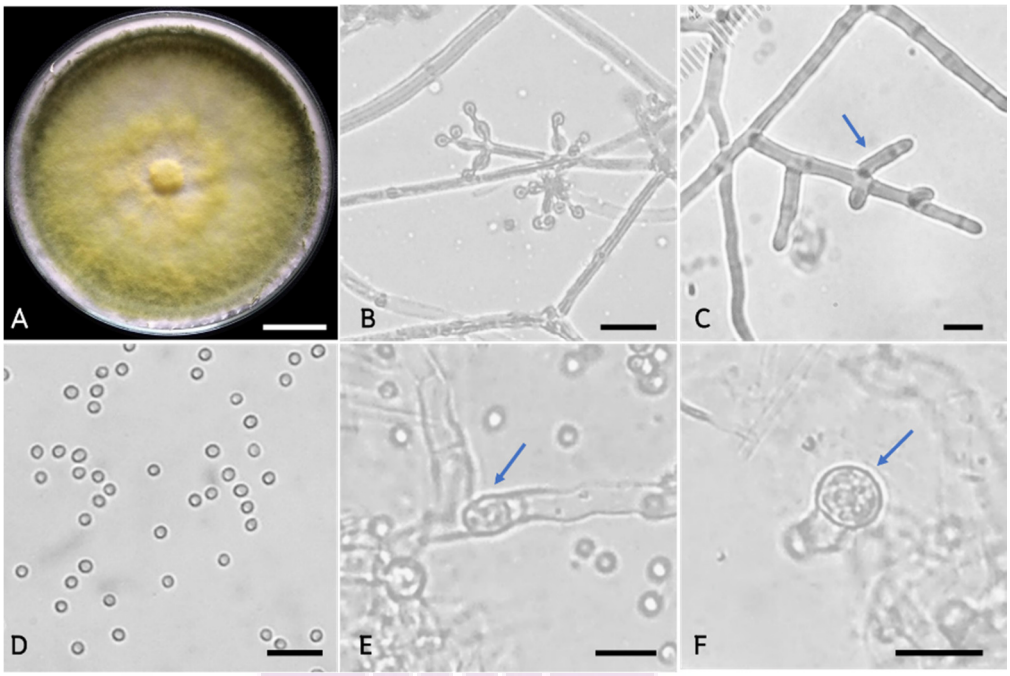
ภาพ 1 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *M. ellipsoideus*

หมายเหตุ: [A = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA อายุ 7 วัน, B = sporangium, C = columella and collarette, D = sporangiophore, E = sporangiospores และ F = hypha (บาร์: A = 1.5 เซนติเมตร และ B–F = 10 ไมโครเมตร)]



ภาพ 2 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *R. oryzae*

หมายเหตุ: [A = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA อายุ 7 วัน, B = sporangium, C = sporangiophore, D = columella, E = sporangiospores และ F = rhizoids (บาร์: A = 1.5 เซนติเมตร, B = 50 ไมโครเมตร และ C–F = 20 ไมโครเมตร)]



ภาพ 3 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *T. harzianum*

หมายเหตุ: [A = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA อายุ 7 วัน, B–C = conidiophore, D = conidia และ E–F = chlamydospore (บาร์: A = 1.5 เซนติเมตร, B–F = 10 ไมโครเมตร)]

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างผักตบชวาหมักในแต่ละกรรมวิธี ที่ระยะเวลาการหมัก 30, 45 และ 60 วัน ปริมาณครั้งละ 500 กรัม นำใส่ถาดตากผึ่งไว้ในที่ร่มให้แห้ง และนำมาบดให้ละเอียด จากนั้นร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วนำผงปุ๋ยส่วนที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลัก ณ ห้องปฏิบัติการสาขาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา และแยกเชื้อกลับ (re–isolation) เพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของราย่อยสลายในผักตบชวาหมัก โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของผักตบชวาหมัก

1.1 อุณหภูมิ (วัดในกองปุ๋ยหมักทุก ๆ วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน)

1.2 ความชื้น (moisture content) ตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร (2551)

1.3 ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

1.4 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยเครื่อง conductivity meter

1.5 อินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ Walkley and Black (1947)

1.6 ทดสอบการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักด้วยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (germination index) ตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร (2551)

1.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

1.8 ปริมาณ cellulose (Browning, 1967)

1.9 ปริมาณ hemicelluloses (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1988)

2. การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของผักตบชวาหมัก

2.1 ไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl method

2.2 ฟอสเฟตทั้งหมด โดยวิธี Spectrophotometric molybdatevanadophosphate method

2.3 โพแทสเซียมทั้งหมด โดยวิธี Flame photometric method

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละทรีทเมนต์ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test: DMRT)

3. การแยกเชื้อกลับเพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของราในผักตบชวาหมัก (re-isolation)

แยกเชื้อกลับโดยใช้วิธีตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์มาตรฐาน หรือ standard plate count (SPC) โดยนำตัวอย่างผักตบชวาหมัก ที่สุ่มเก็บปริมาณ 1 กรัม มาละลายลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร จากนั้นทำการ serial dilution จนได้ความเข้มข้นที่ 1:1,000,000 หรือ 10^{-6} แล้วดูดตัวอย่างเชื้อที่ระดับ 2 ความเข้มข้นสุดท้าย คือ 10^{-5} และ 10^{-6} ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA และทำการ spread plate ให้ทั่วจาน แล้วนำไปบ่มไว้ในตู้อบเพาะเชื้อ (incubator) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจสอบชนิดของเชื้อที่เกิดขึ้น โดยใช้หลักการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ (culture medium) โดยทำการแยกเชื้อให้ได้โคโลนีเดี่ยว ๆ (single colony) แล้วนำไปบ่มทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน ทำการศึกษาเพื่อบ่งบอกและจำแนกชนิดของเชื้อที่ตรวจพบ โดยการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้นของเชื้อแต่ละชนิด ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (จารุณี เกษรพิกุล, 2558)

การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าในระดับโรงเรือน

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์

นำผักตบชวาหมักที่หมักด้วยรายย่อยสลาย *R. oryzae* (UPPY29) + *T. harzianum* (UPPY19) มาผสมกับวัตถุดิบตามอัตราส่วนผสมของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ที่ประกอบด้วย ลีโอนาไดท์: แร่ภูเขาไฟ: ผักตบชวาหมัก (จากการทดลองที่ 1): มูลสุกร: มูลไก่ไข่ ในอัตราส่วน 3:1:1:3:2 (ชัยมงคล ใจหล้า, 2558) สุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ผสมในการทดลอง และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน ที่มีอัตราส่วนผสมของ ลีโอนาไดท์: แร่ภูเขาไฟ: ผักตบชวาหมัก: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ ในอัตราส่วน 1:1:1:1:1 ปริมาณ 500 กรัม มาบดให้ละเอียด นำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลัก โดยใช้ผักตบชวาหมัก ที่หมักด้วยรายย่อยสลาย *R. oryzae* (UPPY29) + *T. harzianum* (UPPY19) ระยะเวลาหมัก 60 วัน เป็นชุดควบคุม วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่

1.1 ความชื้น (moisture content) ตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร (2551)

1.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

1.3 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยเครื่อง Conductivity meter

1.4 อินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ Walkley and Black (1947)

1.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

1.6 ไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl method

1.7 ฟอสเฟตทั้งหมด โดยวิธี Spectrophotometric molybdatevanadophosphate method

1.8 โพแทสเซียมทั้งหมด โดยวิธี Flame photometric method

2. การทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายของคะน้า

ทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายของคะน้า (*Brassica alboglabra* L.H.Bailey) พันธุ์ Gold Star TC 635 ในระดับโรงเรือน ดำเนินการตามวิธีของ วรรณิศา ปัทมะภูษิต (2557) โดยทำการหว่านเมล็ดคะน้าลงในถุงดำบรรจุดินปลูก ขนาด 5 × 10 นิ้ว ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่าง ดิน แกลบดำ และขุยมะพร้าวสับ ในอัตราส่วนผสม 1:1:1

(กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) จนคะน้ามีอายุ 14 วัน และทำการถอนแยกให้เหลือคะน้าจำนวนถุงละ 1 ต้น นำปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ที่เตรียมไว้ มาทดสอบกับผักคะน้าที่ปลูก โดยใส่ปุ๋ยจำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ ใส่ก่อนปลูก และเมื่อคะน้าอายุ 15, 30 และ 45 วัน นับจากวันที่ถอนแยก โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design with Subsampling (CRD with Subsampling) จำนวนทั้งหมด 4 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15, 30 และ 45 วัน) (ธีระพงษ์ สว่างปัญญากูร, 2558)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน (อัตรา 500 กก./ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15, 30 และ 45 วัน) (ธีระพงษ์ สว่างปัญญากูร, 2558)

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (อัตรา 20 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 และ 45 วัน อัตรา 40 กก./ไร่ ที่อายุ 30 วัน) (วรรณิศา ปัทมะภูษิต, 2557)

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตในทุก ๆ สัปดาห์ หลังการถอนแยกจนถึงระยะการเก็บเกี่ยวที่อายุ 50 วัน และศึกษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า โดยเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

2.1 การศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการเจริญเติบโตของคะน้า

2.1.1 ความสูงของต้นคะน้า (เซนติเมตร)

2.1.2 จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น (ใบ)

2.1.3 ขนาดลำต้น (มิลลิเมตร)

2.1.4 ความยาวราก (เซนติเมตร)

2.1.5 น้ำหนักแห้งราก (กรัม)

2.2 การศึกษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า

2.2.1 น้ำหนักสดต่อต้น โดยการนำต้นสดมาชั่งน้ำหนัก (กรัม)

2.2.2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งต่อต้น ตามวิธีของ Beadle (1993)

2.2.3 ค่าดัชนีความเขียว SPAD ด้วยเครื่องวัดโครโรฟิลล์ (digital Chlorophyll Meter)

2.2.4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ตามวิธีของ Witham, et al. (1971)

2.2.5 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีของ Chao, et al. (2007); อรประภา อนุกูลประเสริฐ (2558)

3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน

สุ่มเก็บตัวอย่างดินในถุงบรรจุดินปลูกทั้งก่อนและหลังปลูกคะน้า ปริมาณ 500 กรัม ในแต่ละกรรมวิธี จากการทดลอง 2 มาทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน ได้แก่

3.1 ความชื้น (Soil moisture content) ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน (2553)

3.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

3.3 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity)

3.4 อินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีของ Walkley and Black (1947)

3.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

3.6 ไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl method

3.7 ฟอสเฟตทั้งหมด โดยวิธี Spectrophotometric molybdatevanadophosphate method

3.8 โพแทสเซียมทั้งหมด โดยวิธี Flame photometric method

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละทรีทเมนต์ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test: DMRT)

การทดสอบผลของรายอยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคเน่าคอดินและโรคใบจุดในคะน้า

1. การทดสอบผลของรายอยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคในระดับห้องปฏิบัติการ (*In vitro*)

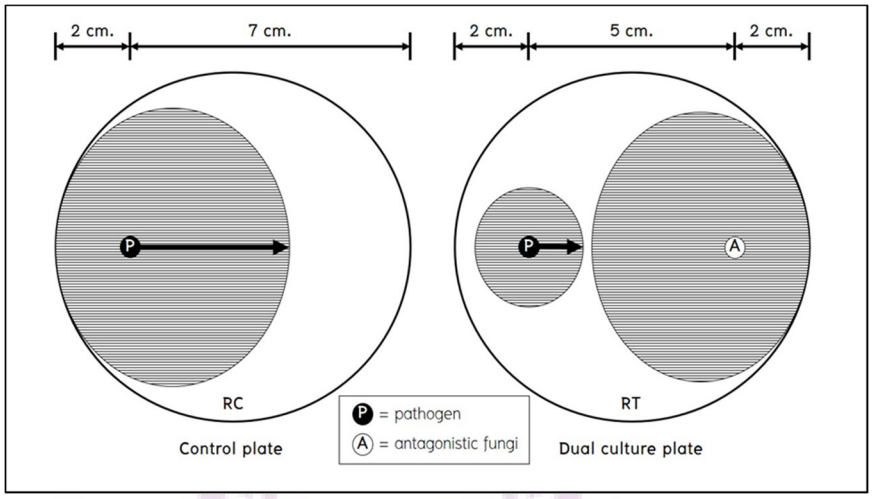
นำรายอยสลาย *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) มาทดสอบการยับยั้งการเจริญของราสาเหตุโรคพืชที่สำคัญ ได้แก่ รา *Pythium aphanidermatum* และ *Alternaria brassicicola* สาเหตุโรคเน่าคอดินและโรคใบจุดของคะน้า ด้วยวิธี dual culture โดยนำราสาเหตุโรคทั้ง 2 ชนิด คือ *P. aphanidermatum* และ *A. brassicicola* มาทำการทดสอบกับรายอยสลาย ทั้ง 3 ชนิด โดยใช้ Cork borer ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะบริเวณปลายเส้นใยของเชื้อ จากนั้นนำมาวางบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ให้มีระยะห่างกัน 5 เซนติเมตร โดยที่วางรายอยสลายกับราสาเหตุโรคไว้ตรงข้ามกัน ในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของจานอาหาร (ภาพ 4) บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) นาน 7 วัน จากนั้นวัดความยาวรัศมีของโคโลนีราสาเหตุโรคในจานทดสอบ (กานต์ จิตสุวรรณรักษ์,

2559) นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของราสาเหตุโรคพืช (Percent inhibition of radial growth: PIRG) ดังนี้

เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของราสาเหตุโรคพืช (PIRG) = [(RC–RT)/RC] × 100

เมื่อ RC = ค่าเฉลี่ยความยาวรัศมีของโคโลนีราสาเหตุโรคพืชในจานควบคุม

RT = ค่าเฉลี่ยความยาวรัศมีของโคโลนีราสาเหตุโรคพืชในจานทดสอบ



ภาพ 4 แสดงวิธีการทดสอบการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคด้วยวิธี dual culture

2. การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการควบคุมโรคเน่าคอดินและโรคใบจุดของคะน้า ในระดับโรงเรือน

2.1 การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการควบคุมโรคเน่าคอดิน

เตรียมเพาะต้นกล้าคะน้า โดยทำการหว่านเมล็ดคะน้าลงในดินปลูกที่มีอัตราส่วนผสมระหว่าง ดิน แกลบดำ และขุยมะพร้าวสับ ในอัตราส่วน 1:1:1 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) ที่บรรจุในถุงดำขนาด 5 × 10 นิ้ว จนคะน้ามีอายุ 14 วัน และทำการถอนแยกให้เหลือจำนวนถุงละ 1 ต้น นำปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน และปุ๋ยเคมีสูตร 46–0–0 ที่เตรียมไว้ในการทดสอบใส่ลงในถุงดำ จำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 ใส่ก่อนปลูก และครั้งที่ 2 เมื่อคะน้าอายุครบ 15 วัน จากนั้นเมื่อคะน้าอายุ 20 วัน ทำการปลูกเชื้อสาเหตุโรคเน่าคอดิน โดยนำรา *P. aphanidermatum* (ภาพ 5) ที่เลี้ยงบนจานอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน มาทำเป็นสารแขวนลอยสปอร์ (spore suspension) โดยราที่เจริญบนผิวอาหาร PDA ใส่ลงใน

น้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ ให้มีระดับความเข้มข้นประมาณ 1.0 × 10^6 สปอร์/มิลลิลิตร ปลูกลงบริเวณโคนต้นคะน้า ด้วยวิธี injection ปริมาตร 15 มิลลิลิตรต่อต้น โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวนทั้งหมด 10 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ผักตบชวาหมักจากรายย่อยสลาย (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 วัน)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 วัน)

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (อัตรา 20 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 วัน)

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 วัน)

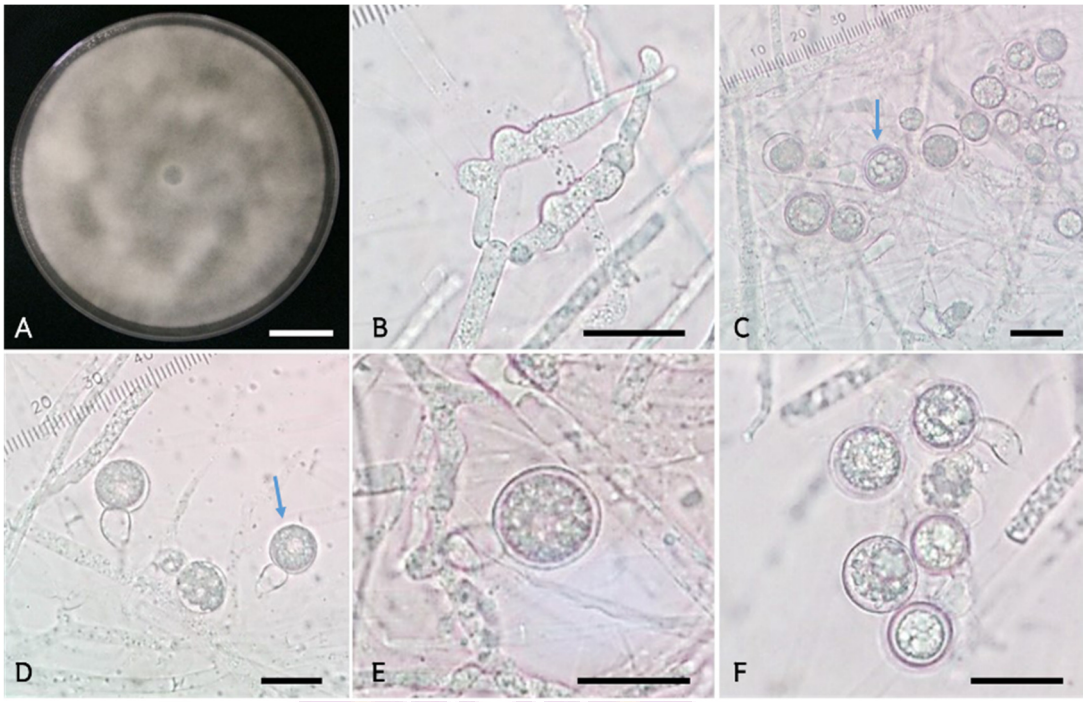
กรรมวิธีที่ 6 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) + *P. aphanidermatum*

กรรมวิธีที่ 7 ใส่ผักตบชวาหมักจากรายย่อยสลาย + *P. aphanidermatum* (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 วัน)

กรรมวิธีที่ 8 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน + *P. aphanidermatum* (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 วัน)

กรรมวิธีที่ 9 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 + *P. aphanidermatum* (อัตรา 20 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 วัน)

กรรมวิธีที่ 10 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย + *P. aphanidermatum* (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 วัน)



ภาพ 5 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *P. aphanidermatum*

หมายเหตุ: [A = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA อายุ 7 วัน, B = toruloid sporangium, C = oospores, D = immature oogonium และ E–F = ornamented oogonium with antheridia (บาร์: A = 1.5 เซนติเมตร และ B–F = 20 ไมโครเมตร)]

บันทึกข้อมูลการเกิดโรค (Disease incidence: DI)

ทำการบันทึกข้อมูลการเกิดโรคเน่าคอดิน ในวันที่ 3, 5 และ 7 วัน หลังการทดสอบโดยประเมินการเกิดโรคเน่าคอดินในผักคะน้า โดยการวัดผลประเมินการเกิดโรค โดยการนับจำนวนต้นคะน้าที่เป็นโรค (ยุทธศักดิ์ เจียมไชยศรี, 2555) จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

Disease incidence: DI (%) = (จำนวนต้นที่เกิดโรค/จำนวนต้นทั้งหมด) × 100

2.2 การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ต่อการควบคุมโรคใบจุด

เตรียมเพาะต้นกล้าคะน้า โดยการหว่านเมล็ดคะน้าลงในถุงดำบรรจุดินปลูกขนาด 5 × 10 นิ้ว จนคะน้ามีอายุ 14 วัน และทำการถอนแยกให้เหลือจำนวนถุงละ 1 ต้น นำปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน และปุ๋ยเคมีสูตร 46–0–0 ที่เตรียมไว้ในการทดสอบใส่ลงในถุงดำ จำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ เมื่อคะน้าอายุ 0 (ใส่ก่อนปลูก)

