การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา โดยเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลาย เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว

กนิษฐา ทองเกล็ด

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
พฤษภาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวา โดยเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลาย เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว

กนิษฐา ทองเกล็ด

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
พฤษภาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวาโดยเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลาย
เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว

ของ กนิษฐา ทองเกล็ด

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....ประธาน
(ดร. บุญสม บุษบรรณ์)

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

.....กรรมการ
(ดร. บุญร่วม คิดค้า)

.....กรรมการ
(ดร. บุญฤทธิ์ สินค้างาม)

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

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์รัตนา อัตตปัญโญ)
คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
พฤษภาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.–อุตสาหกรรม ประจำปี 2557 (MSD57I0126) ที่ให้งบประมาณในการสนับสนุนการทำการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก ประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างยิ่ง ที่ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย รวมถึง ความรู้ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน ตลอดจนทำการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ทิตย์วรรณ และดร.บุญร่วม คิดค้า กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึง ดร.บุญฤทธิ์ สินค้างาม และดร.บุญสม บุษบรรณ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา และตรวจทาน แก้ไข วิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.นครินทร์ สุวรรณราช ที่คอยแนะนำ และความช่วยเหลือในด้านงานทำวิจัย การทำการทดลอง ตลอดจนช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และคอยให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณเฉลิมชัย แพะคำ และคุณชัยมงคล ใจหล้า ที่คอยช่วยเหลือ แนะนำ สั่งสอน รวมถึงค่อยให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน และคอยเป็นที่ปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ที่เอื้อเฟื้อและสนับสนุนส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ในการอำนวยความสะดวกทางด้านห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัย จนโครงการวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตรทุกท่าน ที่คอยเป็นที่ปรึกษา ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด จนกระทั้งงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยดูแล สนับสนุน และให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

กนิษฐา ทองเกล็ด

ชื่อเรื่อง: การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายปุ๋ยหมักผักตบชวาโดยเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลาย เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว

ผู้วิจัย: กนิษฐา ทองเกล็ด, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์การเกษตร), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2560

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

คำสำคัญ: สภาวะที่เหมาะสม, เชื้อราย่อยสลาย, ปุ๋ยหมักผักตบชวา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา 3 ชนิด (*Mucor elipsoideus*, *Rhizopus oryzae* และ *Trichoderma harzianum*) ในผักตบชวาย่อยสลาย ประกอบด้วย อุณหภูมิ 25–30 องศาเซลเซียส, pH 6.5–7.0 และแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน ในการทดลองที่ 1 พบว่า *M. elipsoideus* และ *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เหมาะสมต่อการเจริญของรา *T. harzianum* ส่วน pH ที่เหมาะสมต่อรา *T. harzianum, M. elipsoideus* และ *R. oryzae* คือ pH 6.0, 7.0 และ 7.5 ตามลำดับ Sucrose เป็นแหล่งคาร์บอนที่ดีที่สุดในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของรา *M. elipsoideus* และ *T. harzianum* และแป้ง เป็นแหล่งคาร์บอนที่ดีที่สุดสำหรับ *R. oryzae* ส่วน Potassium nitrate เป็นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อรา *M. elipsoideus* และ *T. harzianum* ในขณะที่ Peptone เป็นแหล่งไนโตรเจนที่ดีที่สุดสำหรับ *R. oryzae* การทดลองที่ 2 ผลการทดสอบการย่อยสลายผักตบชวา ที่ 60 วัน พบว่า เชื้อราทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการย่อยสลาย โดยการหมักผักตบชวาสดร่วมกับรา *M. elipsoideus, R. oryzae* และ *T. harzianum* มีอัตราการย่อยสลายมากที่สุด เท่ากับ 88.60% รองลงมา คือ การหมักผักตบชวาสดร่วมกับรา *R. oryzae* และ *T. harzianum* (86.50%) เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักผักตบชวาสดร่วมกับรา *T. harzianum* (85.87%) ในการทดลองที่ 3 การทดสอบผลของผักตบชวาที่ผ่านการหมักจากเชื้อรา 3 ชนิด ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 พบว่า จำนวนเมล็ดดี (113.65) อัตราการติดเมล็ด (80.97%) และดัชนีการเก็บเกี่ยว (4.27) มีความแตกต่างจากกรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Title: OPTIMIZATION OF BIODEGRADATION OF WATER HYACINTH COMPOST BY USING MICROBIAL DEGRADATION FOR ENHANCING RICE YIELD

Author: Kanittha Thongkled **Thesis:** M.S. (Agricutural Science), University of Phayao, 2017.

Advisor: Dr.Wipornpan nuangmek, **Co-advisor:** Associate Professor Dr.Manus titayavan, Dr.Bunraum khitka

Keywords: Suitable conditions, Microbial degradation, Water hyacinth compost.

ABSTRACT

This research aimed to investigate the optimal conditions for the growth of three fungal species (*Mucor ellipsoideus*, *Rhizopus oryzae* and *Trichoderma harzianum*) on the decomposing water hyacinth comprising with temperatures of 25–30°C, pH 6.5–7.0 and carbon and nitrogen sources. In experiment 1, the data showed that *M. ellipsoideus* generated good growth at 25 °C, while at 30 °C was optimum for the growth of *R. oryzae* and *T. harzianum*. The optimum pH for *T. harzianum*, *M. ellipsoideus* and *R. oryzae* was obtained at pH values 6.0, 7.0 and 7.5 respectively. Sucrose was the best carbon source to enhance the growth of both *M. ellipsoideus* and *T. harzianum* and starch containing media proved good carbon source for *R. oryzae*. Potassium nitrate was the optimum nitrogen source for *M. ellipsoideus* and *T. harzianum*, while peptone was the optimum for the growth of *R. oryzae*. Experiment 2, the results of water hyacinth degradation tests at 60 days after test showed that all fungal species had certain degradation ability. The maximum rate of decomposition was 88.60% found in the compost mixture of water hyacinth fresh mixed with *M. ellipsoideus*, *R. oryzae* and *T. harzianum* followed by water hyacinth plus *R. oryzae* and *T. harzianum* (86.50%) compared to water hyacinth together with *T. harzianum* (85.87%). Experiment 3, test results on the effect of composted water hyacinth derived from three composting fungi on the growth and yield of rice Pitsanulok 2 variety indicated that filled grains per panicle (113.65), seed setting rate (80.97%), and Harvest Index (4.27) were approached significance.

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 2

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

ผักตบชวา 4

ปุ๋ยหมัก 4

ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา 6

กระบวนการย่อยสลายปุ๋ยหมัก 7

คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 9

บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก 11

ลักษณะทั่วไปของเชื้อรา *Mucor* sp. 12

ลักษณะทั่วไปของเชื้อรา *Rhizopus* sp. 13

ลักษณะทั่วไปของเชื้อรา *Trichoderma* sp. 14

จุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรียวัตถุ 15

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ 16

สถานการณ์ข้าว 19

ข้าวเจ้าพิษณุโลก 2 (Phitsanulok 2) 19

การเพิ่มผลผลิตในนาข้าว 19

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

3 วิธีดำเนินการวิจัย 27
การทดลองที่ 1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อราย่อยสลายผักตบชวา 27
การทดลองที่ 2 ศึกษาความสามารถของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวา 30
การทดลองที่ 3 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน 32
การวิเคราะห์ข้อมูล 35

4 ผลการทดลอง 36
การทดลองที่ 1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อราย่อยสลายผักตบชวา 36
การทดลองที่ 2 ศึกษาความสามารถของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวา 38
การทดลองที่ 3 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน 48

5 บทสรุป 53
สรุปผลการวิจัย 53
อภิปรายผลการวิจัย 54
ข้อเสนอแนะ 60

บรรณานุกรม 61

ภาคผนวก 71
ภาคผนวก ก การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 72
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ 73
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส 79

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

ภาคผนวก (ต่อ) .....

ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน 81

ประวัติผู้วิจัย 86

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1 แสดงรายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลว 10

2 แสดงการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อรายย่อยสลายผักตบชวา 37

3 แสดงการตรวจสอบชนิดของเชื้อราในการย่อยสลายของผักตบชวาหมักในระดับห้องปฏิบัติการ 39

4 แสดงปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาหมักที่ใช้เชื้อราในการย่อยสลาย ในระดับห้องปฏิบัติการ 42

5 แสดงปริมาณเซลลูโลส และปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากผักตบชวาหมักที่ใช้เชื้อราในการย่อยสลายในระดับห้องปฏิบัติการ 43

6 แสดงปริมาณธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาหมักที่ใช้เชื้อราในการย่อยสลายในระดับพื้นที่จริง 47

7 แสดงผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน 49

8 แสดงปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางเคมีของดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในกรรมวิธีต่าง ๆ 52

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

1 แสดงลักษณะสปอร์แรงเจียม และสปอร์แรงจิโอสปอร์ของเชื้อ *Mucor* sp. 13
2 แสดงลักษณะ Sporangia ของเชื้อ *Rhizopus* sp. 14
3 แสดงลักษณะของคอนิเดียของเชื้อ *Trichoderma* sp. 15
4 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรายย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด 29
5 แสดงการหมักผักตบชวาในระดับพื้นที่จริง 32
6 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าว
พันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน 33
7 แสดงลักษณะทางกายภาพของผักตบชวาหมักของแต่ละกรรมวิธี 38
8 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน 50