15 และ 30 วัน จากนั้นเมื่อคะน้าอายุ 35 วัน ทำการปลูกเชื้อสาเหตุโรคใบจุด โดยนำรา *A. brassicicola* (ภาพ 6) ที่เลี้ยงบนจานอาหาร PDA เป็นเวลา 14 วัน มาทำเป็นสารแขวนลอยสปอร์ (spore suspension) โดยขูดเชื้อบนผิวอาหาร PDA ใส่ลงในน้ำกลั่นผสม Tween 80 ความเข้มข้น 0.1% ที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว ให้มีระดับความเข้มข้น ประมาณ 1.0×10^6 สปอร์/มิลลิลิตร ฉีดพ่นลงบนใบของคะน้า (บุษราคัม อุดมศักดิ์ และคณะ, 2556) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD with Subsampling) จำนวนทั้งหมด 10 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ผักตบชวาหมักจากรายย่อยสลาย (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก ที่อายุ 15 และ 30 วัน)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก ที่อายุ 15 และ 30 วัน)

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (อัตรา 20 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 วัน อัตรา 40 กก./ไร่ ที่อายุ 30 วัน)

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก ที่อายุ 15 และ 30 วัน)

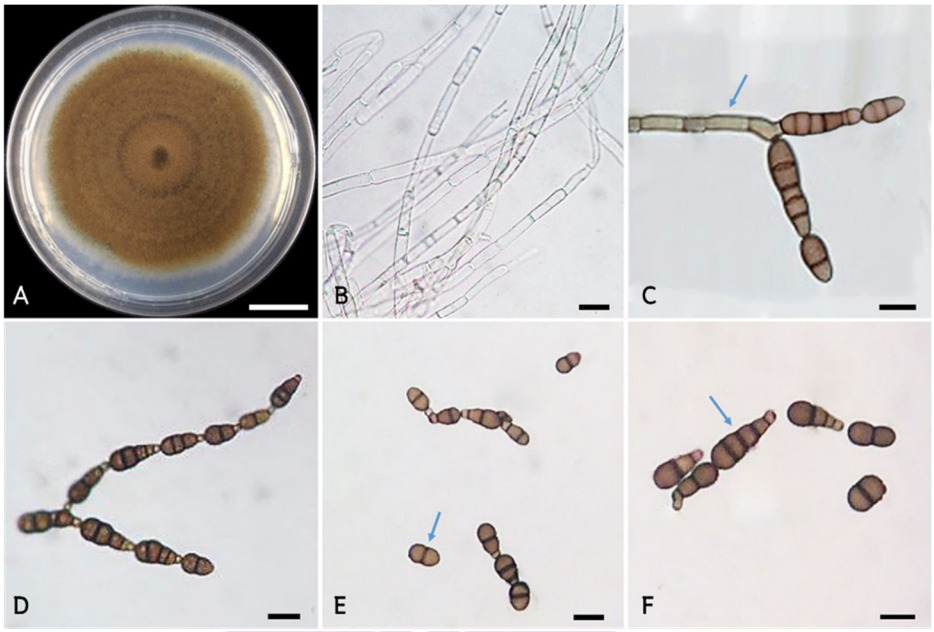
กรรมวิธีที่ 6 ไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) + *A. brassicicola*

กรรมวิธีที่ 7 ใส่ผักตบชวาหมักจากรายย่อยสลาย + *A. brassicicola* (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก ที่อายุ 15 และ 30 วัน)

กรรมวิธีที่ 8 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน + *A. brassicicola* (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก ที่อายุ 15 และ 30 วัน)

กรรมวิธีที่ 9 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 + *A. brassicicola* (อัตรา 20 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก และที่อายุ 15 วัน อัตรา 40 กก./ไร่ ที่อายุ 30 วัน)

กรรมวิธีที่ 10 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย + *A. brassicicola* (อัตรา 500 กก./ไร่ โดยใส่ก่อนปลูก ที่อายุ 15 และ 30 วัน)



ภาพ 6 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรา *A. brassicicola*

หมายเหตุ: [A = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA อายุ 14 วัน, B = hypha, C = conidiophore with conidiospore, D = conidia, E = microconidia และ F = macroconidia (บาร์: A = 1.5 เซนติเมตร และ B–F = 10 ไมโครเมตร)]

บันทึกข้อมูลการเกิดโรค (Disease incidence)

ทำการบันทึกข้อมูลการเกิดโรคใบจุด ในวันที่ 3, 5 และ 7 วัน หลังการทดสอบ (บุษราคัม อุดมศักดิ์ และคณะ, 2556) โดยการประเมินความรุนแรงของโรค (Disease severity) (ยุทธศักดิ์ เจียมไชยศรี, 2555) แบ่งเป็นระดับความรุนแรง 5 ระดับ ได้แก่

ระดับที่ 1 ใบไม่ปรากฏอาการโรค

ระดับที่ 2 ใบปรากฏอาการโรค ร้อยละ 1–25 ของพื้นที่ใบ

ระดับที่ 3 ใบปรากฏอาการโรค ร้อยละ 26–50 ของพื้นที่ใบ

ระดับที่ 4 ใบปรากฏอาการโรค ร้อยละ 51–75 ของพื้นที่ใบ

ระดับที่ 5 ใบปรากฏอาการโรค มากกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่ใบ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละทรีทเมนต์ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test: DMRT)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

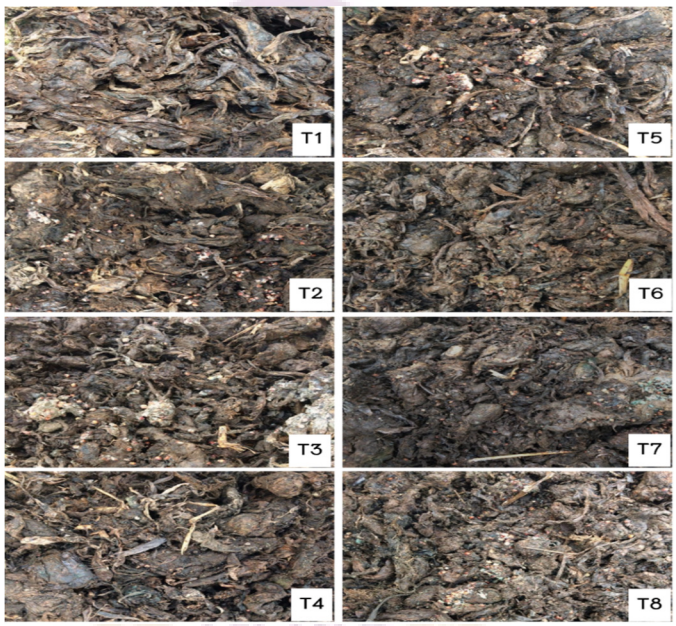
การศึกษาคุณภาพการย่อยสลายผักตบชวาด้วยรายย่อยสลายในระดับโรงงาน

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของผักตบชวาหมัก

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของผักตบชวาหมัก ที่หมักด้วยรายย่อยสลายในระดับโรงงาน พบว่า ผักตบชวาหมักในกรรมวิธีที่ 7 ที่หมักด้วยรา *R. oryzae* (UPPY29) + *T. harzianum* (UPPY19) นาน 60 วัน มีคุณภาพในการย่อยสลายที่ดี โดยเนื้อปุ๋ยมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลดำ มีความอ่อนนุ่ม เปื่อยยุ่ย และไม่มีกลิ่นฉุนของก๊าซต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการใส่รายย่อยสลาย (ภาพ 7) โดยอุณหภูมิในกองปุ๋ยช่วงแรกที่หมักนาน 30 วัน มีอุณหภูมิในช่วง 36–37 องศาเซลเซียส และเมื่อหมักนาน 60 วัน อุณหภูมิในกองปุ๋ยมีการลดลงอยู่ในช่วง 32–33 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นของผักตบชวาหมัก พบว่า เมื่อหมัก 60 วัน ความชื้นของปุ๋ยหมักลดลงเฉลี่ย 61.86–80.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ตาราง 2)

ด้านคุณสมบัติทางเคมีของผักตบชวาหมักนาน 60 วัน พบว่า ความเป็นกรด–ด่างของผักตบชวาหมัก ที่หมักด้วยรายย่อยสลายในทุกกรรมวิธี มีค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) อยู่ที่ช่วง 6.30–7.53 (ตาราง 2) ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าของผักตบชวาหมัก ในกรรมวิธีที่ 2 (*M. ellipsoideus* UPPY06), กรรมวิธีที่ 4 (*T. harzianum* UPPY19), กรรมวิธีที่ 5 (*M. ellipsoideus* UPPY06 + *R. oryzae* UPPY29), กรรมวิธีที่ 7 (*R. oryzae* UPPY29 + *T. harzianum* UPPY19) และกรรมวิธีที่ 8 (*M. ellipsoideus* UPPY06 + *R. oryzae* UPPY29 + *T. harzianum* UPPY19) มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 7.21, 8.56, 6.80, 3.23 และ 7.28 เดซิซีเมน/เมตร ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด (ตาราง 2) ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในผักตบชวาหมัก พบว่า ในทุกกรรมวิธีมีปริมาณอินทรียวัตถุตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (ตาราง 3) ในขณะที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของผักตบชวาหมักในทุกกรรมวิธี มีค่าเกินเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด คือ ไม่เกิน 20/1 (ตาราง 3) ส่วนผลการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของผักตบชวาหมัก พบว่า เมื่อหมักนาน 60 วัน ผักตบชวาหมักในกรรมวิธีที่ 7 คือ การใช้รา *R. oryzae* (UPPY29) + *T. harzianum* (UPPY19) มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายที่สมบูรณ์ดีที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 81.66 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 3) ในขณะที่ปริมาณ cellulose ในผักตบชวาหมัก พบว่า ที่ระยะเวลาหมักนาน 30 และ 45 วัน ผักตบชวาหมักในกรรมวิธีที่ 1 คือ ชุดควบคุม มีปริมาณ cellulose น้อยที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 22.67 และ 21.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

แต่เมื่อหมักนาน 60 วัน พบว่า ปริมาณ cellulose กรรมวิธีที่ 2 (*M. ellipsoideus* UPPY06) และกรรมวิธีที่ 3 (*R. oryzae* UPPY29) มีปริมาณน้อยที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 23.67 และ 23.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณ hemicelluloses ในผักตบชวาหมัก พบว่า เมื่อหมักนาน 30 และ 45 วัน กรรมวิธีที่ 6 (ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* UPPY06 + *T. harzianum* UPPY19) มีค่าเฉลี่ยของปริมาณ hemicelluloses น้อยที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 26.33 และ 30.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อหมักนาน 60 กรรมวิธีที่ 5 (*M. ellipsoideus* UPPY06 + *R. oryzae* UPPY29) มีปริมาณ hemicelluloses น้อยที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 23.06 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีอื่น ๆ (ตาราง 4)



ภาพ 7 แสดงลักษณะของผักตบชวาหมักที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ที่ระยะเวลา 60 วัน

หมายเหตุ: T1 = กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม)

T2 = กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวาร่วมกับรา *M. ellipsoideus*

T3 = กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวาร่วมกับรา *R. oryzae*

T4 = กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวาร่วมกับรา *T. harzianum*

T5 = กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวาร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae*

T6 = กรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวาร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *T. harzianum*

T7 = กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวาร่วมกับรา *R. oryzae* + *T. harzianum*

T8 = กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum*

ตาราง 2 แสดงอุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของผักตบชวาหมัก นาน 30, 45 และ 60 วัน

ระยะเวลาหมัก	กรรมวิธีที่	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	กรด-ด่าง (pH)	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)
30 วัน	กรรมวิธีที่ 1	36.25±0.83	84.26±1.32 ^{b}	7.50±0.22 ^{e}	18.48±0.02 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 2	36.00±0.00	83.06±1.15 ^{b}	7.93±0.12 ^{bcd}	8.36±0.13 ^{e}
	กรรมวิธีที่ 3	36.75±0.43	88.20±0.82 ^{a}	7.43±0.05 ^{e}	13.33±0.53 ^{c}
	กรรมวิธีที่ 4	36.75±0.43	88.13±0.34 ^{a}	8.20±0.08 ^{b}	13.27±0.32 ^{c}
	กรรมวิธีที่ 5	36.75±1.30	83.66±3.15 ^{b}	7.96±0.12 ^{bc}	7.97±0.04 ^{e}
	กรรมวิธีที่ 6	37.00±1.00	84.80±0.59 ^{ab}	8.60±0.22 ^{a}	13.84±0.33 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 7	36.50±0.50	84.93±1.93 ^{ab}	7.80±0.08 ^{cd}	4.83±0.05 ^{f}
	กรรมวิธีที่ 8	36.50±0.50	83.13±1.73 ^{b}	7.66±0.05 ^{de}	8.91±0.14 ^{d}
F-test		ns	*	*	*
CV%		2.44	2.47	2.2	3.00
45 วัน	กรรมวิธีที่ 1	35.00±1.25	81.40±1.18 ^{c}	8.03±0.09 ^{a}	16.20±0.17 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 2	35.00±0.47	84.46±3.49 ^{bc}	7.30±0.00 ^{d}	8.97±0,19 ^{d}
	กรรมวิธีที่ 3	35.00±1.25	85.20±1.72 ^{b}	7.70±0.00 ^{b}	13.31±0.14 ^{c}
	กรรมวิธีที่ 4	35.25±1.25	84.93±0.98 ^{b}	6.86±0.05 ^{e}	8.143±0.10 ^{e}
	กรรมวิธีที่ 5	35.50±0.47	87.06±1.43 ^{ab}	7.53±0.05 ^{c}	9.24±0.02 ^{d}
	กรรมวิธีที่ 6	35.25±0.94	87.86±0.19 ^{ab}	7.60±0.00 ^{bc}	13.82±0.19 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 7	35.25±1.25	86.33±1.23 ^{ab}	6.80±0.08 ^{e}	4.39±0.05 ^{g}
	กรรมวิธีที่ 8	35.25±1.25	89.00±0.86 ^{a}	7.56±0.09 ^{c}	6.56±0.19 ^{f}
F-test		ns	*	*	*
CV%		5.15	2.5	1.05	1.89
60 วัน	กรรมวิธีที่ 1	32.50±3.0	77.13±1.33 ^{a}	8.80±0.00 ^{a}	12.42±0.29 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 2	32.25±2.5	78.86±0.98 ^{a}	7.46±0.05 ^{b}	7.21±0.02 ^{de}
	กรรมวิธีที่ 3	32.00±3.0	76.40±3.99 ^{a}	7.53±0.05 ^{b}	12.04±0.20 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 4	32.00±3.0	61.86±8.20 ^{b}	6.70±0.08 ^{e}	8.56±0.16 ^{c}
	กรรมวิธีที่ 5	33.00±3.0	75.33±0.94 ^{a}	6.86±0.05 ^{d}	6.80±0.02 ^{e}
	กรรมวิธีที่ 6	32.25±3.0	76.66±3.09 ^{a}	7.46±0.05 ^{b}	14.41±0.35 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 7	32.00±3.0	80.93±1.15 ^{a}	6.30±0.00 ^{f}	3.23±0.03 ^{f}
	กรรมวิธีที่ 8	32.50±3.0	77.06±3.28 ^{a}	7.23±0.09 ^{c}	7.28±0.26 ^{d}
F-test		ns	*	*	*
CV%		14.49	6.33	0.98	4.46

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus*

กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวา ร่วมกับรา *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum*

ตาราง 3 แสดงปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และการย่อยสลายที่สมบูรณ์ ของผักตบชวาหมัก นาน 30, 45 และ 60 วัน

ระยะเวลาหมัก	กรรมวิธีที่	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ดัชนีการงอกของเมล็ด (%)
30 วัน	กรรมวิธีที่ 1	56.99±4.11 ^{ab}	44.08±7.59 ^{a}	0.00±0.00 ^{f}
	กรรมวิธีที่ 2	53.18±5.52 ^{bc}	33.15±5.21 ^{ab}	14.00±2.16 ^{d}
	กรรมวิธีที่ 3	47.86±4.79 ^{c}	32.10±6.87 ^{b}	10.66±2.36 ^{de}
	กรรมวิธีที่ 4	53.64±5.19 ^{bc}	34.73±5.75 ^{ab}	18.66±2.62 ^{d}
	กรรมวิธีที่ 5	54.80±1.84 ^{bc}	34.76±0.67 ^{ab}	35.33±3.30 ^{c}
	กรรมวิธีที่ 6	55.61±1.61 ^{bc}	32.72±2.23 ^{b}	6.66±4.99 ^{e}
	กรรมวิธีที่ 7	48.56±1.28 ^{c}	33.62±2.51 ^{ab}	56.66±4.19 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 8	63.70±0.28 ^{a}	42.05±4.49 ^{ab}	45.00±4.32 ^{b}
F-test		*	*	*
CV%		8.67	17.94	16.15
45 วัน	กรรมวิธีที่ 1	44.28±1.58 ^{a}	31.65±2.11 ^{ab}	0.00±0.00 ^{e}
	กรรมวิธีที่ 2	34.34±4.50 ^{b}	27.94±1.98 ^{b}	42.66±4.64 ^{bc}
	กรรมวิธีที่ 3	42.43±2.37 ^{a}	34.50±3.51 ^{a}	27.66±3.30 ^{d}
	กรรมวิธีที่ 4	42.55±2.32 ^{a}	31.99±2.81 ^{ab}	35.00±4.55 ^{cd}
	กรรมวิธีที่ 5	42.66±1.89 ^{a}	29.60±2.74 ^{ab}	34.00±4.32 ^{cd}
	กรรมวิธีที่ 6	31.45±4.45 ^{b}	21.77±0.90 ^{c}	28.33±6.13 ^{d}
	กรรมวิธีที่ 7	42.66±2.14 ^{a}	34.93±2.59 ^{a}	60.66±6.80 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 8	41.28±3.12 ^{a}	29.34±3.44 ^{ab}	48.66±2.49 ^{b}
F-test		*	*	*
CV%		9.64	11.32	16.87
60 วัน	กรรมวิธีที่ 1	45.09±3.38 ^{ab}	28.09±3.49	0.00±0.00 ^{e}
	กรรมวิธีที่ 2	47.40±6.98 ^{ab}	28.62±5.65	72.00±9.42 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 3	49.37±2.97 ^{a}	38.35±7.47	44.66±5.56 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 4	37.34±2.14 ^{b}	32.36±8.17	42.33±1.89 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 5	53.18±7.54 ^{a}	31.53±6.86	56.66±4.92 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 6	53.99±2.21 ^{a}	29.72±1.14	32.33±5.73 ^{c}
	กรรมวิธีที่ 7	49.71±6.71 ^{a}	29.46±2.28	81.66±7.36 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 8	39.08±1.77 ^{b}	31.22±3.21	55.33±7.36 ^{b}
F-test		*	ns	*
CV%		13.26	22.38	17.38

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus*

กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวา ร่วมกับรา *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum*

ตาราง 4 แสดงปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ของผักตบชวาหมัก นาน 30, 45 และ 60 วัน

ระยะเวลาหมัก	กรรมวิธีที่	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)
30 วัน	กรรมวิธีที่ 1	22.67±1.89 ^{c}	26.83±0.14 ^{bc}
	กรรมวิธีที่ 2	29.17±0.24 ^{a}	30.11±1.29 ^{abc}
	กรรมวิธีที่ 3	24.50±1.08 ^{c}	30.72±1.00 ^{ab}
	กรรมวิธีที่ 4	29.17±1.31 ^{a}	30.89±2.08 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 5	28.17±2.46 ^{ab}	31.94±1.99 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 6	25.17±2.66 ^{bc}	26.33±3.57 ^{c}
	กรรมวิธีที่ 7	29.17±0.24 ^{a}	30.94±0.34 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 8	23.83±0.62 ^{c}	28.28±1.72 ^{abc}
F-test		*	*
CV%		7.77	8.06
45 วัน	กรรมวิธีที่ 1	21.00±1.41 ^{b}	31.33±1.91
	กรรมวิธีที่ 2	27.00±0.82 ^{a}	34.89±0.68
	กรรมวิธีที่ 3	26.67±1.25 ^{a}	32.44±0.83
	กรรมวิธีที่ 4	26.67±3.86 ^{a}	30.44±2.94
	กรรมวิธีที่ 5	24.17±2.09 ^{ab}	35.94±3.32
	กรรมวิธีที่ 6	24.67±2.62 ^{ab}	30.00±4.12
	กรรมวิธีที่ 7	27.67±1.03 ^{a}	31.78±1.73
	กรรมวิธีที่ 8	23.33±4.19 ^{ab}	31.00±4.58
F-test		*	ns
CV%		12.79	11.52
60 วัน	กรรมวิธีที่ 1	28.17±1.03 ^{ab}	25.78±1.13
	กรรมวิธีที่ 2	23.67±2.05 ^{d}	26.72±2.60
	กรรมวิธีที่ 3	23.17±0.62 ^{d}	27.50±3.11
	กรรมวิธีที่ 4	24.33±2.05 ^{cd}	23.95±2.32
	กรรมวิธีที่ 5	28.17±0.62 ^{ab}	23.06±3.81
	กรรมวิธีที่ 6	31.00±1.78 ^{a}	26.83±1.74
	กรรมวิธีที่ 7	25.83±1.55 ^{bcd}	24.50±1.67
	กรรมวิธีที่ 8	27.17±1.65 ^{bc}	23.72±3.06
F-test		*	ns
CV%		7.48	13.22