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub) เป็นพืชน้ำจืดที่แพร่กระจายอย่างรวดเร็ว และเป็นปัญหาของแหล่งน้ำ โดยก่อให้เกิดความเสียหาย คือ กีดขวางการสัญจรไปมาทางน้ำ แม้ว่าผักตบชวาจะก่อให้เกิดปัญหาหลายด้าน แต่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อลดต้นทุนการผลิตได้ เนื่องจากผักตบชวาเป็นวัชพืชที่เจริญเติบโตรวดเร็ว สามารถเพิ่มชีวมวล 2 เท่าภายใน 7 วัน (Wilson, et al., 2004) จึงเหมาะแก่การนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมาก สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่ปะปนอยู่กับตะกอนในน้ำ และนำมาไว้ในส่วนต่าง ๆ ของลำต้นและใบ จึงมีปริมาณธาตุอาหารสูง ซึ่งประกอบไปด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 1.75, 0.63 และ 3.07 เปอร์เซ็นต์ ผักตบชวายังส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและช่วยรักษาอินทรียวัตถุในดิน (Akeem, 2010)

ปัจจุบัน กระแสการบริโภคเพื่อสุขภาพกำลังเป็นที่ต้องการของตลาด จังหวัดพะเยามีนโยบายให้การสนับสนุน และผลักดันการทำเกษตรในเชิงเกษตรอินทรีย์ ที่ปลอดภัยจากสารเคมีเพื่อสุขภาพที่ดีของผู้บริโภค แต่ปัญหา คือ ผลผลิตยังต่ำอยู่ ดังนั้น หน่วยงานของจังหวัด รวมถึงองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา จึงได้ส่งเสริมการปลูกพืชอินทรีย์ โดยการสนับสนุนปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากผักตบชวา ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา จากข้อมูลการวิจัย พบว่า ผักตบชวาที่ตากแห้งมีคุณภาพสูงขึ้น โดยที่ส่วนใบจะมีคุณค่าทางอาหารสูง คือ มีโปรตีน 16.8 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยรวม (Neutral detergent fiber: NDF) 50 เปอร์เซ็นต์ (Wanapat, Maskasem and Sornsoongnern, 1989) แต่ปัญหาของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานปุ๋ย คือ ผลผลิตปุ๋ยจากผักตบชวายังไม่มีคุณภาพ และมีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอในการเพิ่มผลผลิตให้แก่พืช เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายผักตบชวาไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้การที่ผักตบชวาย่อยสลายไม่สมบูรณ์ ยังส่งผลต่อกระบวนการผลิตปุ๋ยอัดเม็ดของโรงงาน เนื่องจากไม่สามารถปั้นเป็นปุ๋ยอัดเม็ดได้

จากการศึกษาของเฉลิมชัย แพะคำ (2557) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เชื้อจุลินทรีย์ท้องถิ่นในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว และป้องกันการเกิดโรคใบไหม้ในข้าว โดยนำเชื้อจุลินทรีย์ท้องถิ่น ในตัวอย่างดินที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ไซแลนเนส โปรติเอส และยูรีเอส

ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายผักตบชวา เพื่อใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก ได้แก่ เชื้อ *Mucor ellipsoideus, Rhizopus oryzae* และ *Trichoderma harzianum* แต่ยังขาดการศึกษาทางด้านสภาวะที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต และการย่อยสลายของเชื้อราดังกล่าว ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเชื้อจุลินทรีย์ ที่มีความสามารถในการย่อยสลายผักตบชวาได้ดี เพื่อเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารให้แก่ปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากเชื้อจุลินทรีย์ และเพื่อส่งเสริมการผลิตพืชอินทรีย์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายผักตบชวาของเชื้อรา ได้แก่ *Mucor ellipsoideus, Rhizopus oryzae* และ *Trichoderma harzianum*
2. เพื่อศึกษาความสามารถของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวา
3. เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวพิษณุโลก 2

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมได้แก่ อุณหภูมิ กรด–ด่าง แหล่งคาร์บอน และแหล่งไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต และการย่อยสลายผักตบชวาของเชื้อราทั้ง 3 ชนิด คือ *M. ellipsoideus, R. oryzae* และ *T. harzianum*
2. วิเคราะห์หาคุณลักษณะของผักตบชวาหมัก รวมถึงดินก่อนปลูก และหลังปลูก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม อินทรียวัตถุ ความเป็นกรด–ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของดิน เป็นต้น
3. ศึกษาผลของปุ๋ยหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวพิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อลดระยะเวลาในการย่อยสลายผักตบชวา
2. เพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่ปุ๋ยอินทรีย์ เมื่อต้นผักตบชวาเริ่มเหี่ยวจึงนำมาทำปุ๋ยหมัก พบว่า ปุ๋ยจากการหมัก มีไนโตรเจน (N) 2.05 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 11 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม (K_2O) 2.5 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม (CaO) 3.9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหมักแห้ง และอัตราส่วน C/N = 13 จึงเป็นปุ๋ยหมัก เหมาะที่จะใช้เป็นปุ๋ยในนาข้าว
3. สามารถผลิตเป็นปุ๋ยอัดเม็ดได้ตามมาตรฐาน เพื่อส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตข้าวให้แก่กลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตข้าวอินทรีย์ มีผลผลิตมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการกำจัดปริมาณ

ผักตบชวา ในกว๊านพะเยาได้อีกทางหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการผลิตข้าวที่ปลอดภัย ลดการใช้ปุ๋ยเคมี และสร้างความมั่นใจให้ผู้บริโภค โดยจัดฝึกอบรมภาคปฏิบัติการในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน เพื่อให้นำไปถ่ายทอดกว้างขวางขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผักตบชวา

ผักตบชวา (Water hyacinth) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms เป็นพืชพื้นเมืองของทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งมีถิ่นกำเนิดจากประเทศบราซิล ลักษณะทั่วไปของผักตบชวาเป็นวัชพืชน้ำ ประเภทใบเลี้ยงเดี่ยวลอยน้ำ ทรงพุ่ม กลม สูงประมาณ 50–100 เซนติเมตร ขยายพันธุ์ทั้งแบบเมล็ด และการแตกไหล ปัจจุบันผักตบชวาก่อให้เกิดปัญหาแก่แหล่งน้ำเป็นอย่างมาก (ศุภฤกษ์ ดวงขวัญ, 2554, สื่อออนไลน์) ผักตบชวาเป็นปัญหาต่อแหล่งน้ำในประเทศไทย รวมถึงกว๊านพะเยาเป็นอย่างมาก เนื่องจากวัชพืชเหล่านั้นตายลงจะจมตัวลงสู่พื้นน้ำ ทำให้เกิดการตื้นเขิน (สันธิวัฒน์ พิทักษ์พล, 2556, สื่อออนไลน์) นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย ก่อปัญหาต่อระบบขนส่งทางน้ำ และส่งผลกระทบต่อความสมดุลของระบบนิเวศมากขึ้น รวมถึงเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค และพาหะนำโรค เป็นต้น (วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก, กนิษฐา ทองเกล็ด และมนัส ทิตย์วรรณ, 2558)

ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการหมักบ่มสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุให้สลายตัว และผุพังไปบางส่วน ทำให้ได้ปุ๋ยที่มีลักษณะสีคล้ำดำ มีลักษณะเป็นผงละเอียด เหมาะสำหรับการปรับปรุงดิน และให้ธาตุอาหารแก่พืช (สุพร ทนส่งผล, 2560, สื่อออนไลน์)

ปุ๋ยหมัก เป็นการนำชิ้นส่วนของพืช วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น หญ้าแห้ง ใบไม้ ฟางข้าว ซังข้าวโพด กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล และแกลบจากโรงสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้ เป็นต้น มาหมักในรูปของการกองซ้อนกันบนพื้นดิน หรืออยู่ในหลุม เพื่อให้ผ่านกระบวนการย่อยสลายให้เน่าเปื่อยเสียก่อน โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้สารอินทรียวัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ เกษตรกรสามารถทำปุ๋ยหมักเองได้ (สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์, 2554, สื่อออนไลน์)

การทำปุ๋ยหมัก

1. การทำปุ๋ยหมักอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกอง “วิศวกรรมแม่โจ้ 1” นำฟางข้าว 4 ส่วน วางเป็นชั้นบาง ๆ สูงไม่เกิน 10 เซนติเมตร ฐานกว้าง 2.5 เมตร โปรยทับด้วยมูลสัตว์ 1 ส่วน

แล้วรดน้ำ (เช่น นำฟาง 16 เข่ง มาวางหนา 10 เซนติเมตร โรยทับด้วยมูลสัตว์ 4 เข่ง เพื่อให้เป็นสัดส่วน 4 ต่อ 1) ทำแบบเดิมไปเรื่อย ๆ จนได้ชั้นฟาง 15–17 ชั้น รดน้ำแต่ละชั้นให้มีความชื้นขึ้นกองเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีความสูง 1.50 เมตร ชั้นบนสุดเป็นมูลสัตว์ ปริมาณเศษพืชและมูลสัตว์ที่มีความสำคัญของการที่ต้องทำเป็นชั้นบาง ๆ 15–17 ชั้น เพื่อให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในมูลสัตว์ได้ใช้ทั้งธาตุคาร์บอนที่มีอยู่ในเศษพืช และธาตุไนโตรเจนที่มีในมูลสัตว์ ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ ซึ่งจะทำให้การย่อยสลายวัตถุดิบเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ตลอดเวลา 60 วัน ให้รักษาความชื้นภายในกองปุ๋ยให้มีความเหมาะสมอยู่ตลอดเวลา (มีค่าประมาณร้อยละ 60–70) โดยมี 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รดน้ำภายนอกกองปุ๋ยทุกวัน ๆ ละครั้ง โดยไม่ให้มีน้ำไหลนองออกมาจากกองปุ๋ยมากเกินไป