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus*

กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวา ร่วมกับรา *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum*

2. การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของผักตบชวาหมัก

ปริมาณธาตุอาหารหลักในผักตบชวาหมัก พบว่า เมื่อหมักนาน 60 วัน ในกรรมวิธีที่ 5 (ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* UPPY06 + *R. oryzae* UPPY29) และกรรมวิธีที่ 6 (ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* (UPPY06) + *T. harzianum* UPPY19) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เฉลี่ยเท่ากับ 1.00 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ รองลงมา คือ ในกรรมวิธีที่ 1 (ชุดควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 (ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* UPPY06) และกรรมวิธีที่ 7 (ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae* UPPY29 + *T. harzianum* UPPY19) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เฉลี่ยเท่ากับ 0.94, 0.97 และ 0.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในผักตบชวาหมักในทุกกรรมวิธี ที่หมักนาน 30, 45 และ 60 วัน มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในผักตบชวาหมักในทุกกรรมวิธี ที่ระยะเวลา 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมลดน้อยลงเมื่อเทียบกับการหมักที่ระยะเวลา 30 และ 45 วัน แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ตามค่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ (ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) โดยผักตบชวาหมักนาน 60 วัน ในกรรมวิธีที่ 2 (*M. ellipsoideus* UPPY06) กรรมวิธีที่ 4 (ผักตบชวา ร่วมกับรา *T. harzianum* UPPY19) และกรรมวิธีที่ 5 (ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* UPPY06 + *R. oryzae* UPPY29) มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 0.88, 0.91 และ 0.90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมากกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 5)

ตาราง 5 แสดงปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดของผักตบชวาหมักนาน 30, 45 และ 60 วัน

ระยะเวลาหมัก	กรรมวิธีที่	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (%)
30 วัน	กรรมวิธีที่ 1	0.76±0.07 ^{b}	0.38±0.00	1.13±0.02 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 2	0.95±0.13 ^{ab}	0.39±0.00	1.20±0.06 ^{ab}
	กรรมวิธีที่ 3	0.89±0.12 ^{ab}	0.38±0.01	1.19±0.02 ^{ab}
	กรรมวิธีที่ 4	0.90±0.07 ^{ab}	0.39±0.00	1.23±0.02 ^{ab}
	กรรมวิธีที่ 5	0.92±0.03 ^{ab}	0.38±0.00	1.27±0.02 ^{ab}
	กรรมวิธีที่ 6	0.99±0.10 ^{a}	0.39±0.01	1.24±0.03 ^{ab}
	กรรมวิธีที่ 7	0.84±0.06 ^{ab}	0.38±0.00	1.33±0.13 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 8	0.90±0.10 ^{ab}	0.39±0.01	1.34±0.14 ^{a}
F-test		*	ns	*
CV%		13.09	1.77	7.62
45 วัน	กรรมวิธีที่ 1	0.87±0.06 ^{c}	0.38±0.00	0.70±0.07 ^{c}
	กรรมวิธีที่ 2	1.13±0.02 ^{b}	0.39±0.01	1.09±0.01 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 3	0.94±0.10 ^{c}	0.40±0.01	0.96±0.05 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 4	0.94±0.09 ^{c}	0.39±0.01	1.07±0.01 ^{ab}
	กรรมวิธีที่ 5	0.93±0.08 ^{c}	0.40±0.01	1.10±0.03 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 6	1.48±0.05 ^{a}	0.39±0.01	1.04±0.12 ^{ab}
	กรรมวิธีที่ 7	0.93±0.09 ^{c}	0.40±0.00	1.10±0.01 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 8	0.99±0.13 ^{bc}	0.39±0.01	1.10±0.03 ^{a}
F-test		*	ns	*
CV%		10.47	2.65	6.98
60 วัน	กรรมวิธีที่ 1	0.94±0.06 ^{ab}	0.40±0.00	0.81±0.03 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 2	0.97±0.09 ^{a}	0.39±0.00	0.88±0.01 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 3	0.77±0.10 ^{bc}	0.40±0.00	0.79±0.01 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 4	0.70±0.12 ^{c}	0.41±0.00	0.91±0.02 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 5	1.00±0.10 ^{a}	0.40±0.00	0.90±0.02 ^{a}
	กรรมวิธีที่ 6	1.05±0.04 ^{a}	0.40±0.00	0.80±0.01 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 7	0.97±0.06 ^{a}	0.40±0.01	0.76±0.03 ^{b}
	กรรมวิธีที่ 8	0.74±0.11 ^{c}	0.38±0.00	0.76±0.07 ^{b}
F-test		*	ns	*
CV%		12.88	1.15	4.92

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus*

กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวา ร่วมกับรา *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae*

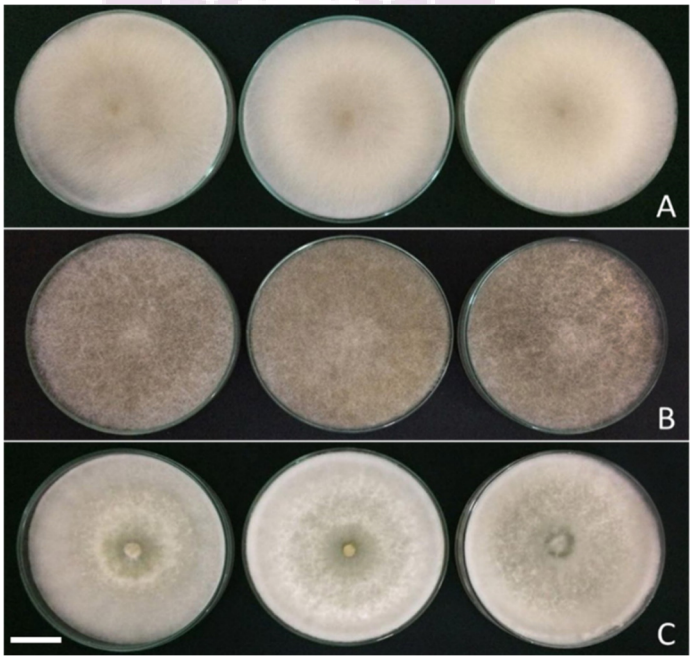
กรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum*

3. การแยกเชื้อกลับเพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของราในผักตบชวาหมัก

การแยกรายย่อยสลายจากผักตบชวาหมัก ที่ระยะเวลาหมักนาน 30, 45 และ 60 วัน เพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของราในทุก ๆ กรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีที่มีการใช้รายย่อยสลายผักตบชวา ได้แก่ กรรมวิธีที่ 2 คือ การใช้รา *M. ellipsoideus* (UPPY06) กรรมวิธีที่ 3 คือ การใช้รา *R. oryzae* (UPPY29) กรรมวิธีที่ 4 คือ การใช้รา *T. harzianum* (UPPY19) กรรมวิธีที่ 5 คือ การใช้รา *M. ellipsoideus* (UPPY06) + *R. oryzae* (UPPY29) กรรมวิธีที่ 6 คือ การใช้รา *M. ellipsoideus* (UPPY06) + *T. harzianum* (UPPY19) กรรมวิธีที่ 7 คือการใช้รา *R. oryzae* (UPPY29) + *T. harzianum* (UPPY19) และกรรมวิธีที่ 8 คือ การใช้รา *M. ellipsoideus* (UPPY06) + *R. oryzae* (UPPY29) + *T. harzianum* (UPPY19) มีการพบรายย่อยสลายแต่ละชนิดที่ใส่ลงไปในผักตบชวาหมักตั้งแต่เริ่มต้นการหมัก และพบว่า มีการตรวจพบรา *Rhizopus* sp. ในทุก ๆ กรรมวิธี ในขณะที่กรรมวิธีที่ 1 (ชุดควบคุม) ที่ไม่มีการใส่ราชนิดใด พบรา *Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp. เกิดขึ้นด้วย (ภาพ 8 และตาราง 6)



ภาพ 8 แสดงลักษณะของรายย่อยสลายบนอาหาร PDA ที่แยกได้หลังจากการหมักผักตบชวา นาน 60 วัน

หมายเหตุ: [A = รา *M. ellipsoideus*, B = รา *R. oryzae* และ C = รา *T. harzianum* (บาร์ = 2 เซนติเมตร)]

ตาราง 6 แสดงชนิดเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากผักตบชวาหมัก นาน 30, 45 และ 60 วัน

ระยะเวลาหมัก	กรรมวิธีที่	ราที่พบจากการแยกกลับ (re-isolation)
30 วัน	กรรมวิธีที่ 1	*Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 2	*Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 3	*Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp.
	กรรมวิธีที่ 4	*Trichoderma* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 5	*Mucor* sp., *Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp.
	กรรมวิธีที่ 6	*Mucor* sp., *Trichoderma* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 7	*Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp.
	กรรมวิธีที่ 8	*Mucor* sp., *Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp.
45 วัน	กรรมวิธีที่ 1	*Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp.
	กรรมวิธีที่ 2	*Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 3	*Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp.
	กรรมวิธีที่ 4	*Trichoderma* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 5	*Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 6	*Mucor* sp., *Trichoderma* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 7	*Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp.
	กรรมวิธีที่ 8	*Mucor* sp., *Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp.
60 วัน	กรรมวิธีที่ 1	*Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 2	*Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 3	*Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 4	*Trichoderma* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 5	*Mucor* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 6	*Mucor* sp., *Trichoderma* sp. และ *Rhizopus* sp.
	กรรมวิธีที่ 7	*Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp.
	กรรมวิธีที่ 8	*Mucor* sp., *Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp.

หมายเหตุ: กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus*

กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวา ร่วมกับรา *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวา ร่วมกับรา *R. oryzae* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum*

การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าในระดับโรงเรือน

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ จำนวนทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ผักตบชวาหมัก ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน พบว่า เมื่อพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ปี 2551 พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย (กรรมวิธีที่ 2 *R. oryzae* UPPY29 + *T. harzianum* UPPY19) มีสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผักตบชวาหมัก และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน โดยพิจารณาจากปริมาณความชื้น ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด–ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เฉลี่ยเท่ากับ 20.80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 3.84 dS/m, 6.18, 22.46 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, 15.43, 1.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, 0.60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ ปี 2551 (ตาราง 7)

ตาราง 7 แสดงสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์

กรรมวิธี	ความชื้น (%)	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	กรด-ด่าง (pH)	อินทรียวัตถุ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสเฟตทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)
กรรมวิธีที่ 1	79.84±0.73 [a]	3.30±0.08 [c]	6.34±0.05 [a]	42.12±2.30 [a]	25.41±1.32 [a]	0.96±0.07 [b]	0.52±0.07 [b]	0.78±0.01 [a]
กรรมวิธีที่ 2	20.80±1.54 [b]	3.84±0.04 [a]	6.18±0.04 [b]	22.46±0.42 [b]	15.43±0.07 [b]	1.06±0.04 [a]	0.60±0.01 [a]	0.75±0.03 [b]
กรรมวิธีที่ 3	13.52±0.84 [c]	3.54±0.06 [b]	5.78±0.04 [c]	15.20±1.02 [c]	11.16±0.67 [c]	0.79±0.02 [c]	0.53±0.00 [b]	0.79±0.01 [a]
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*
CV%	3.34	2.01	0.91	6.4	6.31	5.73	8.37	2.82

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1. ผักตบชวาหมัก (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2. ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย

กรรมวิธีที่ 3. ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน

2. การทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายของคะน้า

2.1 ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการเจริญเติบโตของคะน้า

การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของคะน้า ในระดับโรงเรือน ที่อายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก พบว่า คะน้าในกรรมวิธีที่ 4 มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 31.20 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย) มีความสูงเฉลี่ย เท่ากับ 29.63 เซนติเมตร แต่พบว่า ทั้งกรรมวิธีที่ 4 และกรรมวิธีที่ 2 มีความสูงเฉลี่ยมากกว่ากรรมวิธีที่ 1 (ชุดควบคุม) และกรรมวิธีที่ 3 (ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น และขนาดลำต้น พบว่า ในกรรมวิธีที่ 2 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย) มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น และขนาดลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 8.30 ใบ และ 9.86 มิลลิเมตร ตามลำดับ รองลงมา คือ ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น และขนาดลำต้น เฉลี่ยเท่ากับ 8.16 ใบ และ 9.46 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน และชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความยาวราก และน้ำหนักแห้งรากของคะน้า พบว่า กรรมวิธีที่ 2 (ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย) มีความยาวราก และน้ำหนักแห้งราก เฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 28.49 เซนติเมตร และ 0.83 กรัม ตามลำดับ และมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 4 (การใช้ปุ๋ยเคมี) ที่มีค่าเท่ากับ 25.93 เซนติเมตร และ 0.74 กรัม ตามลำดับ (ตาราง 8–11 และภาพ 9–12)

ตาราง 8 แสดงความสูงของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน อายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก

กรรมวิธี	ความสูง (เซนติเมตร)				
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
กรรมวิธีที่ 1	5.77±0.33 ^{d}	7.57±0.53 ^{d}	9.16±1.17 ^{d}	10.52±1.39 ^{d}	11.37±1.40 ^{d}
กรรมวิธีที่ 2	10.61±0.91 ^{b}	16.60±1.45 ^{b}	22.48±2.00 ^{b}	27.13±2.15 ^{b}	29.63±2.24 ^{a}
กรรมวิธีที่ 3	7.60±0.91 ^{c}	8.84±0.77 ^{c}	12.10±1.30 ^{c}	16.30±1.30 ^{c}	19.15±1.05 ^{c}
กรรมวิธีที่ 4	12.49±2.84 ^{a}	18.71±2.70 ^{a}	24.71±2.91 ^{a}	29.25±2.93 ^{a}	31.20±2.91 ^{a}
F-test	*	*	*	*	*
CV%	17.73	17.84	14.97	14.29	13.37

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม

กรรมวิธที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน

กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยเคมี

ตาราง 9 แสดงจำนวนใบของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน อายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก

กรรมวิธี	จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ)				
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
กรรมวิธีที่ 1	2.46±0.11 [b]	3.66±0.11 [b]	4.20±0.21 [d]	4.86±0.27 [c]	4.90±0.27 [c]
กรรมวิธีที่ 2	2.98±0.22 [a]	5.02±0.22 [a]	6.60±0.35 [a]	8.22±0.61 [a]	8.30±0.58 [a]
กรรมวิธีที่ 3	2.54±0.09 [b]	3.58±0.25 [b]	4.46±0.19 [c]	6.12±0.19 [b]	6.34±0.21 [b]
กรรมวิธีที่ 4	2.98±0.24 [a]	4.94±0.29 [a]	6.28±0.36 [b]	8.10±0.28 [a]	8.16±0.23 [a]
F-test	*	*	*	*	*
CV%	19.95	12.38	10.09	8.87	7.95

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม

กรรมวิธที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรา่อยสลาย

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน

กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยเคมี

ตาราง 10 แสดงขนาดลำต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือนอายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก

กรรมวิธี	ขนาดลำต้น (มิลลิเมตร)				
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
กรรมวิธีที่ 1	1.68±0.12 [b]	2.19±0.11 [c]	2.70±0.11 [d]	3.03±0.24 [c]	3.24±0.30 [c]
กรรมวิธีที่ 2	2.78±0.23 [a]	4.27±0.46 [b]	6.27±0.97 [b]	8.26±1.27 [a]	9.86±1.35 [a]
กรรมวิธีที่ 3	1.82±0.25 [b]	2.31±0.06 [c]	3.45±0.33 [c]	4.63±0.39 [b]	6.09±0.83 [b]
กรรมวิธีที่ 4	2.95±0.37 [a]	4.80±0.44 [a]	6.74±0.33 [a]	8.37±0.53 [a]	9.46±0.60 [a]
F-test	*	*	*	*	*
CV%	21.41	22.07	19.73	18.95	17.22

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม

กรรมวิธที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน

กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยเคมี

ตาราง 11 แสดงความยาวรากและน้ำหนักแห้งรากของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน อายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก

กรรมวิธี	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
กรรมวิธีที่ 1	13.32±1.44 ^{d}	0.09±0.02 ^{d}
กรรมวิธีที่ 2	28.49±1.70 ^{a}	0.83±0.09 ^{a}
กรรมวิธีที่ 3	21.15±0.59 ^{c}	0.24±0.04 ^{c}
กรรมวิธีที่ 4	25.93±1.58 ^{b}	0.74±0.19 ^{b}
F-test	*	*
CV%	16.3	41.28

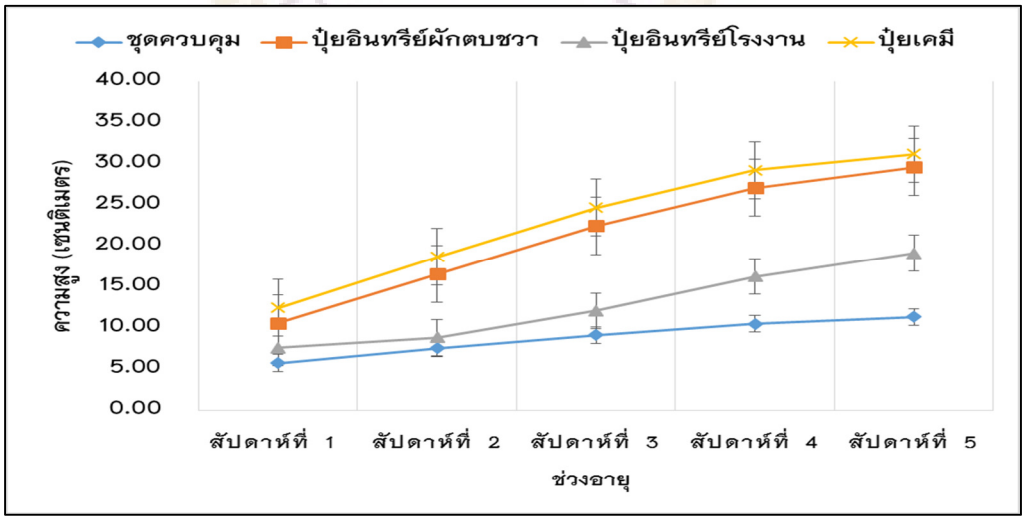
หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม

กรรมวิธที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน

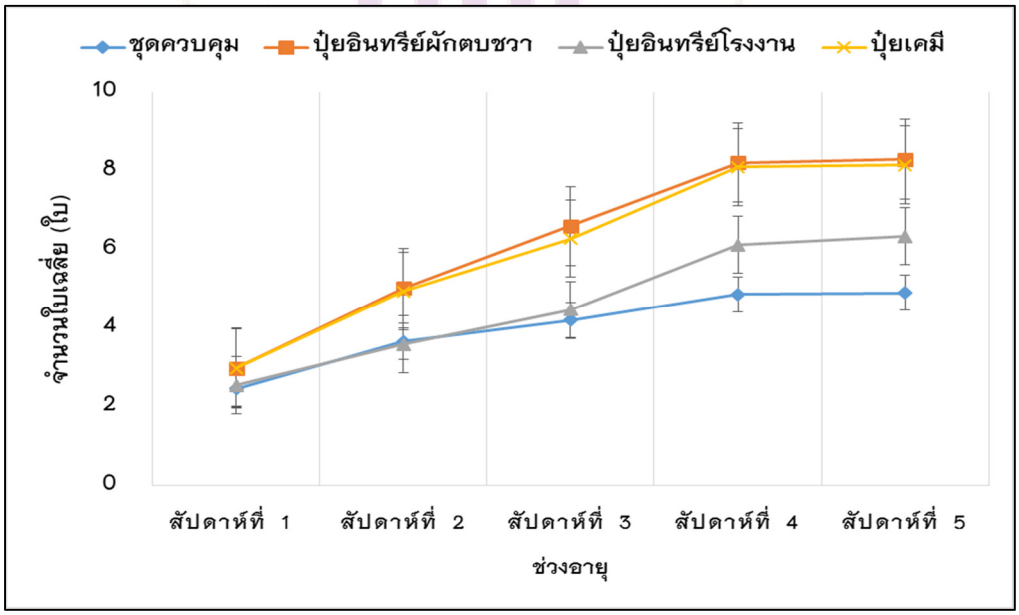
กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยเคมี