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อครบวันที่ 10 ใช้ไม้ หรือเหล็ก แทงกองปุ๋ยให้เป็นรูลึกถึงข้างล่าง แล้วกรอกน้ำลงไป ระยะห่างของรูประมาณ 40 เซนติเมตร ทำขั้นตอนที่สองนี้ 5 ครั้ง ระยะเวลาห่างกัน 10 วัน เมื่อเติมน้ำเสร็จแล้วให้ปิดรูเพื่อไม่ให้สูญเสียความร้อนภายในกองปุ๋ย ปริมาณน้ำที่เติมโดยรวมต้องไม่ทำให้มีน้ำเจิ่งนองออกมามากเกินไป ภายในเวลา 5 วันแรก กองปุ๋ยจะมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นมาก บางครั้งสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นเรื่องปกติสำหรับกองปุ๋ยที่ทำได้ถูกวิธี ความร้อนสูงนี้เกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (จุลินทรีย์มีมากมาย และหลากหลายในมูลสัตว์อยู่แล้ว) และความร้อนสูงนี้ยังเป็นสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยอีกด้วย หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงตามเวลา จนมีค่าอุณหภูมิปกติที่อายุ 60 วัน เมื่อกองปุ๋ยมีอายุครบ 60 วัน ก็หยุดให้ความชื้น กองปุ๋ยจะมีความสูงเหลือเพียงประมาณ 1 เมตร แล้วทำปุ๋ยอินทรีย์ให้แห้ง เพื่อให้จุลินทรีย์สงบตัว (Stabilization period) ไม่ให้เป็นอันตรายต่อรากพืช วิธีการทำปุ๋ยอินทรีย์ให้แห้งอาจทำโดยทิ้งไว้ในกองเฉย ๆ ประมาณ 1 เดือน หรืออาจแผ่กระจายให้มีความหนาประมาณ 20–30 เซนติเมตร ซึ่งจะแห้งภายในเวลา 3–4 วัน สำหรับผู้ที่ต้องการจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์ ก็อาจนำปุ๋ยอินทรีย์ที่แห้งแล้วไปตีป่นให้มีขนาดเล็กสม่ำเสมอกัน ซึ่งจะมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 5–7 บาท สามารถเก็บได้นานหลายปี (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2558, สื่อออนไลน์)

2. การทำปุ๋ยหมักแบบร้อน (Hot composting) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดและมีคุณภาพ เนื่องจากอัตราการย่อยสลายวัตถุดิบ โดยกระบวนการหมักจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เศษวัสดุหมัก และโรคพืช จะถูกทำลายหลังการหมัก การหมักประเภทนี้ใช้เวลาน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ นอกจากนี้ ยังช่วยทำหลายเมล็ดวัชพืช ตัวอ่อนแมลงวัน และโรคพืช การทำปุ๋ยหมักแบบใช้ถัง (Bin) หรือแบบกองบนลาน (Windrow) จะต้องอาศัยการจัดการในระดับสูง ส่วนแบบ In-vessel จะใช้การจัดการน้อยกว่า การหมักประเภทนี้อัตราส่วนของ C: N เหมาะสม ความชื้นเหมาะสม

กลับกองกองปุ๋ยเพื่อเพิ่มการถ่ายเทของอากาศ วิธีนี้ทำได้โดยการผสมวัสดุหมักที่มีอัตราส่วนของ C: N ที่เหมาะสม พร้อมทั้งรดน้ำให้ความชื้นที่เหมาะสม และมีการกลับกองปุ๋ยหมักเป็นระยะในระหว่างการหมัก (นันทวัน ฤทธิ์เดช, 2556)

3. การทำปุ๋ยหมักแบบ Heap composting เป็นวิธีการหมักอย่างง่ายที่ไม่จำเป็นต้องใช้ถังหรือภาชนะหมัก ทำได้โดยการกองวัสดุหมักเป็นชั้น ในบริเวณลานโล่งที่มีหลังคา หรือไม่มีหลังคาคลุม ซึ่งวัสดุหมักสามารถกองได้ในสวน ไร่ นา เป็นต้น (นันทวัน ฤทธิ์เดช, 2556)

4. การทำปุ๋ยหมักแบบ Cold bin composting เป็นวิธีการทำปุ๋ยหมักในถัง หรือภาชนะอย่างง่าย ซึ่งทำได้โดยนำวัตถุดิบประเภทสีน้ำตาล มาผสมกับเศษอาหาร โดยกองปุ๋ยให้มีความสูง 1 ส่วน 2 ของถัง หลังจากหมักได้1 เดือน ให้กองเศษอาหาร วัตถุดิบประเภทสีน้ำตาล และดินทำเช่นนี้เป็นระยะเวลา 1 ปี จะได้ปุ๋ยหมักที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (นันทวัน ฤทธิ์เดช, 2556)

ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา

ผักตบชวา มีชื่อสามัญว่า water hyacinth จัดอยู่ในวงศ์ Pontederiaceae โดยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms อยู่บนผิวน้ำ หรือขึ้นบนดินชื้นแฉะ มีอายุข้ามปี (Perennial) สามารถขึ้นได้ทั้งบนบกและในน้ำ ไม่ชอบน้ำเค็ม และอากาศเย็นจัด เจริญงอกงามในเขตร้อนชื้นทั่วไป (จันทร์เพ็ญ ประคองวงศ์, 2538) ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาโดยเฉลี่ยมีปริมาณอินทรียวัตถุ ร้อยละ 28 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 18:1 ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมร้อยละ 0.97, 0.42 และ 1.50 ตามลำดับ ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.26 ค่าการนำไฟฟ้า 2.35 เดซิซีเมนต่อเมตร มีปริมาณโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2560, สื่อออนไลน์)

วิธีทำปุ๋ยหมักผักตบชวา (ไทยเกษตรศาสตร์, 2554, สื่อออนไลน์)

1. วิธีทำปุ๋ยหมักผักตบชวาแบบสด

ข้อดีของการใช้ผักตบชวาแบบสด คือ กองปุ๋ยจะมีความชื้นอยู่ตลอดเวลา ทำให้ลดงานที่ต้องคอยรดน้ำกองปุ๋ยได้ และควรตรวจกองปุ๋ยก็ยังเป็นสิ่งที่ควรทำอยู่เสมอ

1.1 ใช้ผักตบชวาเพียงอย่างเดียว

วิธีการกองปุ๋ยหมักแบบนี้ไม่ยุ่งยาก แต่อาจใช้เวลาในการรอให้กองปุ๋ยหมักย่อยสลายค่อนข้างนาน วิธีการ คือ รวบรวมผักตบชวามากองไว้แล้วย่ำให้แน่น ๆ จำกัดกองไม่ให้กว้างเกินกว่า 4 เมตร สูงไม่เกินกว่า 3 เมตร ส่วนความยาวขึ้นอยู่กับปริมาณของผักตบชวาที่รวบรวมมาได้ หลังจากทำกองเสร็จแล้วเพียงรอให้กองปุ๋ยย่อยสลาย ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2-3 เดือน

1.2 ใช้วัสดุหลายชนิดรวมกัน

กรณีที่มีจำนวนผักตบชวาไม่เพียงพอ ก็สามารถนำวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่มี มาทำเป็นปุ๋ยได้ เช่น เศษหญ้าทั้งสดทั้งแห้ง ใบไม้ เศษพืชผัก เป็นต้น

วิธีทำนำเศษพืชที่มีลักษณะแห้งวางกองชั้นล่างสุดทับด้วยผักตบชวา ย่ำให้แน่น ทำกองสูง 50 เซนติเมตร กว้างไม่เกิน 2 เมตร รดน้ำให้ชุ่ม ชั้นบนโรยด้วยมูลสัตว์ ปริมาณ 1 ใน 5 ส่วน ของเศษพืช ทำเป็นชั้น ๆ อย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนกองปุ๋ยสูงไม่เกิน 1.5 เมตร ชั้นบนสุดให้โรยด้วยดินหรือมูลสัตว์อีกครั้ง หนาประมาณ 1 นิ้ว จากนั้นคลุมกองปุ๋ยด้วยฟางข้าวหรือทางมะพร้าว การกลับกองให้ทำทุก ๆ 15 วัน ประมาณ 1–2 เดือน ปุ๋ยก็จะย่อยสลายแล้วนำไปใช้ได้

2. วิธีทำปุ๋ยหมักผักตบชวาแบบแห้ง

นำผักตบชวาไปตากแดดประมาณ 1–2 สัปดาห์ รวบรวมจนได้ปริมาณที่ต้องการ ทำกองกว้าง 2–3 เมตร สูงประมาณ 40–50 เซนติเมตร ย่ำให้แน่น โรยมูลสัตว์ ประมาณ 1–2 นิ้ว แล้วรดน้ำให้ชุ่มทำเป็นชั้น ๆ ไปอย่างนี้ จนกองสูงไม่เกิน 1.5 เมตร โดยชั้นบนสุดให้โรยทับด้วยดินหรือมูลสัตว์ หนา 1 นิ้ว คลุมกองด้วยฟางข้าวหรือทางมะพร้าว กลับกองทุก ๆ 15 วัน และตรวจกองปุ๋ยโดยสอดมือเข้าไปในกองลึก ๆ หยิบปุ๋ยคอกมาบีบดู หากมีน้ำไหลออกมาตามง่ามมือ แสดงว่า กองปุ๋ยแฉะเกินไปให้กลับกองปุ๋ยโดยเร็ว ถ้ามีน้ำติดฝ่ามือเล็กน้อย แสดงว่า กองปุ๋ยมีความชื้นพอเหมาะ แต่ถ้าไม่มีน้ำติดฝ่ามือเลยให้ทำการรดน้ำทันที ใช้เวลาประมาณ 1–2 เดือน ปุ๋ยก็จะย่อยสลายสามารถนำไปใช้ได้

กระบวนการย่อยสลายปุ๋ยหมัก

กระบวนการหมักปุ๋ย สามารถทำได้ 2 แบบ คือ แบบใช้อากาศ และแบบไม่ใช้อากาศ ดังนี้ (สภาวิศวกร, 2553, สื่อออนไลน์)

1. การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic compost)

จะอาศัยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนช่วยในการย่อยวัตถุอินทรีย์ โดยจะต้องมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงาน ดังนี้

1.1 อากาศมีออกซิเจน

1.2 วัตถุอินทรีย์ต้องมีอัตราส่วนของไนโตรเจน 1 ส่วนต่อคาร์บอน 30–70 ส่วน

1.3 จะต้องมีน้ำอยู่ประมาณ 40–60 เปอร์เซ็นต์

1.4 มีออกซิเจนให้จุลินทรีย์ใช้เพียงพอ ถ้าขาดสิ่งใดสิ่งหนึ่งใน 4 สิ่งนี้ การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ ไม่เกิดขึ้น ผลผลิตที่ได้จากการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ คือ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และวัตถุอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้ว ที่เรียกว่า ฮิวมัส (Humus)

2. การทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic compost)

จะอาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนย่อยวัตถุ จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถอยู่ได้โดยไม่มีออกซิเจน และสามารถย่อยวัตถุอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนไนโตรเจนสูงกว่า และอัตราส่วนคาร์บอนต่ำกว่าการทำปุ๋ยหมักแบบใช้การใช้อากาศ และการย่อยสามารถเกิดขึ้นได้ที่ความชื้นสูงกว่า ผลผลิตของการย่อยสลายวัตถุอินทรีย์ คือ แก๊สมีเทน (Methane gas) และวัตถุอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้ว

2.1 ระยะการหมักปุ๋ยหมัก

การหมักปุ๋ยหมัก ประกอบด้วย 3 ระยะ (นันทวัน ฤทธิ์เดช, 2556) ดังนี้

2.1.1 ระยะเริ่มต้น (Initiate phrase) โดยจะมีจุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถเจริญที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic microorganisms)

2.1.2 ระยะอุณหภูมิสูง (Thermophilic phrase) เป็นระยะหมักที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก สูงมากกว่า 50 องศาเซลเซียส โดยระยะนี้จุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูงที่เรียกว่า Thermophilic microorganisms จะเจริญเติบโต

2.1.3 ระยะสุดท้าย เรียกว่า Cooling หรือ Maturing phrase เป็นระยะที่ปุ๋ยหมักสมบูรณ์ อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักในระยะนี้จะใกล้เคียงกับอุณหภูมิชั้นบรรยากาศ จุลินทรีย์ที่เจริญได้ที่อุณหภูมิปานกลาง ยังสามารถเจริญเติบโตได้ในกองปุ๋ยหมักระยะนี้

2.2 ปัจจัยที่ควบคุมการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

2.2.1 วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยมัก วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีผลต่อการย่อยสาย ได้แก่ ขนาดของวัสดุ ความสด และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นต้น (สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2551)

2.2.2 ขนาดของวัสดุ วัสดุที่มีขนาดเล็ก คลุกเคล้าทำได้ทั่วถึง มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ทำให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ส่วนวัสดุที่มีขนาดใหญ่ เมื่อนำมากองจะมีช่องว่างภายในมาก กองปุ๋ยจะแห้งง่าย ความร้อนในกองปุ๋ยจะหายได้เร็ว ทำให้กองปุ๋ยไม่ร้อนเท่าที่ควร กระบวนการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ช้า (อานุภาพ แก้วกอง, 2541)

2.2.3 ความสดของวัสดุ วัสดุที่ทำจากพืช นิยมใช้เศษพืชแห้ง เนื่องจากพืชสดจะมีปริมาณน้ำมาก การระบายอากาศไม่ดี อาจเน่าเสีย และมีกลิ่นเหม็นได้ หากจะใช้พืชสดควรนำมาตากให้แห้งก่อนเป็นเวลา 2–3 วัน เพื่อให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ (สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2551)

2.2.4 ค่าความเป็นกรด–ด่าง วัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ควรมีค่าความเป็นกรด–ด่างอยู่ในช่วง 5.5–8.0 เนื่องจากถ้าสูงเกินไปอาจทำให้ไนโตรเจนสูญเสียไปในรูปของก๊าซแอมโมเนีย

เนื่องจากกระบวนการ Ammonia volatilization ในช่วงแรกของกระบวนการหมัก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Bertoldi, Vallini and Pera, 1983)

2.2.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นปัจจัยสำคัญในการย่อยสลาย เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้คาร์บอน และไนโตรเจนในการเจริญเติบโต หากวัสดุที่นำมาใช้ในการหมักมีค่าที่สูงมาก จะมีลิกนินเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก และจุลินทรีย์จะมีข้อจำกัดในการเจริญเติบโตเนื่องจากขาดไนโตรเจน การย่อยจึงยาก และใช้เวลานาน แต่หากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ ทำให้เกิดสูญเสียไนโตรเจนในรูปของก๊าซแอมโมเนีย โดยกระบวนการ Ammonification (ภาวนา ลิกขนานนท์, 2549)

2.2.6 ความชื้น ในกระบวนการหมักปุ๋ย จะทำให้กองปุ๋ยมีอุณหภูมิสูง น้ำระเหยออกจากกองปุ๋ยตลอดเวลา จึงต้องคอยเติมน้ำในกองปุ๋ยหมักอยู่เสมอ เนื่องจากความชื้นต่ำกระบวนการย่อยสลายจะเกิดได้ช้า แต่ถ้าความชื้นมากเกินไป การระบายอากาศไม่ดี เกิดสภาพขาดอากาศ ทำให้การย่อยสลายเกิดได้ช้าเช่นกัน (สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2551)

2.2.7 อุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงเกิน 70 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายลดลง โดยอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก โดยวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ ฟางข้าว จะมีอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก อยู่ที่ 45-50 องศาเซลเซียส ส่วนวัสดุที่มีขนาดเล็ก ได้แก่ เศษปอ จะมีอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส (สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2551)

คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551

ปัจจุบัน มีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น และมีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์กันอย่างแพร่หลาย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ดังนั้น กรมวิชาการเกษตร กำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพและปลอดภัย ต้องผ่านการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ โดยจุลินทรีย์เท่านั้น คุณสมบัติตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร ดังตาราง 1 (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ตาราง 1 แสดงรายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลว

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคมและโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH)	5.5–8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (โดยน้ำหนัก)	1. ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ 2. ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ 3. โพแทสเซียม (Total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	ไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
11	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2551

บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก

จุลินทรีย์ที่มีบทบาทในกองปุ๋ยหมัก มีหลายประเภท ประกอบด้วย เชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซิท ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ บทบาทของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย มีดังนี้ (วุฒิพงษ์ ชัยภูมิ, 2556, สื่อออนไลน์)

1. เชื้อรา (Fungi) ในกองปุ๋ยจะพบเชื้อราอยู่เสมอ ชนิดและปริมาณของเชื้อรา จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก ความชื้น และอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก เชื้อราจะเจริญได้ดี ในระยะแรกของการหมักปุ๋ย เนื่องจากในระยะแรกของการหมัก กองปุ๋ยจะมีอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก เพราะถ้ากองปุ๋ยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และมีความชื้นสูง ก็จะเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้น จึงมักพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองปุ๋ยหมัก ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นต่ำกว่าภายในกองปุ๋ยหมัก แต่เมื่อกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบเชื้อรา แต่ถ้าอยู่ในสภาพแห้ง ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เชื้อรายังสามารถเจริญอยู่ได้

เชื้อรามีบทบาทในการย่อยสลายเศษวัสดุในกองปุ๋ยหมัก ให้มีขนาดเล็กลงในระยะแรกของการหมักในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยยังไม่สูงมากนัก จะพบเชื้อราพวก *Geotrichum candidium* และ *Aspergillus Fumigitus* เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 45–55 องศาเซลเซียส จะพบเชื้อราพวก *Cladosporium* sp. *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้ อาจจะพบเชื้อราพวก *Penicilium duponti* แต่ละชนิดของเชื้อราดังกล่าวที่พบนี้อาจแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก

2. แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่พบมากในกองปุ๋ยหมัก ประมาณ 80–90 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในกองปุ๋ยหมัก แบคทีเรียมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลาย และเกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมัก ในระยะแรกของการหมักอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะไม่สูงมากนัก แบคทีเรียที่พบจะเป็นพวก *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Cellulomonas* sp., *Favobacterium* sp., *Micrococcus* sp., *Achromobacter* sp. ระยะต่อมาเมื่อกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงมากขึ้น ในช่วงอุณหภูมิ 50–55 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่เจริญได้ดีส่วนใหญ่จะเป็นพวก *B. subtilis* และ *B. stearothermophilus* ในช่วงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูง ในบางกรณีอาจสูงถึง 65–70 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่เจริญได้ และสามารถทนความร้อนได้สูง ได้แก่ พวก *Thermus* sp. ที่สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และพวก *Bacillus* sp. ที่สามารถสร้างสปอร์ นอกจากนี้ ยังพบแบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ได้เช่นกัน แต่เจริญในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ได้แก่ *Clostridium* sp.