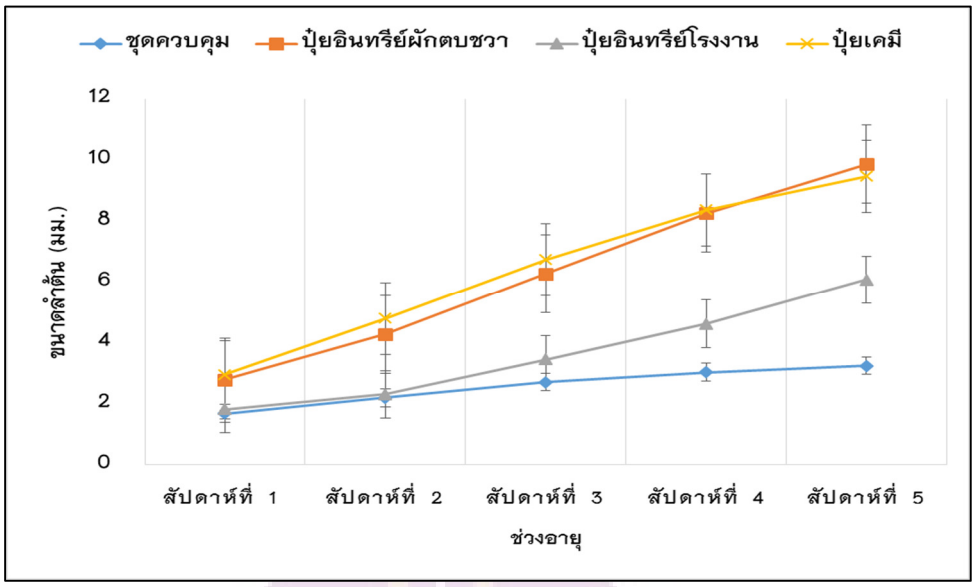
ภาพ 9 แสดงความสูงของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือนอายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก

ภาพ 10 แสดงการเจริญเติบโตของคะน้าที่ปลูกในระดับโรงเรือนอายุ 5 สัปดาห์ หลังถอนแยก

หมายเหตุ: [A = ชุดควบคุม, B = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน, C = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย และ D = ใส่ปุ๋ยเคมี (บาร์: 5 เซนติเมตร)]



ภาพ 11 แสดงจำนวนใบของต้นคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิดในระดับโรงเรือนอายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก



ภาพ 12 แสดงขนาดลำต้นของคะน้าที่ปลูกทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือนอายุ 5 สัปดาห์ หลังการถอนแยก

2.2 การศึกษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า

จากการทดสอบผลคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าที่ปลูกในระดับโรงเรือน พบว่า คะน้าที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย (กรรมวิธีที่ 2) มีน้ำหนักสดต่อต้นมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 41.76 กรัม รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี (กรรมวิธีที่ 4) มีน้ำหนักสดต่อต้น เฉลี่ยเท่ากับ 37.36 กรัม ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน และชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งต่อต้น พบว่า ในกรรมวิธีที่ 1 (ชุดควบคุม) มีมากที่สุด เท่ากับ 19.80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย และกรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมี ที่มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งต่อต้น เท่ากับ 12.40 และ 13.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์รวม และค่าดัชนีความเขียว (SPAD) พบว่า ในกรรมวิธีที่ 2 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย และปุ๋ยเคมี มีค่ามากที่สุด เท่ากับ (0.23 และ 0.19 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักสด) และ (51.02 และ 50.67) ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พบว่า ในกรรมวิธีที่ 2 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน และกรรมวิธีที่ 4 การใส่ปุ๋ยเคมี มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 88.62, 85.34 และ 90.58 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 12)

ตาราง 12 แสดงผลผลิตและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า ที่ทดสอบโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	น้ำหนักสดต้น (g)	น้ำหนักแห้งต้น (%)	ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (mg/100g. FW)	ค่าดัชนีความเขียว (SPAD)	ฟีนอลิก (มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/100 กรัมน้ำหนักสด)
กรรมวิธีที่ 1	2.72±0.73 ^{d}	19.80±1.42 ^{a}	0.12±0.02 ^{c}	36.47±2.03 ^{c}	69.14±10.76 ^{b}
กรรมวิธีที่ 2	41.76±10.98 ^{a}	12.40±0.78 ^{bc}	0.23±0.04 ^{a}	51.02±0.91 ^{a}	88.62±7.64 ^{a}
กรรมวิธีที่ 3	11.63±3.04 ^{c}	11.76±1.29 ^{c}	0.17±0.04 ^{bc}	46.33±3.07 ^{b}	85.34±9.93 ^{a}
กรรมวิธีที่ 4	37.36±4.33 ^{b}	13.12±0.62 ^{b}	0.19±0.06 ^{ab}	50.67±1.27 ^{a}	90.58±9.74 ^{a}
F-test	*	*	*	*	*
CV%	37.44	15.08	24.65	6.98	11.49

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม

กรรมวิธที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน

กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยเคมี

3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในดินปลูกคะน้า

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้ในการปลูกคะน้า พบว่า ความชื้นของดินหลังปลูกในทุก ๆ กรรมวิธี มีปริมาณความชื้นมากกว่าดินก่อนปลูก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ดินปลูกคะน้าในกรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีค่าการนำไฟฟ้าของดินหลังปลูกมากที่สุด เท่ากับ 0.70 มิลลิโมล/เซนติเมตร ส่วนค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) พบว่า ดินก่อนปลูกมีค่าสูงสุด เท่ากับ 7.04 ในขณะที่ดินหลังปลูกคะน้าในทุกกรรมวิธี มีค่า pH ลดลงน้อยกว่าดินก่อนปลูก ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า ดินปลูกคะน้าในกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด เท่ากับ 15.86 และ 13.01 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่า ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 16.87 ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายและปุ๋ยเคมี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินปลูกคะน้า พบว่า ดินก่อนปลูกคะน้ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 0.73 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดินหลังปลูกคะน้าที่มีการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิด มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ทั้งในดินก่อนและหลังปลูกคะน้าที่มีการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิด มีปริมาณไม่ต่างกัน ส่วนปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่า ดินก่อนปลูกมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 2.24 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินหลังปลูกในทุกกรรมวิธี มีปริมาณของโพแทสเซียมทั้งหมด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก (ตาราง 13)

ตาราง 13 แสดงสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในดินปลูกคะน้า ที่ทดสอบด้วยปุ๋ยแต่ละชนิด

กรรมวิธี	ความชื้น (%)	ค่าการนำไฟฟ้า (mmho/cm)	ค่ากรด-ด่าง (pH)	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสเฟตทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)
กรรมวิธีที่ 1	25.00±0.40 ^{b}	0.17±0.00 ^{c}	7.04±0.00 ^{a}	10.29±1.25 ^{b}	14.35±1.98 ^{abc}	0.73±0.03 ^{a}	1.14±0.11 ^{b}	2.24±0.05 ^{a}
กรรมวิธีที่ 2	33.48±1.34 ^{a}	0.12±0.00 ^{d}	6.62±0.01 ^{c}	11.72±1.73 ^{b}	16.19±3.21 ^{ab}	0.51±0.02 ^{b}	1.16±0.15 ^{ab}	1.90±0.11 ^{b}
กรรมวิธีที่ 3	32.04±1.13 ^{a}	0.70±0.00 ^{a}	6.36±0.00 ^{d}	15.86±2.61 ^{a}	12.73±2.63 ^{bc}	0.45±0.02 ^{c}	1.27±0.01 ^{a}	1.45±0.90 ^{d}
กรรมวิธีที่ 4	31.84±2.87 ^{a}	0.37±0.00 ^{b}	6.46±0.00 ^{d}	13.01±2.61 ^{ab}	16.87±3.25 ^{a}	0.42±0.02 ^{c}	1.23±0.01 ^{ab}	1.73±0.09 ^{c}
กรรมวิธีที่ 5	35.52±3.41 ^{a}	0.09±0.00 ^{e}	6.78±0.00 ^{b}	10.43±1.73 ^{b}	11.93±2.01 ^{c}	0.42±0.02 ^{c}	1.21±0.01 ^{ab}	1.75±0.08 ^{bc}
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*
CV%	7.61	1.09	0.90	18.75	18.54	5.45	7.91	5.31

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

กรรมวิธีที่ 1 ดินก่อนปลูก

กรรมวิธีที่ 2 ดินชุดควบคุม

กรรมวิธีที่ 3 ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย

กรรมวิธีที่ 4 ดินที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน

กรรมวิธีที่ 5 ดินที่ใส่ปุ๋ยเคมี

การทดสอบผลของรายอยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคเน่าคอดินและโรคใบจุด ในคะน้า

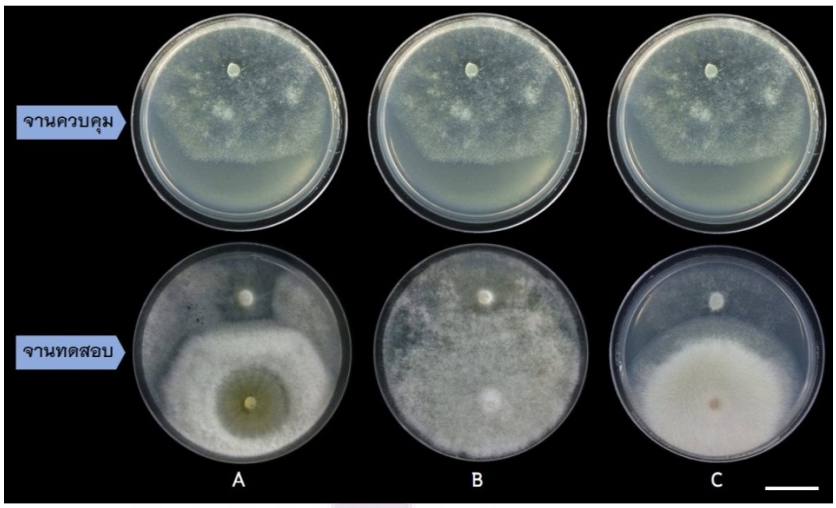
1. การทดสอบผลของรายอยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคเน่าคอดินและโรคใบจุด ในระดับห้องปฏิบัติการ (*In vitro*)

จากการทดสอบผลของรายอยสลาย จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ รา *M. ellipsoideus, R. oryzae* และ *T. harzianum* ต่อการควบคุมการเจริญของรา *P. aphanidermatum* และ *A. brassicicola* สาเหตุโรคเน่าคอดินและโรคใบจุดของคะน้า พบว่า รา *T. harzianum* มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของรา *P. aphanidermatum* มากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 80.61 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่ากรรมวิธีอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมา คือ รา *R. oryzae* และ *M. ellipsoideus* ที่เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของรา *P. aphanidermatum* เท่ากับ 62.61 และ 61.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่การควบคุมการเจริญของรา *A. brassicicola* สาเหตุโรคใบจุดคะน้า พบว่า รา *R. oryzae* และ *T. harzianum* มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของรา *A. brassicicola* สูงที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 86.83 และ 82.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า รา *M. ellipsoideus* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย *M. ellipsoideus* มีเปอร์เซ็นต์ในการควบคุมการเจริญของรา *A. brassicicola* น้อยที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 53.39 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 14) โดยรายอยสลายทั้ง 3 ชนิด มีการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคในคะน้า ทั้ง 2 ชนิด แบบแข่งขันการเจริญเติบโต (competition) (ภาพ 13–14)

ตาราง 14 แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใยราสาเหตุโรคในคะน้าของรายอยสลาย ด้วยวิธี dual culture ในระดับห้องปฏิบัติการ

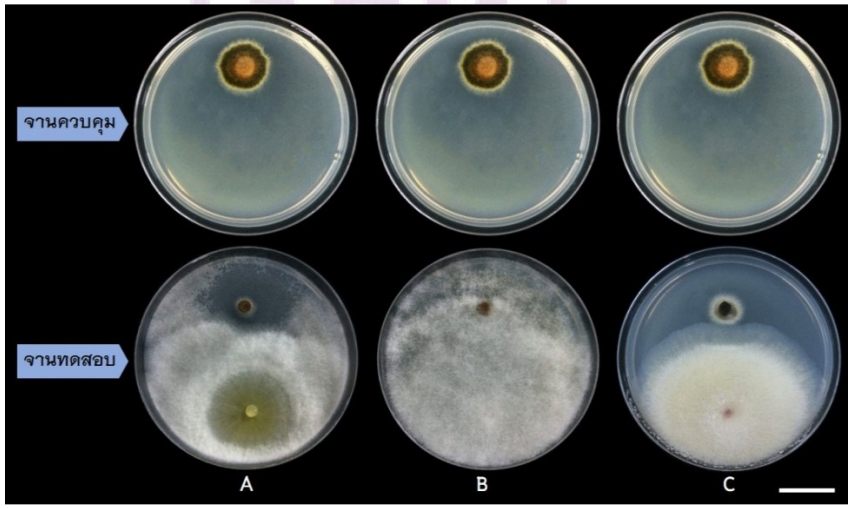
ชนิดรายอยสลาย	การยับยั้งการเจริญของราสาเหตุโรค (%)	
	P. aphanidermatum	*A. brassicicola*
T. harzianum	80.61±1.85 [a]	82.39±4.83 [a]
R. oryzae	62.61±3.99 [b]	86.83±3.46 [a]
M. ellipsoideus	61.06±5.96 [b]	53.39±7.63 [b]
F–test	*	*
CV%	8.11	9.72

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพ 13 แสดงประสิทธิภาพของรายอยสลายต่อการยับยั้งการเจริญของรา *P. aphanidermatum* ที่ทดสอบโดยวิธี dual culture นาน 7 วัน

หมายเหตุ: [A = การยับยั้งของรา *T. harzianum*, B = การยับยั้งของรา *R. oryzae* และ C = การยับยั้งของรา *M. ellipsoideus* (บาร์ = 2 เซนติเมตร)]



ภาพ 14 แสดงประสิทธิภาพของรายอยสลายต่อการยับยั้งการเจริญของรา *A. brassicicola* ที่ทดสอบโดยวิธี dual culture นาน 7 วัน

หมายเหตุ: [A = การยับยั้งของรา *T. harzianum*, B = การยับยั้งของรา *R. oryzae* และ C = การยับยั้งของรา *M. ellipsoideus* (บาร์ = 2 เซนติเมตร)]

2. การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการควบคุมโรคของคะน้า ในระดับโรงเรือน

2.1 การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการควบคุมโรคเน่าคอดิน

จากการทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการควบคุมโรคเน่าคอดินของคะน้า ในระดับโรงเรือน เมื่อปลูกรา *P. aphanidermatum* นาน 7 วัน พบว่า กรรมวิธีที่ 10 การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ร่วมกับการปลูกรา *P. aphanidermatum* มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเน่าคอดิน (Disease incidence: DI) น้อยที่สุด เท่ากับ 4.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่ากรรมวิธีต่าง ๆ ที่มีการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดร่วมกับการปลูกรา *P. aphanidermatum* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 9 การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการปลูกรา *P. aphanidermatum* มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเน่าคอดินมากที่สุด และมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค เฉลี่ยเท่ากับ 86.00 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15) โดยต้นคะน้าที่เป็นโรคมีอาการฉ่ำน้ำ เหี่ยว และตายในที่สุด (ภาพ 15–16)

ตาราง 15 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเน่าคอดินในคะน้า จากการทดสอบปุ๋ยแต่ละชนิด ในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	การเกิดโรคเน่าคอดิน (%)		
	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
1 ชุดควบคุม	0.00±0.00 ^{f}	0.00±0 ^{e}	0.00±0.00 ^{e}
2 ผักตบชวาหมักจากรายย่อยสลาย	0.00±0.00 ^{f}	0.00±0.00 ^{e}	0.00±0.00 ^{e}
3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน	8.00±8.37 ^{e}	8.00±8.37 ^{de}	8.00±8.37 ^{de}
4 ใส่ปุ๋ยเคมี	32.00±8.37 ^{b}	52.00±13.04 ^{b}	68.00±16.43 ^{b}
5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย	0.00±0.00 ^{f}	8.00±10.95 ^{de}	8.00±10.95 ^{de}
6 ชุดควบคุม + *P. aphanidermatum*	16.00±5.48 ^{cd}	18.00±5.45 ^{d}	18.00±4.47 ^{d}
7 ผักตบชวาหมักจากรายย่อยสลาย + *P. aphanidermatum*	10.00±0.00 ^{de}	10.00±5.48 ^{de}	10.00±0.00 ^{de}
8 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน + *P. aphanidermatum*	22.00±8.37 ^{c}	32.00±10.95 ^{c}	34.00±8.94 ^{c}
9 ใส่ปุ๋ยเคมี + *P. aphanidermatum*	40.00±0.00 ^{a}	70.00±12.25 ^{a}	86.00±8.94 ^{a}
10 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย + *P. aphanidermatum*	4.00±5.48 ^{ef}	4.00±5.48 ^{e}	4.00±5.48 ^{e}
F-test	*	*	*
CV%	39.36	40.82	34.68

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ภาพ 15 แสดงการเปรียบเทียบการเกิดโรคเน่าคอดินของคะน้าในระยะต้นกล้า อายุ 27 วัน จากการใช้ปุ๋ยแต่ละชนิด

หมายเหตุ: (A = กรรมวิธีควบคุม, B = กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานร่วมกับการปลูกรา *P. aphanidermatum*, C = กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการปลูกรา *P. aphanidermatum* และ D = กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ร่วมกับการปลูกรา *P. aphanidermatum*)

ภาพ 16 แสดงลักษณะอาการเกิดโรคเน่าคอดินของคะน้าในระยะต้นกล้า อายุ 27 วัน ในระดับโรงเรือน

หมายเหตุ: (A = ต้นคะน้าปกติ, B = ต้นคะน้าที่แสดงอาการเกิดโรคเน่าคอดิน C = ต้นคะน้าปกติหลังจากถอน และ D = ต้นคะน้าที่แสดงอาการเกิดโรคเน่าคอดินหลังจากถอน)

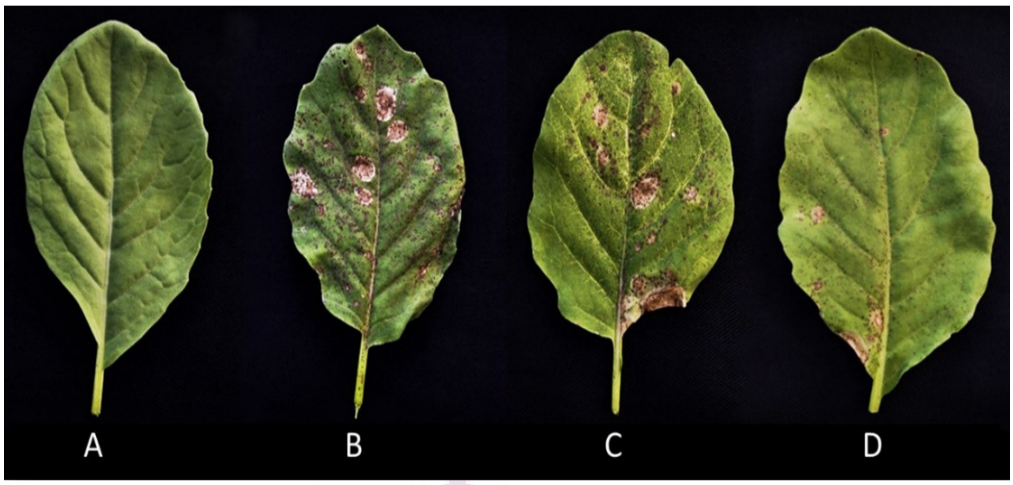
2.2 การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการควบคุมโรคใบจุด

จากการทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายต่อการควบคุมโรคใบจุดของคะน้า เมื่อฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของรา *A. brassicicola* เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ต้นคะน้าในกรรมวิธีที่ 7 (ใส่ผักตบชวาที่หมักจากรายย่อยสลาย) และกรรมวิธีที่ 10 (ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย) มีระดับความรุนแรงของโรค (Disease severity) เฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 1.66 และ 1.74 ของระดับคะแนนการเกิดโรคบนพื้นที่ใบ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 6, 8 และ 9 (ชุดควบคุม การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน และปุ๋ยเคมี) มีระดับความรุนแรงของโรคใบจุดสูงที่สุด และสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีระดับความรุนแรงของโรคใบจุดเฉลี่ยเท่ากับ 3.16, 3.30 และ 3.20 ของระดับคะแนนการเกิดโรคบนพื้นที่ใบ ตามลำดับ (ตาราง 16) โดยใบคะน้าที่มีการเกิดโรคใบจุด มีลักษณะเป็นจุดสีน้ำตาล เป็นวงกลมซ้อนทับกัน และค่อย ๆ ลุกลามเป็นแผลขนาดใหญ่ จนมีจำนวนจุดเพิ่มมากขึ้น (ภาพ 17)

ตาราง 16 แสดงการเกิดโรคใบจุดของคะน้า จากการทดสอบปุ๋ยแต่ละชนิดในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	ระดับคะแนนการเกิดโรคบนพื้นที่ใบ		
	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
1 ชุดควบคุม	0.00±0.00 ^{c}	0.00±0.00 ^{e}	0.00±0.00 ^{c}
2 ผักตบชวาหมักจากรายย่อยสลาย	0.00±0.00 ^{c}	0.00±0.00 ^{e}	0.00±0.00 ^{c}
3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน	0.00±0.00 ^{c}	0.00±0.00 ^{e}	0.00±0.00 ^{c}
4 ใส่ปุ๋ยเคมี	0.00±0.00 ^{c}	0.00±0.00 ^{e}	0.00±0.00 ^{c}
5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย	0.00±0.00 ^{c}	0.00±0.00 ^{e}	0.00±0.00 ^{c}
6 ชุดควบคุม + *A. brassicicola*	1.12±0.16 ^{a}	1.82±0.11 ^{b}	3.16±0.28 ^{a}
7 ผักตบชวาหมักจากรายย่อยสลาย + *A. brassicicola*	0.84±0.11 ^{b}	1.14±0.11 ^{d}	1.66±0.36 ^{b}
8 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน + *A. brassicicola*	1.12±0.11 ^{a}	1.94±0.09 ^{a}	3.30±0.66 ^{a}
9 ใส่ปุ๋ยเคมี + *A. brassicicola*	1.10±0.07 ^{a}	1.62±0.19 ^{c}	3.20±0.44 ^{a}
10 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย + *A. brassicicola*	0.86±0.31 ^{b}	1.12±0.29 ^{d}	1.74±0.47 ^{b}
F-test	*	*	*
CV%	43.47	39.60	37.18

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดสอบแบบพิสัยเชิงพหุดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test) ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, * = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพ 17 แสดงลักษณะอาการเกิดโรคใบจุดของคะน้าหลังการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของรา *A. brassicicola* ในการใช้ปุ๋ยแต่ละชนิด เป็นเวลา 7 วัน

หมายเหตุ: (A = กรรมวิธีควบคุม, B = กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานร่วมกับการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของรา *A. brassicicola*, C = กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของรา *A. brassicicola* และ D = กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ร่วมกับการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของรา *A. brassicicola*

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาคุณภาพการย่อยสลายผักตบชวาด้วยรายย่อยสลายในระดับโรงงาน

1.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของผักตบชวาหมัก

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของผักตบชวาหมักที่หมักด้วยรายย่อยสลาย พบว่า ในกรรมวิธีที่มีการใช้รา *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) ในการหมักที่ระยะเวลานาน 60 วัน ได้ผักตบชวาหมักที่มีสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ อุณหภูมิในกองปุ๋ย ค่าความเป็นกรด–ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และการย่อยสลายที่เสร็จสมบูรณ์ (ดัชนีการงอกของเมล็ด) โดยรวมดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ตามเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร ปี 2551 ในขณะที่ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีค่าอยู่ที่ 25.83 และ 24.50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณความชื้นของผักตบชวาหมักในทุกกรรมวิธี พบว่ามีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์

1.2 การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของผักตบชวาหมัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในผักตบชวาหมัก เมื่อครบ 60 วัน พบว่า ในกรรมวิธีที่ 5 และ 6 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.00 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัส พบว่า ผักตบชวาหมักในทุกกรรมวิธี ยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนด ส่วนปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่า ผักตบชวาหมักในทุกกรรมวิธี มีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ ปี 2551

1.3 การแยกเชื้อกลับเพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของราในผักตบชวาหมัก

การแยกรายย่อยสลายในผักตบชวาหมัก ที่ระยะเวลา 30, 45 และ 60 วัน เพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของรา พบว่า ในทุก ๆ กรรมวิธี มีการพบรายย่อยสลายแต่ละชนิดที่ใส่ลงไปในผักตบชวาหมัก และมีการพบรา *Rhizopus* sp. ในทุกกรรมวิธี

2. การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าในระดับโรงเรือน

2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ผักตบชวาหมัก ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน โดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร ปี 2551 พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีปริมาณความชื้น ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด–ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสเฟตทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์

2.2 การทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายของคะน้า

2.2.1 การศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายต่อการเจริญเติบโตของคะน้า

จากการทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิดของคะน้า พบว่า ต้นคะน้าที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง จำนวนใบเฉลี่ยต่อต้น ขนาดลำต้น และความยาวราก ดีที่สุดเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.2.2 การศึกษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า

จากการทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายต่อผลผลิต และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า พบว่า ในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถให้ปริมาณผลผลิตต่อต้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน ส่วนคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ทำให้ผลผลิตคะน้ามีคุณภาพที่ดีเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลัก ในดินปลูกคะน้า

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินปลูก พบว่า ปริมาณความชื้นของดินหลังปลูกคะน้าในทุก ๆ กรรมวิธี มีความชื้นเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก ในขณะที่คุณสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ดินปลูกคะน้าในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วย

รายอ่อยสลาย มีค่าการนำไฟฟ้าของดินมากที่สุด เท่ากับ 0.70 มิลลิโมล/เซนติเมตร ส่วนค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) พบว่า ดินหลังปลูกในทุกกรรมวิธี มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน พบว่า ดินที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน มีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 15.86 และ 13.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 16.19 และ 16.87 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินปลูกคะน้า พบว่า ดินหลังปลูกในทุกกรรมวิธีมีปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมทั้งหมด ลดลงน้อยกว่าดินก่อนปลูก ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ทั้งในดินก่อนและหลังปลูกคะน้าที่มีการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิด มีปริมาณไม่ต่างกัน

3. การทดสอบผลของรายอ่อยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคเน่าคอดินและโรคใบจุด ในคะน้า

3.1 การทดสอบผลของรายอ่อยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคเน่าคอดินและโรคใบจุด ในระดับห้องปฏิบัติการ (*In vitro*)

จากการทดสอบผลของรายอ่อยสลาย จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ รา *M. ellipsoideus, R. oryzae* และ *T. harzianum* ต่อการควบการเจริญของรา *P. aphanidermatum* และ *A. brassicicola* ในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า รายอ่อยสลายทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพในควบคุมการเจริญของรา *P. aphanidermatum* และ *A. brassicicola* ได้อยู่ที่ระดับ 61.06–80.61 และ 53.39–82.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการควบคุมแบบแข่งขันการเจริญเติบโต (competition)

3.2 การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายต่อการควบคุมโรคเน่าคอดินและโรคใบจุดของคะน้า ในระดับโรงเรือน

จากการทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายต่อการควบคุมโรคเน่าคอดินของคะน้าในระดับโรงเรือน พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ทำให้ต้นกล้าคะน้ามีการเกิดโรคเน่าคอดิน น้อยที่สุดเพียง 4.00 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยเคมี พบว่า ต้นกล้าคะน้ามีการเกิดโรคเน่าคอดิน สูงถึง 86.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการควบคุมโรคใบจุดในคะน้า พบว่า ในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย พบการเกิดโรคใบจุดเพียง 1.74 ของระดับคะแนนการเกิดโรคบนพื้นที่ใบ ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน คะน้ามีการเกิดโรคใบจุด สูงถึง 3.20 และ 3.30 ของระดับคะแนนการเกิดโรคบนพื้นที่ใบ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาคุณภาพการย่อยสลายผักตบชวาด้วยรายย่อยสลายในระดับโรงงาน

1.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของผักตบชวาหมัก

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของผักตบชวาหมักที่หมักด้วยรายย่อยสลาย *R. oryzae* และ *T. harzianum* ที่ระยะเวลา 60 วัน พบว่า อุณหภูมิในกองผักตบชวาหมัก อยู่ในช่วง 32–37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของรายย่อยสลายในกองปุ๋ย ส่วนปริมาณความชื้นในผักตบชวาหมัก พบว่าในทุกกรรมวิธียังมีความชื้นสูงเกินค่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร ปี 2551 เนื่องจากผักตบชวาที่นำมาใช้ในกระบวนการหมัก ถือเป็นพืชสดที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการหมักปุ๋ยจึงทำให้เกิดความชื้นสูง ซึ่งสอดคล้องกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก ในคู่มือปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร (2548) ที่รายงานว่าช่วงอุณหภูมิที่ราในกองปุ๋ยหมักมีกิจกรรมในการย่อยสลายดีที่สุด คือ ในช่วงระดับ 25–37 องศา–เซลเซียส ในขณะที่ความชื้นในกองปุ๋ย โดยทั่วไปกองปุ๋ยหมักควรมีความชื้นไม่ต่ำกว่า ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเจริญเติบโต การทำงาน และการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ต้องอาศัยน้ำหรือความชื้นที่เหมาะสมเป็นส่วนประกอบ หากมีความชื้นน้อยเกินไปหรือมากเกินไปในกองปุ๋ยหมัก อาจส่งผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์

คุณสมบัติทางเคมี พบว่า ผักตบชวาหมักที่หมักด้วยรายย่อยสลาย *R. oryzae* และ *T. harzianum* ที่ระยะเวลานาน 45 วัน มีคุณภาพโดยรวมของคุณสมบัติทางเคมีดีที่สุดตามเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ ที่ประกอบไปด้วย ค่าความเป็นกรด–ด่าง (มีค่าระหว่าง 5.5–8.5), ค่าการนำไฟฟ้า (มีค่าไม่เกิน 10 เดซิซีเมน/เมตร) และปริมาณอินทรียวัตถุ (มีค่าไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ในขณะที่การย่อยสลายที่สมบูรณ์ พบว่า ผักตบชวาหมักที่หมักด้วยรายย่อยสลาย *R. oryzae* และ *T. harzianum* ที่ระยะเวลานาน 60 วัน มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายที่ดีที่สุด เท่ากับ 81.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้ (มีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์) โดยผักตบชวาที่ผ่านการหมักด้วยรายย่อยสลายที่ระยะเวลานาน 45 วัน จะทำให้มีคุณสมบัติทางเคมีโดยรวมดีที่สุด ตามเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ แต่เมื่อหมักจนครบ 60 วัน จะทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น และย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากราจะมีบทบาทในการย่อยสลายวัสดุที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ยให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุรพงศ์ คุณา และคณะ (2559) ที่ศึกษาผลของรายย่อยสลายและระยะเวลาในการหมักปุ๋ยต่อคุณภาพผักตบชวาหมัก ซึ่งพบว่า การใช้รายย่อยสลาย *R. oryzae* และ *T. harzianum* ในกระบวนการหมักผักตบชวา ที่ระยะเวลานาน 60 วัน ทำให้ผักตบชวาหมัก

มีการย่อยสลายดีที่สุด ในขณะที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่า ในทุกกรรมวิธียังมีค่าเกินมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ (มีค่าไม่เกิน 20/1) เนื่องจากผักตบชวาเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายวัสดุในกองปุ๋ยหมัก ต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายเป็นหลัก โดยสิ่งสำคัญที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการทำงาน การเจริญเติบโต และการดำรงชีวิต ได้แก่ ธาตุอาหารที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน และไนโตรเจน เนื่องจากคาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน และเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของการสร้างเซลล์หรือโครงสร้างของจุลินทรีย์ ส่วนไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการสร้างโปรตีน กรดนิวคลีอิก และเอ็นไซม์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่ช่วยทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและทำงานได้ ดังนั้น อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงมีค่าประมาณ 30:1 จึงจะทำให้กระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมักเกิดได้รวดเร็ว เนื่องจากวัสดุที่มีไนโตรเจนสูงมากไปในกองปุ๋ยหมัก จะทำให้ไนโตรเจนส่วนที่เกินความต้องการของจุลินทรีย์สูญเสียไปในรูปของแก๊สแอมโมเนีย หรือถูกชะล้างไปจากกองปุ๋ย จนทำให้สูญเสียปุ๋ยไปโดยเปล่าประโยชน์ ในทางตรงกันข้ามหากวัสดุในกองปุ๋ยหมักมีไนโตรเจนต่ำเกินไป จะทำให้ไม่เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จนทำให้กองปุ๋ยหมักไม่ร้อน และใช้เวลานานในกระบวนการหมัก (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ส่วนปริมาณเซลลูโลส พบว่า ผักตบชวาหมักในกรรมวิธีที่ 1 (ชุดควบคุม) ที่ระยะเวลาหมักนาน 45 วัน มีปริมาณเซลลูโลสน้อยที่สุด เท่ากับ 21.00 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากระยะเวลาดังกล่าว มีการตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ *Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp. ซึ่งไม่ใช่รายย่อยสลายที่ใส่ไปในกระบวนการหมัก โดยเชื้อเหล่านี้เป็นเชื้อที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก และเป็นจุลินทรีย์ย่อยสลายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เนื่องจากผักตบชวาที่นำมาหมักไม่ได้ผ่านกระบวนการนึ่งฆ่าเชื้อ จึงทำให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลสในระยะเวลาดังกล่าวได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับ Lynd, et al. (2002) รายงานว่า รากลุ่ม *Trichoderma* sp., *Rhizopus* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., *Neocallimastix* sp., *Humicola* sp., *sporotrichum* sp., *Thermoascus* sp., *Talaromyces* sp. และ *Cladorrhinum* sp. เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสที่ใช้ในการย่อยสลายเซลลูโลส เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานต่าง ๆ ในกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้ ในขณะที่ปริมาณเฮมิเซลลูโลส พบว่า เมื่อหมักผักตบชวาครบ 60 วัน ในทุกกรรมวิธี มีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสลดลง โดยในกรรมวิธีที่ 5 (ผักตบชวา ร่วมกับรา *M. ellipsoideus* UPPY06 + *R. oryzae* UPPY29) มีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสน้อยที่สุด เท่ากับ 23.06 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างกรรมวิธีที่ใส่รายย่อยสลาย และกรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่รายย่อยสลาย (ชุดควบคุม) เนื่องจากในทุก ๆ กรรมวิธีมีจุลินทรีย์ย่อยสลาย คือ รา *Rhizopus* sp. เกิดขึ้น เนื่องจากผักตบชวาที่นำมาหมักไม่ได้ผ่าน

กระบวนการนึ่งฆ่าเชื้อก่อนหมัก ซึ่งโดยทั่วไปเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จะมีคุณสมบัติในการผลิตเอนไซม์เพื่อช่วยย่อยสลายเส้นใยและผนังเซลล์ต่าง ๆ ของพืชได้ โดย Kumar, et al. (2002) รายงานว่า การย่อยสลายของเส้นใยพืชด้วยกระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์เกิดขึ้นจากการผลิตเอนไซม์ของจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ โดยเฉพาะแบคทีเรียและรา ที่สามารถผลิตเอนไซม์ช่วยย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้ ซึ่งเมื่อระยะเวลาในการหมักนานขึ้น ลิกโนเซลลูโลส (ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช และจัดเป็นเส้นใยที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ก็จะถูกย่อยสลายให้ลดลงด้วยเชื้อจุลินทรีย์

1.2 การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของผักตบชวาหมัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในผักตบชวาหมัก เมื่อครบ 60 วัน พบว่า ผักตบชวาหมักที่หมักด้วยราย่อยสลาย *R. oryzae* และ *T. harzianum* มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.97 และ 0.40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้ คือ ไม่น้อยกว่า 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจาก ผักตบชวาหมักถือเป็นปุ๋ยที่ได้มาจากวัสดุทางธรรมชาติชนิดหนึ่ง ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารในตัวแต่ละชนิดมากน้อยแตกต่างกันไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภาพร บัวชุม (2557) ที่ศึกษาการทำปุ๋ยหมักและวัสดุปลูกจากวัชพืชน้ำ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยรายงานว่า ปริมาณไนโตรเจนในผักตบชวาหมัก 100 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะเวลาในการหมักนาน 0, 15, 30, 45 และ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.55–1.06 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ธงชัย มาลา (2546) รายงานว่า โดยทั่วไปปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารพืชที่สำคัญค่อนข้างครบถ้วน กล่าวคือ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 0.4–2.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณ 0.2–2.5 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำได้ 0.5–1.8 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณแร่ธาตุอาหารดังกล่าวในปุ๋ยหมัก จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเศษพืชที่นำมาหมักและวัสดุอื่น ๆ ที่ใส่ลงไปในกองปุ๋ย

1.3 การแยกเชื้อกลับเพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของราในผักตบชวาหมัก (re-isolation)

จากการนำผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย ที่ระยะเวลา 30, 45 และ 60 วัน เพื่อตรวจสอบการอยู่รอดของรา พบว่า ในทุก ๆ กรรมวิธี มีการพบราย่อยสลายแต่ละชนิดที่ใส่ลงไปในผักตบชวาหมัก และมีการพบรา *Rhizopus* sp. ในทุกกรรมวิธี เนื่องจากรา *Rhizopus* sp. เป็นจุลินทรีย์ที่มักพบในดิน ผัก ผลไม้ และเศษซากพืชที่กำลังย่อย โดยเฉพาะในกระบวนการหมักปุ๋ย มักพบราในกองปุ๋ยหมักหลากหลายชนิดแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับวัสดุในการทำปุ๋ยหมัก

โดยเฉพาะราที่ทนต่ออุณหภูมิสูง ได้แก่ ราพวก *Aspergillus* sp., *Trichoderma viride*, *Mucor* sp., *Penicilium* sp., *Fusarium* sp., *Alternaria* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น (วนิดา ฐิตะฐาน, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dehghani, et. al. (2012) ที่ศึกษาการจำแนกราในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมัก จำนวน 99 ชนิด พบว่า ราที่แยกได้จำนวนทั้งหมด ประกอบไปด้วย *Aspergillus* spp., *Microsporium* spp., *Trichophyton* spp., yeast, *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *Fusarium* sp., *Cladosporium* sp. และ *Curvularia* sp.

2. การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าในระดับโรงเรือน

2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ผักตบชวาหมัก ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน โดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ปี 2551 พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด–ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ ในขณะที่ปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีปริมาณไนโตรเจนฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ มากน้อยแตกต่างกันไป เมื่อนำมาผสมกับผักตบชวาหมัก จึงทำให้มีปริมาณของธาตุอาหารแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัยมงคล ใจหล้า (2559) ที่ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตรากว๊านพะเยา ตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่า การใช้วัสดุผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ลีโอนาไดท์: แร่ภูเขาไฟ: ผักตบชวาหมัก: มูลสุกร: มูลไก่ไข่ ในอัตราส่วน 3:1:1:3:2 สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ทีมีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนได้สูงที่สุด เท่ากับ 28.36 และ 2.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้

2.2 การทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลายของคะน้า

จากการทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยแต่ละชนิดของคะน้า พบว่า ต้นคะน้าที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย มีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง จำนวนใบ

เฉลี่ยต่อต้น ขนาดลำต้น และความยาวราก ใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลายที่นำมาทดสอบ เป็นปุ๋ยที่อยู่ในรูปแบบที่ยังไม่อัดเม็ด และมีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอ และเหมาะสมต่อความต้องการของพืช จึงทำให้เมื่อใส่ลงในดินปลูกแล้วมีการละลายน้ำได้ดี และสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้พืชนำไปใช้ได้ง่าย อีกทั้งรายอ่อยสลายที่อยู่ในปุ๋ย ก็ยังช่วยในการแปรสภาพธาตุอาหารให้อยู่ในรูปแบบที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่าย จึงเป็นการช่วยเพิ่มศักยภาพในการดูดซึมธาตุอาหารของพืช จนส่งผลทำให้ต้นคะน้ามีการเจริญเติบโตได้ดี โดย สมศักดิ์ มณีพงศ์ (2537) รายงานว่า ปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการปลูกพืชผัก โดยเฉพาะพืชผักที่มีอายุสั้นในตระกูล Brassica ที่มีความต้องการปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) อยู่ที่ช่วงระดับ 2.5–4.5, 0.3–0.5 และ 1.5–3.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งหากพืชมีการดูดซับธาตุอาหารไปใช้ได้ง่าย และได้รับในปริมาณที่เพียงพอหรือเหมาะสม ก็จะช่วยทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี ในขณะที่ปริมาณผลผลิต พบว่า ในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย สามารถให้ปริมาณผลผลิตต่อต้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน ส่วนคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า ในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย ทำให้ผลผลิตคะน้ามีคุณภาพที่ดี เทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากคะน้าที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย มีการเจริญเติบโตที่ดีและสมบูรณ์ย่อมส่งผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตที่สูง และมีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สัญญา เล่ห์สิงห์ (2559) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของคะน้า โดยศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง จำนวน 2 ชนิด คือ ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงสูตร 1 กรมพัฒนาที่ดิน และปุ๋ยมูลไก่หมักคุณภาพสูง ต่ออัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง 3 ระดับ คือ 1.0, 2.5 และ 5.0 กรัมไนโตรเจน ต่อดิน 5 กิโลกรัม โดยใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลโคที่มีระดับไนโตรเจน 1 กรัม เป็นชุดควบคุม พบว่า ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง ทั้ง 2 ชนิด ทำให้ต้นคะน้ามีปริมาณน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ผลดังกล่าวมีค่าแปรผันตามระดับไนโตรเจนที่ให้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการให้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง ทั้ง 2 ชนิด ที่ระดับ 2.5 และ 5.0 กรัมไนโตรเจน ทำให้ต้นคะน้ามีน้ำหนักสด ต้น จำนวนใบ และพื้นที่ใบ มากกว่าการทดลองชุดควบคุมที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลโค ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของต้นคะน้า พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งจากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การผลิตคะน้า โดยการให้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง ทั้ง 2 ชนิด ที่ระดับไนโตรเจนตั้งแต่ 2.5 กรัม สามารถใช้ทดแทนการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลโคได้เป็นอย่างดี

2.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักในดิน

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินปลูก พบว่า ปริมาณความชื้นของดินหลังปลูกคะน้าในทุก ๆ กรรมวิธี มีความชื้นเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก ในขณะที่คุณสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ดินปลูกคะน้าในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย มีค่าการนำไฟฟ้าของดินมากที่สุด เท่ากับ 0.70 มิลลิโมล/เซนติเมตร ส่วนค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) พบว่า ดินหลังปลูกในทุกกรรมวิธีมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน พบว่า ดินที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอ่อยสลาย และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานมีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 15.86 และ 13.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 16.19 และ 16.87 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินปลูกคะน้า พบว่า ดินหลังปลูกในทุกกรรมวิธีมีปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมทั้งหมด ลดลงน้อยกว่าดินก่อนปลูก ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ทั้งในดินก่อนและหลังปลูกคะน้าที่มีการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิด มีปริมาณไม่ต่างกัน โดย บัญชา รัตนีทู (2552) รายงานว่า ดินที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้สมบัติทางกายภาพ และโครงสร้างของดินดีขึ้น โดยจะช่วยลดความหนาแน่นรวมในดินลง และการระบายอากาศของดินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดธาตุอาหารของรากพืชเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ ยังส่งเสริมให้เกิดความพรุนของผิวหน้าดินไม่ให้เกิดสภาพผิวดินแข็ง ทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ส่งผลทำให้มีความชุ่มชื้นได้ยาวนานกว่าดินที่มีโครงสร้างไม่ดี นอกจากนี้ ดินที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้มีคุณสมบัติทางเคมี ในการช่วยเพิ่มความต้านทานในการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (buffer capacity) และค่าการนำไฟฟ้าให้ช้าลง โดยไม่ส่งผลต่อความเป็นอันตรายกับพืช ในขณะเดียวกัน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ยังเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินให้มากขึ้น ถึงแม้ว่าจะไม่มากนักเมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีก็ตาม แต่ในขณะเดียวกันธาตุอาหารที่อยู่ในปุ๋ยอินทรีย์เมื่อใส่ลงไปในดินแล้ว ก็มีโอกาสที่จะสูญเสียไปบางส่วน เนื่องจากการนำไปใช้ประโยชน์ของพืช และบางส่วนจะถูกยึดไว้ให้อยู่ในรูปของคีเลต (Chelate) นอกจากนี้ จุลินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์ยังสามารถแปรสภาพธาตุอาหารบางชนิดในปุ๋ย ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่าย จึงทำให้พืชมีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารไปใช้ได้ดีมากยิ่งขึ้น (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2555)

3. การทดสอบผลของรายอยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคเน่าคอดินและโรคใบจุด ในคะน้า

3.1 การทดสอบผลของรายอยสลายต่อการควบคุมการเจริญของราสาเหตุโรคในระดับห้องปฏิบัติการ (In vitro)

จากการทดสอบผลของรายอยสลายต่อการยับยั้งการเจริญของราสาเหตุโรคเน่าคอดินและโรคใบจุดของคะน้า พบว่า รายอยสลาย *T. harzianum* มีประสิทธิภาพในควบคุมการเจริญของรา *P. aphanidermatum* ได้มากที่สุด เท่ากับ 80.61 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่รายอยสลาย *R. oryzae* และ *T. harzianum* มีประสิทธิภาพในควบคุมการเจริญของรา *A. brassicicola* ได้สูงที่สุด ถึง 86.83 และ 82.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเป็นการควบคุมแบบการแข่งขัน (competition) โดยรายอยสลาย ทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการแข่งขันกับราสาเหตุโรคพืชในด้านต่าง ๆ เช่น การใช้ธาตุอาหาร อากาศ และการครอบครองพื้นที่ ทำให้เชื้อสาเหตุโรคพืชไม่สามารถเจริญเติบโต หรืออาศัยอยู่ในบริเวณที่มีเชื้อปฏิปักษ์ได้ (มัลลิกา จินดาชิงห์, 2554) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สายทอง แก้วฉาย (2555) ศึกษาการใช้ราไตรโคเดอร์มาในการควบคุมโรคพืช พบว่า รา *Trichoderma* spp. เป็นราปฏิปักษ์ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมราสาเหตุโรคพืชหลายชนิด เช่น *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp., *Sclerotium rolfsii*, *Alternaria* spp., *Colletotrichum* spp., *Sclerotinia sclerotiorum* และ *Botrytis cinerea* ซึ่งกลไกการควบคุมโรคของรา *Trichoderma* spp.มามีหลายกลไกที่สำคัญ เช่น การสร้างสารปฏิชีวนะ การแข่งขัน การเป็นปรสิต และการชักนำให้เกิดความต้านทานโรคพืช

3.2 การทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอยสลายต่อการควบคุมโรคเน่าคอดินและโรคใบจุดของคะน้า ในระดับโรงเรือน

จากการทดสอบผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอยสลายต่อการควบคุมโรคเน่าคอดินและโรคใบจุดของคะน้า ในระดับโรงเรือน เป็นระยะเวลา 7 วัน หลังการปลูกรา *P. aphanidermatum* พบว่า ในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอยสลาย ต้นกล้าคะน้ามีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคเน่าคอดินน้อยที่สุด เพียง 4 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยเคมี ต้นกล้าคะน้ามีการเกิดโรคเน่าคอดิน สูงถึง 86 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการควบคุมโรคใบจุดของคะน้า พบว่า ในวันที่ 7 หลังการฉีดพ่นสารแขวนลอยสปอร์ของรา *A. brassicicola* ต้นคะน้าในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายอยสลาย มีการเกิดโรคใบจุดเพียง 1.74 ของระดับคะแนนการเกิดโรคบนพื้นที่ใบ ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีพบการเกิดโรคใบจุด สูงถึง 3.20 ของระดับคะแนนการเกิดโรคบนพื้นที่ใบ เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีแก่พืชมากเกินไปหรือเกินความจำเป็นกว่าที่พืชต้องการ โดยเฉพาะปุ๋ยที่มีไนโตรเจนสูง จะทำให้

เป็นการช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการที่พืชมีการเจริญเติบโตที่เร็วมากเกินไปจะทำให้เซลล์พืชเกิดความอวบอ่อน และเปราะบาง จนทำให้เกิดการเข้าทำลายของเชื้อโรคได้ง่าย (ศศิธร วุฒิวณิชย์, 2545) ส่วนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย ซึ่งเป็นปุ๋ยที่มีส่วนผสมของเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลาย 2 ชนิด ได้แก่รา *R. oryzae* และ *T. harzianum* ซึ่งเป็นเชื้อที่มีคุณสมบัติเป็นราปฏิปักษ์ ที่มีความสามารถในการควบคุมหรือยับยั้งปริมาณการเจริญของเชื้อก่อโรคพืชได้ อีกทั้งยังไปช่วยลดกิจกรรมของราก่อโรคพืช โดยมีกลไกหรือวิธีการควบคุมแบบแข่งขัน (competition) การใช้ปัจจัยในการดำรงชีวิต เช่น ที่อยู่อาศัย แหล่งอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต ไนโตรเจน และสารที่จำเป็นต่อการเจริญ ตลอดจนก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นระหว่างจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ และเชื้อก่อโรคพืชที่มีอยู่ในแหล่งอาศัยเดียวกัน (Kawicha and Sangdee, 2013) และนอกจากนี้ ราปฏิปักษ์ยังสามารถช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโต และชักนำให้ต้นพืชเกิดความต้านทานต่อเชื้อโรคพืชได้ (จิระเดช แจ่มสว่าง, 2546) จึงทำให้คะน้าที่มีการปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยราย่อยสลาย ที่มีส่วนผสมของราย่อยสลายพบการเกิดได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุรพงศ์ คุณา (2560) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวาจากการย่อยสลายด้วยรา *M. ellipsoideus* (UPPY06), *R. oryzae* (UPPY29) และ *T. harzianum* (UPPY19) ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการควบคุมโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพดหวาน และโรคเหี่ยวของแคนตาลูป พบว่า ราทั้ง 3 ชนิด สามารถควบคุมโรคในระดับโรงเรือนได้ดี โดยพบการเกิดโรคใบไหม้แผลใหญ่ของข้าวโพดหวาน และโรคเหี่ยวของแคนตาลูป น้อยที่สุดเพียง 16.00 และ 18.00 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

1. ในกระบวนการหมักปุ๋ย ควรมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในกองปุ๋ยให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้มีการดำเนินกิจกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ

2. การนำราย่อยสลายมาใช้ในการหมักปุ๋ย จะช่วยทำให้ใช้ระยะเวลาในการหมักน้อยลง และปุ๋ยมีคุณภาพในการย่อยสลายดีมากยิ่งขึ้น

3. ในกระบวนการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักเพื่อนำมาวิเคราะห์ ในแต่ละช่วงระยะเวลาการหมักที่แตกต่างกัน ควรมีการพิจารณาในการสุ่มตัวอย่างจากคุณสมบัติ หรือส่วนประกอบต่าง ๆ ของวัสดุที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยควรมีการคลุกเคล้าให้เข้ากัน หรือสุ่มเก็บตัวอย่างของส่วนประกอบต่าง ๆ ในแต่ละกรรมวิธีให้เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน เนื่องจากส่วนประกอบของวัสดุในแต่ละชนิด มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

4. การเลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย ในการปลูกคะน้า ถือเป็นอีกหนึ่งแนวทางเลือกที่ดีในการช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี และต้นทุนการผลิตของเกษตรกร เพื่อต่อยอดไปสู่การพัฒนาระบบการทำเกษตรอินทรีย์อย่างยั่งยืน

5. ในต้นทุนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาที่หมักด้วยรายย่อยสลาย อาจมีต้นทุนใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี แต่หากคำนวณและประเมินถึงจุดคุ้มทุน ปริมาณผลผลิต และคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้าที่ได้รับแล้ว ถือว่าคุ้มค่ากว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน อีกทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้กับดินที่ใช้ปลูก และส่งผลดีต่อดินปลูกในระยะยาวอีกด้วย

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กนิษฐา ทองเกล็ด, บุญร่วม คิดค้า, และวิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก. (2559). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อรายย่อยสลายผักตบชวา. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ครั้งที่ 6** (หน้า 1–7). ภูเก็ต: มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.

กรมชลประทาน. (2543). **ชีววิทยาของผักตบชวา**. สืบค้นเมื่อ 18 กันยายน 2558, จาก http://irrigation.rid.go.th/rid15/ppn/om/Water%20Hyacinth.htm.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). **คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ดินทางกายภาพอินทรีย์.** กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. (2548). **คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ (ฉบับเกษตรกร)** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

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

กรมวิชาการเกษตร. (2559). **สถานการณ์การปลูกคะน้ารายจังหวัด.** สืบค้นเมื่อ 18 กันยายน 2558, จาก http://production.doae.go.th.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2555). จุลินทรีย์ที่ช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ,** 60(190), 1–56.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2540). **การทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2551). **หลักปฏิบัติเบื้องต้นในการปลูกผักสวนครัว.** กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กลุ่มงานวิเคราะห์อาหารสัตว์. (2540). **การใช้ผักตบชวาเป็นอาหารสัตว์.** สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2558, จาก http://nutrition.dld.go.th/nutrition_knowlage/article/artilek.htm.

กานต์ จิตสุวรรณรักษ์ และอนันต์ วงเจริญ. (2559). ผลของเชื้อราเอนโดไฟต์ต่อการควบคุมโรคไหม้ของข้าว (*Oryza sativa* L.). **วารสารแก่นเกษตร,** 44(1), 232–237.

เครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช. (2559). **ผลการตรวจสอบสารพิษตกค้างผักผลไม้ประจำปี 2559.** สืบค้นเมื่อ 18 กันยายน 2558, จาก https://www.thaihof.org/main/article/detail/4090.

จักรพันธุ์ กังวาฬ. (2545). **ลักษณะพื้นฐานทางชีววิทยาของผักตบชวา.** สืบค้นเมื่อ 18 กันยายน 2558, จาก http://sarakadee.com/feature/2002/01/alien_species.htm.

จารุณี เกษรพิกุล และสุรวัฒน์ ชลอสันติสกุล. (2558). **หนังสือแบบฝึกหัดจุลชีววิทยาทั่วไป.** เพชรบุรี: มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี.

จิระเดช แจ่มสว่าง, กนกนาฏ เรืองวิเศษ, อำไพวรรณ ภราดร์นุวัฒน์, ชวลิต ฮงประยูร, วันทนีย์ ชุ่มจิตต์ และสุขวัฒน์ จันทรปรรณิก. (2540). ศักยภาพของเชื้อราไทรโคเดอร์มาในการลดปริมาณเชื้อไฟทอฟธอราและเพิ่มความสมบูรณ์ของทุเรียนที่เป็นโรครากเน่า. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35: สาขาพืชส่งเสริมและนิเทศศาสตร์ เกษตรอุตสาหกรรมเกษตร** (หน้า 265–276). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

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

ชนวน รัตนวราหะ. (2544). **เกษตรอินทรีย์.** กรุงเทพฯ: พิมพ์ลักษณ์.

ชัยมงคล ใจหล้า. (2558). **การปรับปรุงกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตรากว๊านพะเยาตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

เดชาวุฒิ วานิชสรรพ์, นิทัศน์ นิลฉวี, ทวีศักดิ์ รัตนคม และพรรณนิการ์ กงจักร. (2558). ขั้นตอนวิธีนับจำนวนเชื้อบนแผ่นฮิโมซิโตมิเตอร์ด้วยเทคนิคประมวลผลภาพและดีบีสแกน. **วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ,** 11(2), 56–61.

ธงชัย มาลา. (2546). **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธเนศ แซวหลี, วชิรดา ทิพย์อุบล, ยุพิน ไชยเสนา, นุชสุพร กฤษฎาธาร, สุพัตรา บุตรพลวง, อธิวัฒน์ สิธิภิญญาพัฒน์ และคณะ. (2559). ศักยภาพของปุ๋ยชีวภาพราไตรโคเดอร์มาเพื่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอราบิก้า. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์,** 3, 48–55.

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

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

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

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

บุญชัย งามวิทย์โรจน์, สมทรง เจริญภัณฑูรย์, ธีระเดช คุรุวุฒิ และพงษ์พัฒน์ เสมอคำ. (2555). **การบริหารจัดการผักตบชวาในระบบลุ่มแม่น้ำ.** กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยพัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ.

บุษราคัม อุดมศักดิ์, ณัฏฐิมา โฆษิตเจริญกุล, บูรณี พั่ววงษ์แพทย์ และวรางคนา แช่อ้วง. (2556). การทดสอบประสิทธิภาพ *Bacillus subtilis* ในการควบคุมโรคใบจุดคะน้าสาเหตุจากเชื้อรา *Alternaria brassicicola*. ใน **รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2556** (หน้า 272). กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร.

ประนอม ชำนาญ. (2552). **ผักตบชวากับปัญหาในแหล่งน้ำและการนำไปใช้ประโยชน์**. นนทบุรี: กลุ่มงานแผนสิ่งแวดล้อม: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6.

พัชรี ธีรจินดาขจร. (2552). **คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี** (พิมพ์ครั้งที่ 2). ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มัลลิกา จินดาซิงห์. (2554). **การใช้จุลินทรีย์ในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช.** สืบค้นเมื่อ 5 ธันวาคม 2560, จาก http://www.chumphon2.mju.ac.th/km/?p=466.

ยุทธศักดิ์ เจียมไชยศรี, อภิรัชต์ สมฤทธิ์ และธารทิพย์ ภาสบุตร. (2555). การศึกษาประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดโรคพืช ในการป้องกันกำจัดเชื้อรา *Alternaria* สาเหตุโรคพืช. ใน **รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2555** (หน้า 1139). กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร.

รัชนี ธงภูเขียว. (2534). **ผักตบชวา.** สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2558, จาก http://www.biogang.net/biodiversity_view.php?menu=biodiversity&uid=12221&id=118417.

เรวัตร จินดาเจี่ย, สุวดี ปัญญาดี, มนตรี แก้วดวง และวิศรุต สุขะเกตุ. (2557). ศึกษาการผลิตผักอินทรีย์เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ ในระบบการปลูกพืชหมุนเวียน. **วารสารแก่นเกษตร,** 42(3), 815-818.

วนิดา ฐิตะฐาน. (2550). ปุ๋ยหมักและจุลินทรีย์ที่เป็นตัวเร่งในการทำปุ๋ยหมัก. **วารสารดินและปุ๋ย,** 11(4), 261-264.

วรรณิศา ปัทมะภูษิต และพรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง. (2557). ประสิทธิภาพปุ๋ยเคมีต่ออัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตคะน้า. **วารสารแก่นเกษตร,** 43(3), 942-946.

วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก และเฉลิมชัย แพะคำ. (2555). ผลของเชื้อจุลินทรีย์ท้องถิ่นในการผลิตปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตและต้านทานการเกิดโรคใบไหม้ของข้าว. **วารสารนเรศวรพะเยา,** 5(2), 136-140.

วุฒิพงษ์ ชัยภูมิ. (2556). **บทบาทและความสำคัญของจุลินทรีย์ในการเกษตร.** สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2558, จาก http://cw-sm.com/5002.html

ศศิธร วุฒิวณิชย์. (2545). **โรคของผักและการควบคุม** (พิมพ์ครั้งที่ 2). ขอนแก่น: คลังนานาวิทยา.