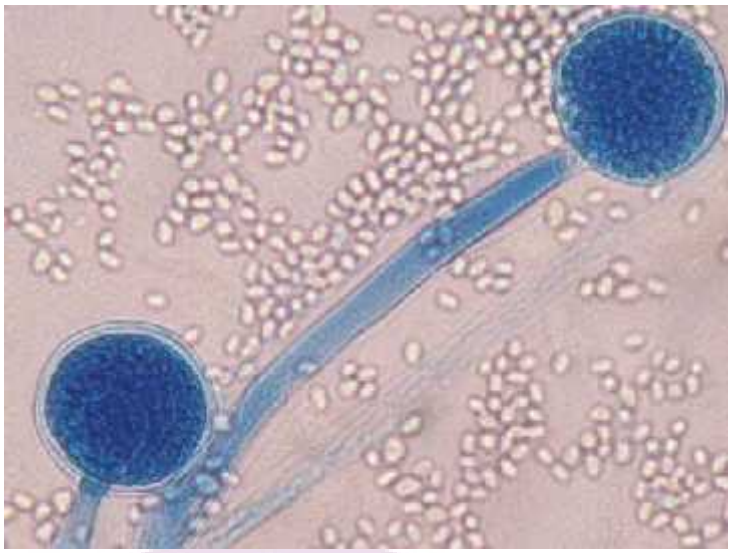
3. แอคติโนมัยซิท (Actinomycetes) จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าเชื้อราและแบคทีเรีย เจริญได้ดีในสภาพที่มีอากาศพอเพียง เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน

ในการเจริญเติบโต สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 65–75 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 75 องศาเซลเซียส มักจะไม่พบ ลักษณะของเชื้อแอคติโนมัยซิทที่พบบนกองปุ๋ยหมักจะเจริญเป็นกลุ่มจุดสีขาวคล้ายผงปูน หลังจากอุณหภูมิสูงขึ้นจนสูงมาก เชื้อแอคติโนมัยซิทมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์สาร เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ไคติน และโปรตีนที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมัก ขณะมีอุณหภูมิสูง โดยเชื้อแอคติโนมัยซิทที่พบในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ *Thermoactinomyces* sp., *Thermomonospora* sp. เป็นพวกที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ออกมาย่อยเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอาจพบ *Streptomyces* sp. และ *Micropolyspora* sp. เช่นกัน

ลักษณะทั่วไปของเชื้อรา *Mucor* sp.

Mucor sp. เป็นพวกที่เส้นใยไม่มีผนังกั้นตามขวาง อยู่ในดิวิชัน Amastigomycota คลาส Zygomycete ราสกุลนี้เส้นใยเติบโตรวดเร็ว มีลักษณะคล้าย *Rhizopus* มาก ต่างกันที่ *Mucor* ไม่มีไรซอยด์และสโตลอน (Stolon) ราพวกชนิดนี้เป็นแบบ Dimorphic มีทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ โดยสปอร์แบบอาศัยเพศ เรียกว่า Zygospore ส่วนการสร้างสปอร์ไม่อาศัยเพศ เรียกว่า สปอร์แรงจิโอสปอร์ (Spoirangiospore) อาจแตกแขนงหรือไม่แตกแขนงที่ปลายสปอร์แรงจิโอฟอร์มีส่วนที่โป่งพองออก เรียกว่า คอลลูเมลลา (Columella) ซึ่งอาจมีรูปกลมหรือทรงกระบอก สปอร์แรงจิโอสปอร์รูปกลมหรือรูปวงรี ผนังเรียบ ไม่มีสี (ภาพ 1) (สิริวรรณ สุนทรศารทูล, 2550, สื่อออนไลน์)

Mucor sp. เป็นเชื้อราที่พบได้ทั่วไปในดิน พืช ปุ๋ยคอก และผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว รวมถึงเป็นเชื้อที่พบการปนเปื้อนบ่อยในอาหาร (Jackson, 2016) *Mucor ellipsoideus* สามารถที่เจริญเติบโต และสร้างสปอร์ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (จารุชา ยี่แสง, จรัญเพ็ชร สุขเขียว และไอรดา ดวงจันทร์, 2558) เชื้อ *Mucor hiemalis* สามารถเจริญได้ดีโดยมี Sucrose และ Lactose รวมถึง Ammonium chloride ที่เชื้อราใช้ในการดำรงชีวิต (Surabhi, Vinod and Ashish, 2014)

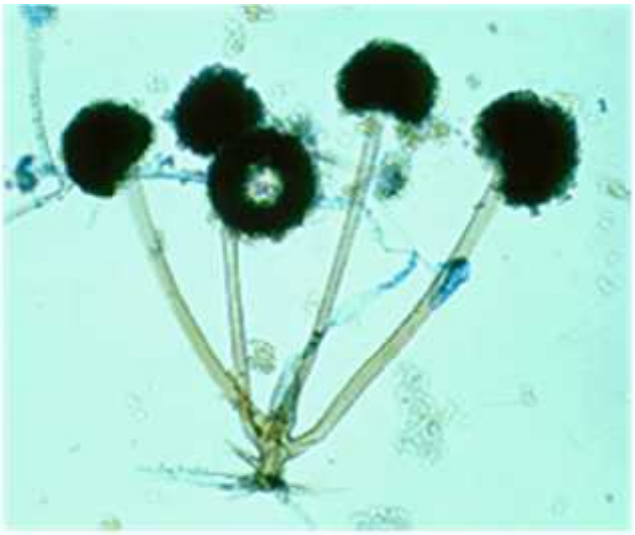


ภาพ 1 แสดงลักษณะสปอร์แรงเจียม และสปอร์แรงจิโอสปอร์ของเชื้อ *Mucor* sp.

ที่มา: Bonifaz, 2012, Online

ลักษณะทั่วไปของเชื้อรา *Rhizopus* sp.

เชื้อรา *Rhizopus* เป็นเชื้อราที่มีเส้นใยแบบไม่มีผนังกั้น โคโลนีฟู เจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า ไรซอยด์ (Rhizoid) ซึ่งจะสร้างขึ้นก็ต่อเมื่อเชื้อราสัมผัสตรงตำแหน่งที่มีพื้นที่ผิวแข็ง เช่น ด้านข้างของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (Petri dish) โดยไรซอยด์จะยึดจับกับอาหารเส้นใยที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างไรซอยด์ 2 กลุ่ม เรียกว่า สโตลอน (Stolon) สปอร์แรงจิโอสปอร์ (Sporangiospores) ยื่นชูออกไปตรงข้อบริเวณไรซอยด์ของ *Rhizopus* จะไม่แตกแขนง ที่ปลายมีคอลูเมลา (Columella) และสปอร์แรงเจียม (Sporangium) รูปทรงกลม ภายในสปอร์แรงเจียมมีสปอร์แรงจิโอสปอร์ (Sporangiospores) รูปกลมหรือรี ผิวเรียบ มักมีสีดำ (ภาพ 2) โดยเชื้อรามีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ต้องการสารอาหารไม่ซับซ้อน กระบวนการเก็บเกี่ยวไม่ยุ่งยาก (Alvarez, et al., 2007*) R. oryzae* สามารถเจริญเติบโตได้จากแหล่งคาร์บอนหลายชนิด โดยเฉพาะแหล่ง Sugars (Karimi, et al., 2005) และเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส แต่สามารถทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 องศาเซลเซียส โดยความเป็นกรด–ด่างที่เชื้อสามารถเติบโตได้ดีที่สุด ระหว่าง pH 4 ถึง 9 (EOL., 2014, Online)



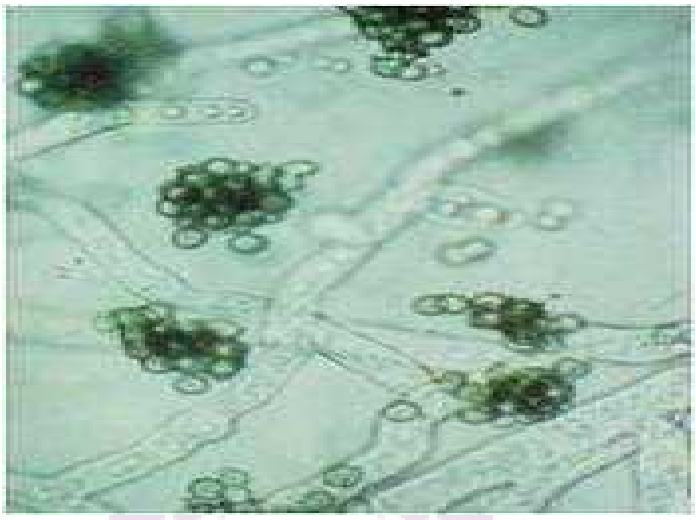
ภาพ 2 แสดงลักษณะ Sporangia ของเชื้อ *Rhizopus* sp.

ที่มา: Barron, 2005, Online

ลักษณะทั่วไปของเชื้อรา *Trichoderma* sp.

เชื้อราไตรโคเดอร์มา เป็นเชื้อราชั้นสูง สามารถเจริญได้ดีในดิน เศษซากพืช ซากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ รวมทั้งจุลินทรีย์ และวัสดุอินทรีย์ตามธรรมชาติ (จิระเดช แจ่มสว่าง, 2545) โดยเชื้อราไตรโคเดอร์มา มีการสร้างเส้นใยเจริญเติบโตเร็ว เริ่มแรกโคโลนีมีผิวหน้าเรียบ ไม่มีสี หรือสีขาว ต่อมาโคโลนีมีลักษณะฟูเหมือนปุยฝ้าย หรือเป็นกระจุก หรืออาจมีทั้งสองแบบในโคโลนีเดียวกัน หรือมีลักษณะอยู่ระหว่างทั้ง 2 แบบ การเกาะกันเป็นกระจุกของโคโลนีมีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของก้านชูสปอร์ (Conidiophore) (ภาพ 3) เมื่อโคโลนีมีอายุมากขึ้นจะมีการสร้าง Conidiophore ขึ้นมาใหม่อีก บริเวณรอบนอกที่สร้างสปอร์ทำให้เห็นการเกิดวงรอบหรือ Zonation ไม่ชัดเจน สำหรับใน Isolate ที่โคโลนีเป็นแบบปุยฝ้าย การสร้าง Zonation สามารถสังเกตได้ในขณะที่เชื้อยังมีอายุน้อยเท่านั้น สีของโคโลนีส่วนใหญ่เกิดมาจากการสร้างสีของสปอร์ (Phialospore) โดยปกติ *T. viride* มีโคโลนีสีเขียวเข้ม (Dark green) บางครั้งเมื่อมีหลาย ๆ ชนิด (Species) ขึ้นอยู่ร่วมกัน อาจจะแสดงสีที่แตกต่างออกไปอย่างชัดเจน ตั้งแต่สีเหลืองไปจนถึงสีเขียวอ่อน และ *T. polysporum* โคโลนีมีสีขาว เนื่องจาก Phialospore ไม่มีสี (นุชนารถ จงเลขา, 2535) เชื้อ *Trichoderma harzianum* ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารป้องกันกำจัดเชื้อรา โดยนำมาใช้ในการรักษาเมล็ดพันธุ์ และป้องกันเชื้อราในดิน เชื้อรา *Trichoderma harzianum* สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และสามารถปรับสภาพฟื้นฟูดินเสื่อมโทรมได้

เนื่องจากสามารถอาศัยร่วมกับรากพืชได้ดี (Harman, 2006) เชื้อรา *Trichoderma harzianum* เป็นชนิดที่เจริญได้ดีที่ 25–30 องศาเซลเซียส ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 5.5–7.5 โดยแหล่งอาหารของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ส่วนใหญ่จะย่อยสลายเซลลูโลสจากซากพืช ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ ที่เกิดจากกลูโคส (Singh, et al., 2014)



ภาพ 3 แสดงลักษณะของคอนิเดียของเชื้อ *Trichoderma* sp.

ที่มา: Bonifaz, 2012, Online

จุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรียวัตถุ

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นคาร์โบไฮเดรท (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ประเภทฮอโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส (Glucose) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่สามารถย่อยได้เช่นเดียวกับเซลลูโลส โดย เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และเพคติน (Pectin) จะรวมตัวประกอบกันเพื่อห่อหุ้มชั้นเซลลูโลส ในผนังเซลล์ของพืช (Arantes and Saddles, 2010)

เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบอินทรีย์ที่พบมากที่สุด คิดเป็นประมาณร้อยละ 45 ของสารอินทรีย์ทั้งหมดในธรรมชาติ ซึ่งจะสร้างขึ้นเมื่อพืชมีการสังเคราะห์แสง และสะสมอยู่ตามผนังเซลล์ ประกอบด้วย กลูโคสประมาณ 2,000–10,000 หน่วยกลูโคส มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว พบเฉพาะในพืชไม่สามารถละลายน้ำได้ (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้, 2555, สื่อออนไลน์)

เชื้อจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส และเชื้อรา สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ ประกอบด้วย เอนไซม์ 3 ชนิด คือ เอนไซม์ 1,4 β–endoglucanase, 1,4 β–exoglucanase และ β–glucosidase การทำงานของเอนไซม์จะทำร่วมกันเป็นลำดับ โดยจะสลายเซลลูโลสเป็นกลูโคส จุลินทรีย์จำพวกเชื้อราสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ ซึ่งได้รับความสนใจในการนำมาใช้ผลิตเอนไซม์ในระดับการค้ามากกว่าจุลินทรีย์อื่น ๆ เนื่องจากสามารถผลิตเอนไซม์ได้ในปริมาณค่อนข้างสูงกว่าจุลินทรีย์อื่น ๆ เอนไซม์ที่เชื้อราผลิตได้ คือ Extracellular enzyme โดยเซลล์จะขับออกมายังนอกเซลล์ จึงสามารถแยกสกัดได้ง่าย และเชื้อราสามารถเจริญเติบโตในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และในครัวเรือนหลายชนิด จึงสามารถใช้วัสดุเหล่านี้เป็นแหล่งอาหารสำหรับการผลิตเอนไซม์ในการหมักแบบแห้ง (Solid state fermentation) ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตเอนไซม์ (Julia, et al., 2016)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์

อัตราการเจริญเติบโต หรือการทวีจำนวนของจุลินทรีย์ในแต่ละชนิด จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม หรือปัจจัยในการเจริญเติบโตหลายประการ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ รังสี สารอาหาร สภาพกรด–เบส เป็นต้น

1. ความชื้น

ความชื้นหรือน้ำ จำเป็นอย่างยิ่งต่อปฏิกิริยาชีวเคมี ทั้งการสังเคราะห์และการทำลายสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ บริเวณที่มีน้ำปนอยู่มากจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ดีกว่ามีน้ำปนอยู่น้อย จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการน้ำแตกต่างกัน แบคทีเรียส่วนใหญ่ต้องการน้ำในการเจริญมากกว่ายีสต์ และยีสต์ก็ต้องการน้ำในการเจริญมากกว่าเชื้อรา ซึ่งเชื้อราต้องการน้ำค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่น้ำในอาหารจะอยู่ในสภาพของสารละลาย ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายหรือปริมาณของตัวถูกละลาย จะมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยสารละลายที่เข้มข้นมากจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้มากกว่าสารละลายเจือจาง ชนิดของตัวถูกละลาย มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย (พรอำไพ แย้มมณฑา, 2560, สื่อออนไลน์)

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิ มีความสำคัญมากต่อการเจริญ และการปรับตัวของจุลินทรีย์ ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของจุลินทรีย์ สำหรับจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในคน สัตว์ และพืช เช่น *Salmonella typhosa*, *Streptococcus pneumonia*, *E. coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Shigella dysenteriae*, *Staphylococcus aureus* จะเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25–40 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์อื่นบางชนิด เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส หรือ 0–25 องศาเซลเซียส

บางชนิดเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 40–55 องศาเซลเซียส ถ้าหากสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม จะทำให้จุลินทรีย์เจริญช้าลง หรืออาจจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และถ้าไม่เหมาะสมมากจุลินทรีย์อาจตายได้ อุณหภูมิส่วนใหญ่ที่มีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ จะอยู่ระหว่าง 20–35 องศาเซลเซียส (ธีระ วีณิน, 2557, สื่อออนไลน์)

3. รังสี

รังสี เป็นพลังงานที่สามารถถ่ายทอดผ่านจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และมีอำนาจทะลุผ่านสิ่งต่าง ๆ ได้ แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของรังสี และความเข้มของรังสี จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ได้รับผลกระทบ หรือถูกทำลายได้ด้วยรังสี คือ แบคทีเรีย เช่น รังสีเอกซ์ (X–ray) รังสีแกมมา (Gamma ray) เมื่อฉายรังสีกลุ่มนี้ทะลุผ่านเซลล์ จะทำให้สารต่าง ๆ ที่อยู่ในสภาพไอออน (Ion) ในเซลล์ของจุลินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลง และเซลล์ถูกทำลาย ในงานอุตสาหกรรมอาหาร ที่ส่งออกไปขายต่างประเทศบางชนิด นิยมใช้รังสีแกมมาในการทำลายจุลินทรีย์ รังสีอีกชนิดหนึ่งที่มีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ คือ รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) เป็นรังสีที่พบได้ในแสงแดด รังสีนี้ความถี่สูงกว่าแสงสีม่วงน้ำเงิน สามารถทำลายแบคทีเรียได้ จึงมีการประดิษฐ์หลอดรังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อใช้ทำลายแบคทีเรีย ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในวงการแพทย์ใช้ทำลายแบคทีเรียในห้องผ่าตัด และอุปกรณ์แพทย์ (พรอำไพ แย้มมณฑา, 2560, สื่อออนไลน์)

4. สารอาหาร

สารอาหาร จำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญและการเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของจุลินทรีย์ แต่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในอาหารเหล่านั้น ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) ฟอสฟอรัส (P) และกรดอะมิโนกับเบสกลุ่มพิวรีน (Purine) และไพริมิดีน (Pyrimidine) ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างเซลล์ใหม่ ซ่อมแซมเซลล์ที่สึกหรอ สังเคราะห์สารพันธุกรรม ส่วนที่เหลือเป็นสารอาหารอื่น ๆ อีกเล็กน้อย (พรอำไพ แย้มมณฑา, 2560, สื่อออนไลน์)

แหล่งอาหารของเชื้อจุลินทรีย์มีหลายชนิด เช่น กลูโคส (Glucose) เป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon source) และพลังงานที่ดีสำหรับเชื้อจุลินทรีย์ทุกชนิด ในน้ำตาลชนิดอื่น ๆ เช่น ซูโครส (Sucrose) และมอลโทส (Maltose) รวมทั้งสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์อื่น ๆ เช่น สตาร์ท (Starch) และเซลลูโลส (Cellulose) นั้น มีเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนไนโตรเจนอนินทรีย์ (Inorganic nitrogen) ซึ่งจะอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียม (Ammonium salt) หรือไนเตรท (Nitrate) เชื้อจุลินทรีย์บางชนิดสามารถใช้ได้ แต่บางชนิดต้องการไนโตรเจนอินทรีย์ (Organic nitrogen) เช่น เพปโทน (Peptone) แร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต่อการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (อโณทัย คมเศวต, 2535ก)

แหล่งคาร์บอน เป็นแหล่งที่จุลินทรีย์นำเข้าสู่เซลล์ จะถูกนำไปใช้ใน 2 กระบวนการ ต่อการดำรงชีวิต ได้แก่ นำไปสร้างเป็นสารประกอบต่าง ๆ เพื่อการเจริญเติบโต เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลิอิก เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของจุลินทรีย์ และถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน มีสารอินทรีย์หลายชนิดที่จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานของเซลล์ สารอินทรีย์ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้มีทั้งที่เป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก จนถึงสารประกอบโมเลกุลใหญ่ แหล่งคาร์บอนที่สำคัญ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เป็นสารประกอบที่มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นส่วนประกอบ หลัก ได้แก่ น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เป็นต้น (สมจิตร อยู่เป็นสุข, 2552)