สมชาย ชคตระการ และอรรถกร พรมวี. (2553). การใช้เชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่แยกได้จากใบไผ่ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของคะน้าภายใต้สภาพโรงเรือนและแปลงปลูกพืช. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 18, 14-27.

สมศักดิ์ มณีพงศ์. (2537). **การวิเคราะห์ดินและพืช.** สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สัญญา เล่ห์สิงห์ และอรประภา อนุกูลประเสริฐ. (2559). ประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของคะน้า. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 24, 1-13.

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

สำนักงานเกษตรจังหวัดลำพูน. (25 พฤศจิกายน 2554). เตือนการระบาดศัตรูพืช. **จดหมายข่าวสำนักงานเกษตรจังหวัดลำพูน**, 1(1), 1.

สำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัดพะเยา. (2559). **ผักตบชวาที่กว๊านพะเยา สู่โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์.** สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2559, จาก http://www.cdd.go.th/web/phayao/cdd_news1detail.php?news_id=136&tsdmod_file=tsdmod_gallerydetail&tsdmod_list=tsdmod_gallerylist&cat_id=1

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. (2549). **ปุ๋ยอินทรีย์.** สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2559, จาก http://oss101.ldd.go.th/web_soils_for_youth/s_fertilizer.htm

สุดารัตน์ สิริปรัชญาภิคุปต์. (2556). **การใช้สารเพื่อชักนำความต้านทานต่อโรคใบจุดของเชื้อรา *Alternaria* sp. ในผักตระกูลกะหล่ำ.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สุภาพร บัวชุม และประวิทย์ โตวัฒนะ. (2557). การทำปุ๋ยหมักและวัสดุปลูกจากวัชพืชน้ำและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. ใน **การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6** (หน้า 546–557). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

สุรพงศ์ คุณา, กนิษฐา ทองเกล็ด, บุญร่วม คิดค้า และวิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก. (2559). ผลของเชื้อราย่อยสลายและระยะเวลาในการหมักปุ๋ยต่อคุณภาพปุ๋ยหมักผักตบชวา. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์,** 3(3), 1–7.

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

สุวรรณี แทนธานี. (2555). จุลินทรีย์เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ,** 60(190), 36–39.

อมรรัตน์ ภู่ไพบูลย์ และพีระวรรณ วัฒนวิภาส. (2559). สำรวจรวบรวมและจำแนกรา *Pythium* สาเหตุโรคพืช. ใน **รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2549** (หน้า 1477). กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร.

อรประภา อนุกูลประเสริฐ และภาณุมาศ ฤทธิไชย. (2558). ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการให้ผลผลิตและคุณภาพของผักกาดหอม. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 4(1), 81–94.

Adhikari, T. B., Joseph, C. M., Yang, G., Phillips, D. A. and Nelson, L. M. (2001). Evaluation of bacteria isolated from rice for plant growth promotion and biological control of seedling disease of rice. **Canadian Journal of Microbiology,** 47(10), 916–924.

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

Beadle, C. L. (1993). Growth analysis. In (Hall, D.O., et al. Ed.) **Photosynthesis and Production in the Changing Environment.** London: Chapman & Hall.

Browning, B. L. (1967). **Method in wood chemistry.** New York: Interscience Publishers.

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.

Chao, P. Y., Lin, S. Y., Lin, K. H., Liu, Y. F., Hsu, J. I., Yang C. M., et al. (2014). Antioxidant activity in extracts of 27 indigenous Taiwanese vegetables. **Nutrients,** 6, 2115–2130.

Chindo, A. N., Edoho, S. and Abubakar, M. (2014). Recycling of sawdust and water hyacinth into compost. **International Journal of Engineering Science Invention,** 3(7), 2319–6726.

Dehghani, R., Asadi, M. A., Charkhloo, E., Mostafaie, G., Saffari, M., Mousavi, G. A., et al. (2012). Identification of fungal communities in producing compost by windrow method. **Journal of Environmental Protection,** 3, 61–67.

Doni, F., Zain, C.M., Isahak, A., Fathurrahman, F., Anhar, A., Mohamad, W., et al. (2017) A simple, efficient, and farmer–*friendlyTrichoderma*–based biofertilizer evaluated with the SRI Rice Management System. **Springer,** 1–17.

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

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.

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.

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

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.

Kawicha, P. and Sangdee, A. (2013). Plant disease control using antagonistic microorganisms. **Journal of Science and Technology Mahasarakham University,** 32(2), 220–229.

Kumar, S., Singh, S. P., Mishra, I. M. and Adhikari, D. K. (2011). Continuous ethanol production by *Kluyveromyces* sp. IIPE453 immobilized on bagasse chips in packed bed reactor. **Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels,** 2, 1–6.

Lynd, L. R., Weimer, P. J., Zyl, W. H. and Pretorius, I. S. (2002). Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. **Microbiology and Molecular Biology Reviews,** 66, 506–577.

Molla, A. H., Haque, M., Haque, A. and Ilias, G. N. M. (2017) *Trichoderma*–enriched biofertilizer enhances production and nutritional quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and minimizes NPK fertilizer use. **Springer,** 1(3), 265–272.

Nowicki, M., Nowakowska, M., Niezgoda, A. and Kozik, E. U. (2012). Alternaria black spot of Crucifers: symptoms, importance of disease, and perspectives of resistance breeding. **Vegetable Crops Research Bulletin,** 76, 5–19.

Parveen, P. and Sharma, K. (2015). *Pythium* diseases, control and management strategies: a review. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences,** 5(1), 244–257.

Shivanna, M. B., Meera, M. S. and Hyakumachi, M. (1996). Role of root colonization ability of plant growth promotion fungi in the suspension of take–all and common root of wheat. **Crop Protection,** 15(6), 497–504.

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

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1988). **Alpha–Beta and Gamma–Cellulose in Pulp**. Georgia: The Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

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

Walkley, A. and Black, I. A. (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.

Witham, F. H., Blaydes, B. F. and Devlin, R. M. (1971) Chlorophyll absorption–spectrum and quantitative determination. In **Experiments in Plant Physiology** (pp.167–200). New York: Van Nostrand Rheinhold.

Wolf, B. (1999). **The fertile: The interrelationship of Air, Water and Nutrients in Maximizing Soil productivity**. New York: The Haworth Press.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก อุปกรณ์และวิธีในการเตรียมอาหารเลี้ยงและเพาะขยายรา

อุปกรณ์และวิธีในการเตรียมอาหารเลี้ยงและเพาะขยายรา

1. อาหารเลี้ยงรา Potato dextrose agar (PDA)

Potato dextrose broth	24	กรัม
Agar	15	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร
Chloramphenical	0.05	กรัม

ทำการต้มน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ในหม้อต้มสแตนเลส ขนาด 1000 มิลลิลิตร จนน้ำเดือด ใส่ Potato dextrose broth, Agar และ Chloramphenical ที่ชั่งไว้ลงไป และคนให้ละลายจนส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน แล้วเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร จากนั้นเทอาหารใส่ลงในขวดแก้ว (Duran Laboratory Bottle) ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรขวดละประมาณ 300 มิลลิลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที

2. วัสดุเพาะขยายรา

เมล็ดข้าวฟ่างต้มสุก	1000	กรัม
น้ำเปล่า	1500	มิลลิลิตร

ทำการต้มเมล็ดข้าวฟ่างในน้ำเปล่านานประมาณ 20 นาที หรือจนกว่าเมล็ดข้าวฟ่างแตก จากนั้นเทน้ำออกให้แห้งจนเหลือแต่เมล็ดข้าวฟ่าง แล้วบรรจุใส่ลงในขวดแก้วปริมาณขวดละประมาณ 250 กรัม และปิดฝาขวดด้วยสำลี นำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที

ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

1. วิธีวิเคราะห์ความชื้น

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงในเพทแก้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส หรือจนกว่าน้ำหนักคงที่ แล้วนำตัวอย่างปุ๋ยที่อบแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์หลังอบ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสูตร

วิธีคำนวณ

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

2. วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

2.1 วิธีการเตรียม Reagent

2.2.1 เตรียมสารละลาย Potassium dichromate (Oxidizing agent) ความเข้มข้น 1 N

ทำการชั่ง Potassium dichromate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศา–เซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ปริมาณ 49.0247 กรัม ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ลงไปและคนให้เข้ากันจนสารละลายหมด จากนั้นเปลี่ยนถ่ายโดยเทใส่ Volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.2.2 เตรียมสารละลาย Ferrous sulfate heptahydrate (Reducing agent) ความเข้มข้น 0.5 N

ทำการชั่ง Ferrous sulfate heptahydrate ปริมาณ 139.0085 กรัม (หรือใช้ Ferrous ammonium sulfate) ปริมาณ 196.07 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 600 มิลลิลิตร ลงไปและคนให้เข้ากันจนสารละลายหมด จากนั้นเปลี่ยนถ่ายถ่ายลงใน volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร และเติม 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid ปริมาณ 20 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.2.3 เตรียมสารละลาย O–phenonthroline ferrous sulfate indicator

ทำการชั่ง O–phenontholine ปริมาณ 0.74 กรัม และ ferrous sulfate heptahydrate ปริมาณ 0.35 กรัม ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 120 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงไปแล้วคนจนละลายหมด

2.2.4 สารละลาย silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid

ทำการชั่ง silver sulfate ปริมาณ 15 กรัม ใส่ลงใน Beaker ขนาด 2,000 มิลลิลิตร แล้วเติม 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid ปริมาณ 1,000 มิลิลิตร ลงไปและคนให้เข้ากัน

2.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยปริมาณ 0.1 กรัม ใส่ใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ดูดสารละลาย potassium dichromate ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมลงในตัวอย่างปุ๋ย จากนั้นเติม 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid หรือสารละลาย Silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างปุ๋ย แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง (ตั้งทิ้งไว้ใน fume food) เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย O-phenontroline ferrous sulfate ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร

2.3 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาทำการไทเทรต ด้วยสารละลาย Ferrous sulfate heptahydrate จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง ทำการบันทึกผล

หมายเหตุ: วิธีการทำ Blank ทำได้โดยการไม่ใส่ตัวอย่างปุ๋ย โดยทำการเตรียมและวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างปุ๋ย

2.4 วิธีคำนวณจากสูตร

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

เมื่อ 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.) ×1.7241 (Equivalent to soil)

ค่า C/N = (%O.C.)/(%TN)

%TN = ปริมาณ Total Nitrogen (เปอร์เซ็นต์)

3. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรดด่าง

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ยปริมาณ 10 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 4 ออนซ์ และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงไปแล้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH–meter โดยนำ Glass electrode จุ่มลงในสารละลายตัวอย่าง จนค่าตัวเลขที่แสดงนิ่งแล้วอ่านค่า pH พร้อมทำการบันทึกผล

4. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

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

5. วิธีวิเคราะห์การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักด้วยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination index)

ทำการสกัดสารละลายปุ๋ยอินทรีย์ โดยชั่งตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ใส่ในน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:10 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปเขย่าในเครื่องเขย่าสารละลาย (obital Shaker) ที่ความเร็วประมาณ 180 รอบต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง แล้วกรองเอาแต่น้ำสกัดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำไปทดสอบกับเมล็ดผักกาด โดยตีตารางบนกระดาษกรอง จำนวน 10 ช่อง แล้ววางเมล็ดผักกาดช่องละ 1 เมล็ด รวมทั้งหมดจำนวน 10 เมล็ดต่อจานเพาะ (โดยควรทำอย่างน้อย 4 ซ้ำ) แล้วนำน้ำสกัดปุ๋ยที่ได้ใส่ลงในจานเพาะ ปริมาตรจานละ 3 มิลลิลิตร และใส่น้ำกลั่นในจานที่เป็นชุดควบคุม บ่มจานเพาะเมล็ดทิ้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิระหว่าง 28–30 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ทำการบันทึกผลการทดลอง พร้อมทั้งคำนวณหาค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมดต่อจาน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์) และวัดความยาวของรากเมล็ดที่งอกทั้งหมด แล้วหาค่าเฉลี่ย (หน่วยเป็นเซนติเมตร) จากสูตร ดังภาพ

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ด} = \frac{\%\ \text{ความงอกตำรับน้ำสกัดปุ๋ยหมัก} \times \text{ความยาวตำรับน้ำสกัดปุ๋ยหมัก}}{\%\ \text{ความงอกตำรับควบคุม} \times \text{ความยาวรากตำรับควบคุม}} \times 100$$

ภาพ 18 แสดงสูตรการหาค่าดัชนีการงอกของเมล็ด

6. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ยปริมาณ 0.3 กรัม ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม salicylic acid ปริมาณ 2 กรัม จากนั้นเติม 98 เปอร์เซ็นต์ sulfuric acid ปริมาณ 40 มิลลิลิตร และ sodium thiosulfate pentahydrate และ 5 กรัม นำไปตั้งบนเตาให้ความร้อน (hotplate) เพื่อทำการย่อยตัวอย่างโดยใช้ไฟปานกลางจนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำตาล ปิดไฟ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม mixed catalyst ปริมาณ 10 กรัม แล้วทำการย่อยอีกครั้งจนได้สารละลายสีเขียวใส ยกออกจากเตาทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นปริมาตร 350 มิลลิลิตร และสารละลาย sodium hydroxide ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และ zinc granular ปริมาณ 5 กรัม นำใส่หลอดกลั่นไนโตรเจน หรือ kjeldahl flask ต่อกับเครื่องกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริกปริมาณ 100 มิลลิลิตร และสารละลาย mixed indicator ปริมาณ 4–5 หยด ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายใน erlenmeyer flask ปริมาณ 350 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทกับสารละลาย Hydrochloric acid (HCl) มาตรฐาน 0.2 N ทำการบันทึกผลการทดลอง ในขณะที่ Blank ทำโดยไม่ใส่ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับตัวอย่าง นำไปคำนวณจากสูตร

$$\textbf{Total N (\%)} = \frac{N(HCl) \times [\text{มิลลิลิตร (HCl)}-\text{มิลลิลิตร (Blank)}]}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}} \times 1.40067$$

7. วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

7.1 การเตรียม Reagent

นำกรด nitric acid 69–70 เปอร์เซ็นต์ และ perchloric acid 69–70 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:1 ผสมให้เข้ากัน

7.2 Molybdovanadate reagent

ทำการชั่ง ammonium molybdate tetrahydrate ปริมาณ 40 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น (ร้อน) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ลงไปแล้วคนให้เข้ากันทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นชั่ง ammonium metavanadate ปริมาณ 2 กรัม ใส่ Beaker ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น (ร้อน) ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม 69–70 เปอร์เซ็นต์ perchloric acid ปริมาตร 450 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ให้เย็น นำมากับผสมสารละลาย ammonium molybdate tetrahydrate โดยเทลงในสารละลาย ammonium metavanadate ใน volumetric flask ขนาด 2000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เขย่าให้เข้ากัน และเปลี่ยนถ่ายเก็บไว้ในขวดสีชา

7.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

7.3.1 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Standard P) 1,000 ppm

ทำการชั่ง potassium dihydrogen phosphate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ปริมาณ 1.0984 กรัม ใส่ใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

7.3.2 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm

ทำการดูดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ volumetric flak ขนาด 100 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นแล้วเขย่าให้เข้ากัน

7.3.3 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm (Working standard)

ทำการดูดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปริมาณ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flak ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ 100 มิลลิลิตร และเขย่าให้เข้ากันจนสารละลายหมด

7.4 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ย ปริมาณ 0.3 กรัมใส่ลง erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดผสมระหว่าง nitric acid และ perchloric acid ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส จนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือจนกว่าสารละลายมีลักษณะสีขาวใส โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 30 นาที จากนั้น ยกลงจากเตาให้ความร้อน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วถ่ายสารละลายตัวอย่างใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

7.5 วิธีวิเคราะห์

ทำการดูดสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร เติม molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร (หรืออัตราส่วน 1:10 ของปริมาตร volumetric flask) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นแล้วเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้นาน 30 นาที นำ Working standard 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm เติม molybdovanadate reagent ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายตัวอย่าง และ Working standard ไปวัดความเข้มของสี ด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ทำการบันทึกค่า absorbance (A) หรือ transmittance (%T) และหาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่าง กับกราฟมาตรฐาน ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และค่า A หรือ %T ของ Working standard (Standard curve)

7.6 วิธีคำนวณ จากสูตร

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

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

8. วิธีวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

8.1 การเตรียม Reagent

8.1.1 ทำการชั่ง calcium carbonate ปริมาณ 12.5 กรัม ใส่ลงใน Beaker ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และ 36–38 เปอร์เซ็นต์ hydrochloric acid (HCl) ปริมาณ 105 มิลลิลิตร ลงไปทีละน้อย (ค่อย ๆ เติม) จากนั้นนำไปต้มบนเตาให้ความร้อนจนเดือด แล้วยกลงจากเตา ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เทใส่ volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

8.1.2 ผสมกรด โดยนำกรด nitric acid 69–70 เปอร์เซ็นต์ และ perchloric acid 69–70 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1:1 โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

8.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

8.2.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (standard K) 100 ppm

ทำการดูดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1000 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและเขย่าให้เข้ากัน

8.2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm (Working standard)

ทำการดูดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาตร 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 มิลลิลิตร ใส่ volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วเขย่าให้เข้ากัน

8.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างปุ๋ยปริมาณ 1 กรัม ใส่ลง erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดผสม pitric acid : perchloric acid ที่เตรียมไว้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตาให้ความร้อน ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส โดยย่อยจนกว่ามีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือสารละลายมีลักษณะสีขาวใส โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 30 นาที

จากนั้น ยกลงจากเตา ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่างลงใส่ volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วเขย่าให้เข้ากัน

8.4 วิธีวิเคราะห์

ทำการดูดสารละลายตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมอยู่ในระดับ 0–15 ppm ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย suppressor ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน นำ Working standard 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm เติมสารละลาย suppressor ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่า intensive of emission ด้วย flame photometer เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่างกับกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มข้นของโพแทสเซียมกับค่า intensive of emission ของ Working standard (Standard curve)

8.5 วิธีคำนวณ จากสูตร

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

ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน

วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน

1. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรด–ด่าง (pH)

ทำการชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 4 ออนซ์ แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของดินต่อน้ำ 1:2) แล้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH–meter โดยนำ glass electrode จุ่มลงในสารละลายตัวอย่าง เมื่อตัวเลขที่แสดงผลนิ่ง อ่านค่า pH และบันทึกผลการทดลอง

2. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

ทำชั่งตัวอย่างดินปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 4 ออนซ์ แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ลงใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วย conductivity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกข้อมูล

3. วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

3.1 การเตรียม Reagent

3.1.1 Potassium dichromate (Oxidizing agent) ความเข้มข้น 1 N

ทำการชั่งสาร Potassium dichromate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ปริมาณ 49.0247 กรัม และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร คนให้ละลายหมด แล้วทำการปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

3.1.2 Ferrous sulfate (Reducing agent) ความเข้มข้น 0.5 N

ทำการชั่ง ferrous sulfate ปริมาณ 139.0085 กรัม (หรือใช้ Ammonium ferrous sulfate ปริมาณ 196.07 กรัม) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 600 มิลลิลิตร คนให้ละลายเข้ากันหมด แล้วเปลี่ยนถ่ายลงใน volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติม 98% sulfuric acid ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3.1.3 สารละลาย silver sulfate ใน 98% Sulfuric acid

ทำการชั่ง silver sulfate ปริมาณ 15 กรัม ใส่ลงใน Beaker ขนาด 2000 มิลลิลิตร เติม 98% sulfuric acid ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร แล้วคนให้เข้ากัน

3.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างดินปริมาณ 2 กรัม ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ดูดสารละลาย potassium dichromate ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในตัวอย่างดิน จากนั้นเติม 98% sulfuric acid หรือสารละลาย silver sulfate ใน 98% sulfuric acid

(กรณีตัวอย่างมี Chloride (Cl)) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างดิน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน นาน 16 ชั่วโมง แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย O–phenanthroline ferrous sulfate 0.5 มิลลิลิตร

3.3 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ มาไทเทรตด้วยสารละลาย ferrous sulfate จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง ทำการบันทึกผลการทดลอง

หมายเหตุ: การทำ blank ทำได้โดยไม่ใส่ตัวอย่างดิน เตรียมและวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับตัวอย่างปุ๋ย