แหล่งไนโตเจน จุลินทรีย์ต้องการแหล่งไนโตรเจนจากสารอาหาร เพื่อใช้ในการสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ ได้แก่ กรดอะมิโน ที่เป็นส่วนสำคัญของโปรตีนที่จำเป็นในกิจกรรมของเซลล์ ไนโตรเจนยังเป็นองค์ประกอบของ พิวรีน (Purine), ไพริมิดีน (Pyrimidine) วิตามินหลายชนิด และกรดนิวคลิอิก (Nucleic acid) เป็นสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ ไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบของไคติน ซึ่งเป็นองค์ประกอบผนังเซลล์ของราหลายชนิด สารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ควรมีความสมดุลของธาตุอาหาร ที่จำเป็นต่อการเจริญโดยทั่วไป สัดส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ อยู่ในช่วง 10:1 เชื้อจุลินทรีย์จะได้รับสารอาหารที่เป็นแหล่งไนโตรเจนได้หลายรูปแบบ ได้แก่ ไนเตรท (NO^3–) ไนไตร์ท (NO^2–) แอมโมเนียม (NH^4+) กรดอะมิโน หรือ เปปไทด์ (Peptide) และโปรตีน (สมจิตร อยู่เป็นสุข, 2552)

5. สภาพกรด–เบส หรือค่าพีเอช (pH)

สภาพกรด–เบส ซึ่งระบุได้ด้วยค่า pH ในอาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน และมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ราส่วนมากจะเจริญได้ในช่วงที่มีค่า pH กว้างกว่ายีสต์และแบคทีเรีย ราหลายชนิดเจริญได้ดีในสภาพที่มีค่า pH ค่อนข้างต่ำหรือเป็นกรดสูง ซึ่งยีสต์และแบคทีเรียจะไม่เจริญ ยีสต์ที่นิยมใช้ในการหมักส่วนมากเจริญได้ดีในที่ที่มีค่า pH 4–4.5 แต่จะไม่เจริญในสภาพที่เป็นเบส หรือค่า pH สูง และแบคทีเรียส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีในสภาพที่ใกล้เป็นกลาง หรือเป็นกลาง แต่แบคทีเรียที่สร้างกรดจะเจริญได้ดีในสภาพที่เป็นกรด ส่วนแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์สำหรับย่อยโปรตีนได้ จะเจริญได้ดีในช่วงที่มีค่า pH สูง หรือมีสภาพเป็นเบส (พรอำไพ แย้มมณฑา, 2560, สื่อออนไลน์)

สภาพกรด–เบส ในอาหาร ยังมีผลต่อการอยู่รอดของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา การถนอมอาหารโดยใช้ความร้อน การทำแห้ง ฯลฯ ถ้าค่า pH ตอนเริ่มเก็บรักษาหรือถนอมอาหาร เหมาะสมต่อการเจริญจุลินทรีย์ชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดจะแข่งขันกันเพื่อให้อยู่รอด อัตราการเจริญของจุลินทรีย์จะช้าลง หรือถ้ามีค่า pH ไม่เหมาะสมต่อการเจริญ

จุลินทรีย์บางชนิดอาจเจริญได้ แล้วอาจทำให้ค่า pH ในอาหารเปลี่ยนไป และเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์อื่น ๆ ได้ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับสารอาหาร และปัจจัยอื่น ๆ สภาพแวดล้อม โดยเชื้อจุลินทรีย์สามารถเติบโตในช่วงความเป็นกรด–ด่าง ที่มากกว่าแบคทีเรีย โดยเชื้อจุลินทรีย์จะมีความสามารถในการทนความเป็นกรด–ด่าง ได้ในช่วงระหว่าง pH 2 ถึง 9 (อโณทัย คมเศวต, 2535ข)

สถานการณ์ข้าว

การผลิตข้าวในประเทศไทย เป็นส่วนสำคัญของเศรษฐกิจ ซึ่งมีแรงงานทำงานอยู่เป็นจำนวนมาก (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2559, สื่อออนไลน์) ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตข้าวเป็นอันดับที่ 6 ของโลก (ประมาณ 19 ล้านตัน/ปี) แต่เป็นอันดับ 1 ในการส่งออกข้าว (กรมการค้าต่างประเทศ, 2559) การส่งออกในปี 2558 ประเทศไทยมีปริมาณการค้ารวม 42.186 ล้านตัน ซึ่งประเทศที่มีการประเมินว่า มีปริมาณการนำเข้าข้าวสารสูงเกินกว่า 1 ล้านตัน และที่มีการนำเข้าสูงสุด คือ จีน รองลงไป ได้แก่ ไนจีเรีย ฟิลิปปินส์ อิหร่าน สหภาพยุโรป ซาอุดิอาระเบีย อินโดนีเซีย อิรัก เซเนกัล แอฟริกาใต้ และมาเลเซีย ตามลำดับ (กรมการข้าว, 2559)

ข้าวเจ้าพิษณุโลก 2 (Phitsanulok 2)

ข้าวเจ้าพิษณุโลก 2 (Phitsanulok 2) เป็นข้าวนาสวนชนิดข้าวเจ้า ไม่ไวแสง มีอายุการเก็บเกี่ยว อยู่ที่ 119–121 วัน ในฤดูนาปรัง โดยมีลักษณะพันธุ์ คือ ความสูงต้นประมาณ 114 เซนติเมตร ทรงกอตั้ง โดยใบมีสีเขียวเข้ม ใบธงตั้ง ความแน่นรวงปานกลาง กิ่งเล็กหรือระแง้ค่อนข้างถี่ คอรวงสั้น ฟางแข็ง ใบแก่ช้า เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ซึ่งระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ โดยมีขนาดเมล็ดข้าวเปลือก ยาว 10.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.5 มิลลิเมตร หนา 1.9 มิลลิเมตร ปริมาณอะไมโลส 28.6 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีกลิ่นหอม ส่วนผลผลิตจะอยู่ประมาณ 807 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวเจ้าพิษณุโลก 2 มีลักษณะโดดเด่น คือ ผลผลิตสูง ซึ่งมีเสถียรภาพในการให้ผลผลิต คุณภาพการสีดี ท้องไข่น้อย ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว เหมาะสำหรับการปลูกทุกภาคในเขตชลประทาน (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2551, สื่อออนไลน์)

การเพิ่มผลผลิตในนาข้าว (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559, สื่อออนไลน์)

ปุ๋ย เป็นสิ่งสำคัญสำหรับต้นข้าว เพื่อใช้การเจริญเติบโต โดยเฉพาะดินนาที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีไม่เหมาะสม หรือเหมาะสมน้อยสำหรับการเพาะปลูกข้าว ส่งผลให้ข้าว

ไม่สามารถเจริญเติบโต และให้ผลผลิตได้ตามปกติ จึงจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยลงในดิน เพื่อต้นข้าวจะได้มีการแตกกอมาก และให้ผลผลิตสูง ปุ๋ยควรใส่ทั้งในแปลงกล้า และแปลงปักดำ ตลอดจนพื้นที่นาที่ปลูกแบบนาหว่าน ธาตุอาหารที่ต้นข้าวต้องการมากในปุ๋ย ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพราะฉะนั้น ปุ๋ยในนาข้าวต้องมีธาตุเหล่านี้จำนวนมาก การใส่ปุ๋ยควรแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ก่อนตกกล้า ก่อนปักดำ หรือเรียกว่า ปุ๋ยรองพื้น และก่อนออกรวง เรียกว่า ปุ๋ยแต่งหน้า ปุ๋ยรองพื้นช่วยให้ต้นข้าวเจริญเติบโตเร็ว และแตกกอมาก ปุ๋ยแต่งหน้าช่วยให้ต้นข้าวเจริญเติบโตเร็ว และแตกกอมาก ปุ๋ยแต่งหน้าช่วยให้ต้นข้าวมีรวงโต เมล็ดมาก น้ำหนักเมล็ดดี การใส่ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว ต้องคำนึงถึงลักษณะของดิน ชนิดของปุ๋ยที่ใส่ตรงตามความต้องการของต้นข้าว และขึ้นอยู่กับปริมาณหรืออัตราปุ๋ยที่ใช้สำหรับข้าวแต่ละพันธุ์ ในกรณีที่ใส่ปุ๋ยมากเกินไปจนต้นข้าวเกิดใบมีขนาดใหญ่กว่าปกติ จำนวนใบมาก ต้นสูง ลำต้นอ่อน และอ่อนแอต่อการทำลายของโรค แมลง หรือใส่ปุ๋ยน้อยเกินไป ไม่เพียงพอกับความต้องการของข้าว ทำให้ได้ผลผลิตต่ำ หรือต้นข้าวแสดงอาการขาดธาตุอาหาร

1. การใช้ปุ๋ยเคมี ควรใส่ปุ๋ยเคมี อย่างน้อย 2 ครั้ง ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 16–20–0, 18–22–0, และ 20–22–0 สำหรับใส่ในนาดินเหนียว ควรใช้ปุ๋ยสูตร 16–16–8, 18–12–6, และ 15–15–15 การใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว ต้องใส่ให้ถูกชนิด อัตรา และเวลา ส่งผลให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้น โดยปฏิบัติ ดังนี้