3.4 วิธีคำนวณ

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

B = ปริมาตร $K_2Cr_2O_7$ ที่เติมลงไปในตัวอย่างและ blank (ml)

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

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

N = ความเข้มข้นเป็น Normal ของสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$

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

ค่า C/N = (%O.C)/(% total nitrogen)

4. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

4.1 วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจน

ทำการชั่งตัวอย่างดินปริมาณ 2 กรัม ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม [C_6H_4(OH).COOH] ปริมาณ 2 กรัม เติม 98% H2SO4 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร และ ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) จำนวน 5 ครั้ง นำไปตั้งบนเตาให้ความร้อนทำการย่อยตัวอย่าง โดยใช้ไฟปานกลาง จนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำตาล จากนั้นปิดไฟยกลงจากเตาแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติม mixed catalyst ปริมาณ 10 กรัม แล้วทำการย่อยอีกครั้ง จนได้สารละลายสีเขียวใส ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 350 มิลลิลิตร เติมสารละลาย NaOH ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ zinc granular ปริมาณ 5 กรัม จากนั้นนำใส่ kjeldahl flask แล้วนำไปต่อกับเครื่องกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ใน erlenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ประมาตรา 100 มิลลิลิตร และสารละลาย mixed indicator ปริมาณ 4–5 หยด ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายใน erlenmeyer flask ปริมาณ 350 มิลลิลิตร

นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทกับสารละลาย HCl มาตรฐาน 0.2 N และบันทึกผล ในขณะที่ Blank ทำได้โดยไม่ใส่ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับตัวอย่าง

4.2 วิธีคำนวณ

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

5. การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

5.1 การเตรียม Reagent

5.1.1 Ammonium fluoride (NH_4F) 1 N

ทำการละลาย Ammonium fluoride (NH_4F) ปริมาณ 37 กรัม ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวด Polyethylene

5.1.2 Hydrogen chloride (HCL) ความเข้มข้น 0.5 N

ทำการเจือจาง conc. Hydrogen chloride (HCL) ปริมาตร 41.7 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

5.1.3 น้ำยาสกัด Bray II

ทำการละลาย 1N Ammonium fluoride (NH_4F) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ร่วมกับ 0.5 N Hydrogen chloride (HCL) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5.1.4 เตรียม 2% boric acid (H_3BO_3)

ทำการชั่งสาร bromocresol green ปริมาณ 0.132 กรัม และ methyl red ปริมาณ 0.066 กรัม ใส่ผสมกันลงใน volumetric flask ขนาด 200 มล. แล้วทำการละลายด้วย ethanol และปรับปริมาตรให้เป็น 200 มิลลิลิตร ละลายกรดบอริค (H_3BO_3) ปริมาณ 20 กรัม ในน้ำร้อนปริมาตร 700 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติม ethanol ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ตามด้วย mixed indicator ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และกรดบอริคปริมาตร 700 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อให้สารผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติมด่าง NaOH ที่มีความเข้มข้น 0.05 N.ลงไปทีละ 2-3 หยด จนกระทั่งสารละลายมีระดับค่า pH ประมาณ 5 ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยการนำสารละลายที่ปรับ pH แล้ว ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 1 มิลลิลิตร จนสีของสารละลายที่ทดสอบเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อน จึงปรับปริมาตรของสารละลายเป็น 1000 มิลลิลิตร

5.1.5 Murphy's reagent

ทำการชั่ง Ammonium molybdate [$(NH_4)_6.Mo_7O_{24}.4H_2O$] ปริมาณ12 กรัม และ Antimony potassium tartate ($KSbo.C_4H_4O_4$) ปริมาณ 0.291 กรัม ใส่ลงใน Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นพอประมาณ จากนั้นเทสารละลายข้างต้นลงใน volumetric flask ขนาด 2000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้ได้ประมาณ 1500 มิลลิลิตร และค่อย ๆ เติม Conc.Sulfuric acid (H_2SO_4) ปริมาตร 148 มิลลิลิตร ผ่านกรวยกรองลงในสารละลาย แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 2000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5.1.6 เตรียม 2.5% ascorbic acid solution

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

5.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

5.2.1 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Standard P) 1000 ppm

ทำการชั่ง KH_2PO_4 ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณ 1.0984 กรัม ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการละลาย และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

5.2.2 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm

ทำการดูดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1000 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flak ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและเขย่าให้เข้ากัน

5.2.3 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm (Working standard)

ทำการดูดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสปริมาตร 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flak ขนาด 100 มิลลิลิตร

5.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างดินปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำยาสกัด bray II ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างดิน ปิดด้วยจุกยางแล้วเขย่าให้เข้ากัน ประมาณ 1 นาที แล้วกรองทันทีด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 และเก็บสารละลายตัวอย่างที่ได้ใส่ไว้ในขวด

5.4 วิธีวิเคราะห์

ทำการดูสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เติม 2% boric acid (H_3BO_3) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และ murphy's reagent

ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติม 2.5% ascorbic acid solution ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วปิดจุกเขย่าให้สารละลายเข้ากัน จะได้สารละลายที่มีสีน้ำเงิน หากสารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นเกินสีของ Working standard ให้ทำใหม่ โดยลดปริมาตรของสารละลายตัวอย่างลง และถ้าสารละลายตัวอย่างเจือจางมาก ให้เพิ่มปริมาตรสารละลายตัวอย่าง แล้วทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที จึงนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร

5.5 วิธีคำนวณ

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

6. วิธีวิเคราะห์โพแทสเซียม

6.1 การเตรียม Reagent

6.1.1 ทำการชั่ง ammonium acetate (NH_4OAc) ปริมาณ 77 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 1 ลิตร หรืออาจเตรียม acetic acid (conc. CH_3COOH) 57 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 600 มิลลิลิตร จากนั้นเติม acetic acid (conc. CH_3COOH) ปริมาตร 69 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 900–950 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงปรับให้ระดับค่า pH เท่ากับ 7.0

6.1.2 Std. 1000 ppm K

ทำการชั่ง KCl ปริมาณ 1.9066 กรัม ใส่ลงใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเทผ่านกรวยกรองลง volumetric flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตร

6.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

6.2.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (Standard K) 100 ppm

ทำการดูดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1000 ppm ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

6.2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 2, 4, 8 และ 10 ppm

ทำการดูสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม ความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 0, 2, 4, 8 และ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร

6.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ทำการชั่งตัวอย่างดินปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารสกัด 1 N ammonium acetate (NH4OAc) ระดับ pH 7 แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างดิน ปิดด้วยจุกยางแล้วเขย่าให้เข้ากัน เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปกรองแล้วเก็บไว้ในขวดพลาสติก

6.4 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ มาทำการตรวจวัดความเข้มข้น โดยตรวจวัดค่า Working standard ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer

6.5 วิธีคำนวณ จากสูตร

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

ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

วิธีวิเคราะห์เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

นำตัวอย่างปุ๋ยที่บดละเอียดมาทำการวิเคราะห์หาเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณโฮโลเซลลูโลส โดยวิธี acid chlorite ด้วยการวิธีของ Browning (1967) ใน method of wood chemistry เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส และวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส ตามวิธีการ TAPPI T203 om–88 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1988)

1. การวิเคราะห์โฮโลเซลลูโลส

ทำการชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่างปุ๋ย ปริมาณ 3 กรัม ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 160 มิลลิลิตร กรดอะซิติกปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัม ตามลำดับ ลงใน erlenmeyer flask โดยทำการทดลองในตู้ดูดควัน จากนั้นนำขวดไปตั้งไว้ใน water bath ที่มีอุณหภูมิประมาณ 70–80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ หลังจากครบเวลา 1 ชั่วโมง ทำการเติมกรดอะซิติกปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ตามด้วยโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณ 1.5 กรัม ลงในสารละลายที่ยังร้อนอยู่ แล้วเขย่าขวดให้สารละลายเข้ากัน หลังจากครบ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง เติมกรดอะซิติก และโซเดียมคลอไรด์ เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำขวดออกมาวางในอ่างน้ำแข็ง จนกระทั่งสารละลายในขวด มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส นำสารละลายที่ได้มากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 3 แล้วล้างด้วยน้ำเย็นและอะซีโตน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก และเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสต่อไป โดยคำนวณจากสูตร

$$\textbf{\% โฮโลเซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของโฮโลเซลลูโลสหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

2. วิธีวิเคราะห์เซลลูโลส

ทำการชั่งตัวอย่างจากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โฮโลเซลลูโลส ประมาณ 1.5 กรัม ใส่ลงใน Beaker ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 17.5% ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ลงไป แล้วปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ที่ 2.5±2 องศาเซลเซียส คนจนกว่าเยื่อกระจายอย่างสมบูรณ์ แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยการเติมสารละลายโซเดียม–ไฮดรอกไซด์ ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร คนสารละลายต่อเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้มากรอง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น และ 10% กรดอะซิติก นำไปอบที่อุณหภูมิ

80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นโดยนำใส่ในโถดูดความชื้น แล้วทำการชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณเซลลูโลส โดยคำนวณจากสูตร

$$\textbf{\% เซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของเซลลูโลสหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

ส่วนปริมาณเฮมิเซลลูโลสหาได้จากสูตร

% เฮมิเซลลูโลส = โฮโลเซลลูโลส–เซลลูโลส

ภาคผนวก จ วิธีการวิเคราะห์คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของคะน้า

1. น้ำหนักสดต่อต้น

นำต้นสดของคะน้าในแต่ละกรรมวิธีมาทำการชั่งน้ำหนัก พร้อมบันทึกผลน้ำหนักเป็นกรัมต่อต้น

2. เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งต่อต้น

ทำการตัดตัวอย่างพืช น้ำหนัก 5 กรัม แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80–100 องศาเซลเซียส (หรือ 60 องศาเซลเซียส ในกรณีที่ต้องการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ทางเคมี) นาน 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างพืชคงที่

3. ค่าดัชนีความเขียว SPAD

นำตัวอย่างใบพืชใส่ลงในหัวหนีบของเครื่องวัดโครโรฟิลล์ (Digital Chlorophyll Meter) โดยหนีบทิ้งไว้เป็นเวลานานประมาณ 2 วินาที แล้วทำการบันทึกค่าที่อ่านได้

4. ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

นำส่วนของใบคะน้ามาทำการบดให้ละเอียดแล้วชั่งน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายอะซิโตน ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงไป ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ปรับปริมาตรด้วยสารละลายอะซิโตนให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 20 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (optical density, OD) ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectophotometer โดยใช้สารละลายอะซิโตนความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ เป็น blank บันทึกค่าที่ได้แล้วนำไปคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ในรูปของปริมาณคลอโรฟิลล์ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด โดยคำนวณจากสูตร

$$\textbf{ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ} = [12.7\,(OD663) - 2.69\,(OD645)] \times \frac{V}{1000 \times W}$$

$$\textbf{ปริมาณคลอโรฟิลล์บี} = [22.9\,(OD645) - 4.68\,(OD663)] \times \frac{V}{1000 \times W}$$

$$\textbf{ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด} = [20.2\,(OD645) + 8.02\,(OD663)] \times \frac{V}{1000 \times W}$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายที่นำมาหาปริมาณคลอโรฟิลล์

W คือ น้ำหนักของผักกาดหอมที่นำมาสกัดคลอโรฟิลล์

OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ตามความยาวคลื่นที่กำหนด

5. สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

นำต้นคะน้าอายุ 50 วัน มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี folin–ciocalteu ที่ดัดแปลงจาก Liu, et al. (2007) และอรประภา อนุกูลประเสริฐ และภาณุมาศ ฤทธิไชย (2558) โดยเริ่มจากการเตรียม gallic acid stock solution ที่ความเข้มข้น 5000 ppm โดยชั่ง gallic acid ปริมาตร 0.5 กรัม ใน 95% Ethanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้เท่ากับ 100 มิลลิลิตร จากนั้นดูด gallic acid stock solution ปริมาตร 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเพื่อให้มีปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร ทำให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 50, 100, 150, 200, 250, และ 300 ppm จากนั้นดูดสารละลายมาตรฐานในแต่ละความเข้มข้น 300 ไมโครลิตร เติม 2N folin–ciocalteu reagent 2.5 มิลลิลิตร และ 7.5% sodium carbonate 2 มิลลิลิตร บ่มไว้ในที่อุณหภูมิห้องในสภาพมืดเป็นเวลา 150 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของแต่ละความเข้มข้น ไปสร้างกราฟมาตรฐาน และนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับตัวอย่างต่อไป

ในขณะที่การเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่าง เริ่มจากการนำตัวอย่างสดที่บดละเอียด 1 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลาย 70% ethanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในสภาพมืด นาน 150 นาที จากนั้น นำมากรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ได้เป็นสารละลายใสเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยดูดสารละลายใส 300 ไมโครลิตร เติม 2N folin–ciocalteu reagent 2.5 มิลลิลิตร และ7.5% Sodium carbonate 2 มิลลิลิตร บ่มไว้ในที่อุณหภูมิห้องในสภาพมืด เป็นเวลา 150 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Gallic acid มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม gallic acid ต่อ กรัมน้ำหนักตัวอย่างสด

ภาคผนวก ฉ การคำนวณหาน้ำหนักดินในพื้นที่ 1 ไร่

การคำนวณหาน้ำหนักดินในพื้นที่ 1 ไร่

น้ำหนักดินพื้นที่ 1 ไร่ คำนวณหาได้เมื่อทราบค่าความหนาแน่นรวมของดิน (หน่วย: g/cm^3) และกำหนดระดับความลึก (หน่วย: cm) จากตัวอย่างการคำนวณความต้องการปูนของดินกรดนั้น น้ำหนักดินในพื้นที่ 1 ไร่ มีที่มาจากการใช้ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช) = 1.3 g/cm^3 และระดับความลึกของดินเท่ากับ 15 cm รายละเอียดการคำนวณแสดงได้ดังนี้

1. คำนวณหาปริมาตรพื้นที่ 1 ไร่ ที่ระดับความลึก 15 cm

พื้นที่ 1 ไร่ หรือ 40 × 40 m $= \frac{40 \text{ m} \times 100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \times \frac{40 \text{ m} \times 100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$

$= 4000 \text{ cm} \times 4000 \text{ cm}$

ดังนั้นปริมาตรของพื้นที่ 1 ไร่ $= 4000 \text{ cm} \times 4000 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$

$= (4000 \times 4000 \times 15) \text{ cm}^3$

2. คำนวณหานำหนักดินในพื้นที่ 1 ไร่

จากค่าความหนาแน่นของดินที่ใช้คือ 1.3 g/cm^3 หมายความว่า

ดินปริมาตร 1 cm^3 หนัก = 1.3 g

จาก (1) จะได้ว่า

ดินปริมาตร (4000 × 4000 ×15) cm^3 หนัก $= 1.3 \text{ g} \frac{(4000 \times 4000 \times 15) \text{ cm}^3}{1 \text{ cm}^3}$

$= 312{,}000{,}000 \text{ g}$

$= 312{,}000{,}000 \text{ g} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$

$= 312{,}000 \text{ kg}$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า ดินในพื้นที่ 1 ไร่ หนัก = 312,000 kg

กรณีที่ทราบประเภทของเนื้อดินสามารถใช้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของดินเพื่อคำนวณหาน้ำหนักดินในพื้นที่ 1 ไร่ ให้ได้ค่าใกล้เคียงความจริง (พัชรี ธีรจินดาขจร, 2552)

ตาราง 17 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของดินจำแนกตามประเภทของเนื้อดิน

เนื้อดิน	ความหนาแน่นรวม (g/cm3)
Sand	1.58
Loamy sand	1.52
Sandy loam	1.47
Loam	1.39
Silt loam	1.36
Clay loam	1.31
Sand clay loam	1.44
Silty clay loam	1.40
Sandy clay	1.33
Silty clay	1.26
Clay	1.23

ที่มา: Wolf, 1999

ภาคผนวก ช การคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นสปอร์ของรา

การคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นสปอร์ของรา

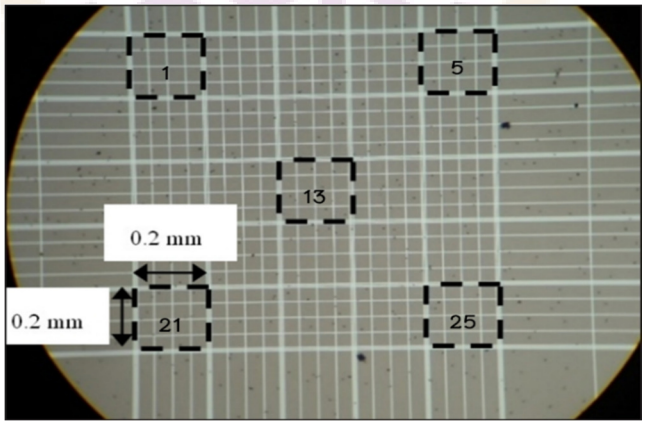
นำสารละลายแขวนลอยสปอร์ของราที่จะนำมาใช้ทดสอบปริมาตร 0.1 ไมโครลิตร (หรือประมาณ 1 หยด) ใส่ลงใน chamber ของ hemocytometer แล้วปิดทับด้วยกระจกปิดสไลด์ (cover slide) นำไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100x หรือ 100 เท่า เพื่อเจาะจงให้อยู่ในส่วนของ 25 ช่องเล็ก เนื่องจากกำลังขยายในระดับนี้จะทำให้มองเห็นจำนวน 25 ช่อง เกือบพอดี หรือมีส่วนเกินเพียงเล็กน้อย ทำการนับจำนวนสปอร์ที่มองเห็นในช่องที่ 1, 5, 13, 21 และ 25 ซึ่งอยู่ในตำแหน่งสี่มุมและช่องตรงกลาง โดยแต่ละช่องของตารางมีความกว้างและความยาว ขนาด 0.2 มิลลิเมตร (ภาพ 18) จากนั้นคำนวณหาจากสมการ

$$\text{density} = \frac{\text{nColony}}{\text{nGrid}} \times \frac{1}{4} \times 10^6$$

โดยที่ nColony = จำนวนโคโลนีที่นับได้บนแผ่นเพลตใน Grid ช่องที่นับทั้งหมด

nGrid = คือ จำนวนกริดที่นับโดยปกติแล้วจะมีค่าเป็น 5 (ซึ่งหมายถึง Grid ช่องที่ 1, 5, 13, 21 และ 25 ตามลำดับ)

โดยหน่วยของจำนวนสปอร์ที่นับได้ คือ สปอร์ต่อมิลลิลิตร (เดชาวุฒิ วานิชสรรพ์ และคณะ, 2558)



ภาพ 19 แสดงภาพถ่ายช่อง Grid ของ hemocytometer จากเลนส์กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า

ที่มา: เดชาวุฒิ วานิชสรรพ์, และคณะ, 2558

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล วรวุฒิ อ้ายดวง

วัน เดือน ปี เกิด 23 พฤษภาคม 2536

ที่อยู่ปัจจุบัน 13 หมู่ที่ 14 ตำบลเมืองพาน อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

ที่ทำงานปัจจุบัน –

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน –

ประสบการณ์การทำงาน –

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2558 วท.บ. (เกษตรศาสตร์), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา

ผลงานตีพิมพ์

ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

วรวุฒิ อ้ายดวง, บุญร่วม คิดค้า, มนัส ทิตย์วรรณ และวิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก (ผู้บรรยาย). (27–28 มีนาคม 2561). ผลของปุ๋ยอินทรีย์ผักตบชวาหมักด้วยเชื้อราย่อยสลายต่อการควบคุมโรคเน่าคอดินของคะน้าสาเหตุจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* ในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงเรือน. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติวลัยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ 10** (หน้า 1–7). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัย วลัยลักษณ์.

ผลงานตีพิมพ์อื่น ๆ

วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก และ วรวุฒิ อ้ายดวง. (2560). การทดสอบประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดเชื้อราในการควบคุมเชื้อรา *Fusarium oxysporum* สาเหตุโรคเหี่ยวของแคนตาลูป. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**, 4(2), 1–4.

Nuangmek, W., Aiduang, W., Suwannarach, N., Kumla J. and Lumyong, S. (2018). First report of gummy stem blight caused by *Stagonosporopsis cucurbitacearum* on cantaloupe in Thailand. **Canadian Journal of Plant Pathology,** 1–6.