ครั้งที่ 1 เป็นการใส่รองพื้นใส่ก่อนการปักดำ 1 วัน แล้วคราดกลบ หรือ 10 วัน หลังปักดำ ถ้าเป็นนาหว่าน ให้ใส่หลังจากข้าวงอก 20–30 วัน โดยใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ทั้งหมด พร้อมกับปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งหนึ่งของทั้งหมดที่กำหนดให้ใช้ อัตราตามลักษณะเนื้อดิน และพันธุ์ข้าว คือ ดินเหนียว ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16–20–0 ในอัตรา 20–25 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง (ข้าวต้นสูง ปลูกได้เฉพาะฤดูฝน) และอัตรา 25–35 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข้าวต้นเตี้ย ปลูกได้ตลอดปี) ดินทราย หรือดินร่วน ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16–16–8 หรือ 15–5–15 ในอัตรา 20–25 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง (ข้าวต้นสูง ปลูกได้เฉพาะฤดูฝน) และอัตรา 25–35 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข้าวต้นเตี้ย ปลูกได้ตลอดปี)

ครั้งที่ 2 เป็นการใส่ปุ๋ยแต่งหน้า ใส่ในระยะที่ต้นข้าวเริ่มสร้างรวงอ่อน หรือกำเนิดช่อดอก หรือประมาณ 25–30 วัน ก่อนข้าวออกดอก โดยใช้ปุ๋ยไนโตรเจนส่วนที่เหลืออีกครึ่งหนึ่ง ถ้าข้าวแสดงอาการใบเหลืองในระยะข้าวแตกกอ ให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มอีกครั้งหนึ่ง อัตราตามลักษณะพันธุ์ข้าว คือ ข้าวไวต่อช่วงแสง ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46–0–0) อัตรา 5–10 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21–0–0) ในอัตรา 10–20 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46–0–0) อัตรา 10–15 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21–0–0) ในอัตรา 20–30 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับอัตราปุ๋ยเคมีที่แนะนำนี้ เป็นอัตราเพื่อให้ได้ผลผลิตข้าวปานกลาง (ตัวเลขหน้า)

และอัตราที่ให้ผลผลิตสูง (ตัวเลขหลัง) เพื่อให้เกษตรกรเลือกใช้ตามความเหมาะสมต่อสภาพทางเศรษฐกิจของเกษตรกรเอง รวมทั้งราคาข้าว และราคาปุ๋ยเคมีในขณะนั้น ๆ

2. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้อินทรียวัตถุในดินซึ่งเป็นตัวบงชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินค่อย ๆ ลดลง จึงควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์ หรืออินทรียวัตถุด้วย เพื่อรักษาหรือเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีให้ดีขึ้น อินทรียวัตถุในดินมีประโยชน์หลายประการ แต่ที่สำคัญ คือ อินทรียวัตถุ เมื่อสลายตัวจะปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืช และเป็นตัวจับยึดธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปในดิน ไม่ให้สูญเสียรวดเร็วเกินไป แต่เนื่องจากอินทรียวัตถุจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อปลูกข้าวไปนาน ๆ ดังนั้น ควรใส่อินทรียวัตถุเพิ่มเติมลงในดิน ซึ่งทำได้โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่จะใส่ลงไปในดินนา ควรเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น มีราคาถูก การขนย้ายทำได้ง่าย และที่สำคัญปุ๋ยอินทรีย์ชนิดนั้น ควรจะมีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวได้สูง หรือมีธาตุอาหารอยู่มาก ใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้เลย เช่น ปุ๋ยมูลไก่ (เนื้อ) ใส่แล้วไถกลบระยะเตรียมดิน ก่อนปลูกข้าว 15 วัน ใช้ในอัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ โสนอัฟริกันปลูกก่อนปลูกข้าว ใช้อัตรา 7–10 กิโลกรัมต่อไร่ ไถกลบเมื่ออายุได้ 30–45 วัน และควรไถกลบก่อนปลูกข้าว 15 วัน

ในกรณีที่ไม่สามารถหาปุ๋ยอินทรีย์มาใส่ได้ อย่างน้อยที่สุดที่เกษตรกรควรปฏิบัติเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้ คือ ให้ไถกลบตอซังและฟางข้าว โดยใช้น้ำขังอยู่ในนาแช่ฟางข้าวไว้ ประมาณ 1 สัปดาห์ ฟางจะนุ่มและไถกลบได้ง่าย ควรมีการกำจัดวัชพืชก่อนการใส่ปุ๋ย โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยรองพื้น (ใส่ครั้งแรก) และการใส่ปุ๋ยทุกครั้งจะต้องมีน้ำในแปลงนา อย่างน้อย 3–5 เซนติเมตร

ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับใช้ในการปลูกข้าว

ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ซากพืช หรือสัตว์ที่ไถกลบลงดิน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553, สื่อออนไลน์) หน้าที่หลักของปุ๋ยอินทรีย์ คือ การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การทำให้ดินโปร่งร่วนซุย ให้ธาตุอาหารพืชค่อนข้างครบถ้วน และสมดุลดีทั้งธาตุอาหารหลักและจุลธาตุ หรือธาตุอาหารเสริม แต่ส่วนใหญ่จะมีธาตุอาหารหลักอยู่ในปริมาณต่ำ เกษตรกรจำเป็นต้องใช้ในประมาณค่อนข้างสูงมาก เมื่อใช้แต่ปุ๋ยอินทรีย์เพียงชนิดเดียว ประโยชน์อีกประการของปุ๋ยอินทรีย์ คือ ทำให้ดินมีอินทรียวัตถุเพิ่มมากขึ้น (มงคล ต๊ะอุ่น และคณะ, 2551)

ก่อนการไถดะ ควรใส่วัสดุอินทรีย์เพื่อบำรุงดิน เช่น มูลสัตว์ ปุ๋ยหมัก เป็นต้น อัตราที่แนะนำ คือ 600 กิโลกรัม น้ำหนักแห้งต่อไร่ หรือใช้เศษใบไม้ในอัตรา ประมาณ 250 กิโลกรัม น้ำหนักแห้งต่อไร่ โดยใส่ในแปลงนา เมื่อไถดะก็จะเป็นการไถกลบวัสดุอินทรีย์ไปด้วย (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2551, สื่อออนไลน์)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พนิดา ปรีเปรมโมทย์, พิกุล เกตุชาญวิทย์ และดวงใจ วัยเจริญ (2556) ทำการศึกษาปริมาณของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร และการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์แต่ละฤดูกาล ในพื้นที่ป่าไม้ภาคใต้ของประเทศไทย โดยศึกษาความเป็นกรดเป็นด่าง ความชื้น และอุณหภูมิของดิน แยกเชื้อ และวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตรกลุ่มต่าง ๆ ในดิน พบว่า ดินมีค่า pH 3.85–7.22 ความชื้น 6.56–40.77 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิ 24.00–30.94 องศาเซลเซียส มีปริมาณราย่อยเซลลูโลส แบคทีเรียย่อยเซลลูโลส ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ละลายอนินทรีย์ฟอสเฟต แบคทีเรียละลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟต แบคทีเรียย่อยโปรตีน และแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ เท่ากับ $1.88x10^4$–$5.22x10^6$, $1.11x10^5$–$3.81x10^8$, 0–$2.67x10^4$, $8.17x10^3$–$9.00x10^6$, $7.58x10^2$–$1.74x10^8$ และ 0–$5.97x10^3$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้งตามลำดับ และพบแบคทีเรียสามารถย่อยเซลลูโลส มีปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่น ๆ อยู่ในช่วง 61–85 เปอร์เซ็นต์ โดยในฤดูฝนมีปริมาณมากกว่าในฤดูร้อน

จรรตกร รอดอยู่ และสมบัติ ชิณะวงศ์ (2558) ได้คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลส จากป่าธรรมชาติและป่าไผ่ พบเชื้อรา 3 ไอโซเลต แอคติโนไมซีต 1 ไอโซเลต และแบคทีเรีย 4 ไอโซเลต จึงได้ศึกษาอัตราการย่อยสลายทะลายปาล์มเปล่า ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยวัดอัตราคาร์บอนกับไนโตรเจน มีค่า 30.7 และ 31.0 จากเชื้อรา และแบคทีเรีย ส่วนในระดับความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต จะอยู่ที่ 7.0–8.5 และศึกษาจำนวนจุลินทรีย์สูงสุด ที่ระยะการเพาะ 35–49 วัน ผลการทดสอบเชื้อชนิดผสม จำนวน 3 สูตร พบว่าสูตรที่ 3 มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายทะลายปาล์มเปล่าสูงสุด จากนั้น นำมาทดลองทำปุ๋ยหมักต่าง ๆ 6 ชุดการ แบบกลับกองเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ปุ๋ยหมักชุดที่ 6 มีไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด คือ 8.36 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 0.86 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมทั้งหมด พบมากที่สุดในปุ๋ยหมักชุดที่ 6 คือ 1.34 เปอร์เซ็นต์ โดยปุ๋ยหมักชุดที่ 6 มีโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้สูงมาก ทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด เท่ากับ 5.36 µS/cm

ยงยุทธ์ ศรีศุภภักดี และจิรศักดิ์ คงเกียรติขจร (2557) ได้ทำการแยกและคัดเลือกเชื้อราที่แยกได้จากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ เศษพืช ท่อนไม้ ดิน และอาหารหมักดอง ที่สามารถผลิตเซลลูเลสเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล พบว่า มี 19 สายพันธุ์ ที่สามารถเจริญ และผลิตเซลลูเลสในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน หลังจากนี้ได้ทำการเพาะเลี้ยงในที่จำกัดออกซิเจน โดยใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน สำหรับการตรวจหาความสามารถในการผลิตเอทานอล พบว่า มี 8 สายพันธุ์ที่สามารถผลิตเอทานอลได้ โดยเฉพาะสายพันธุ์ *Aspergillus oryzae*, *Rhizopus microsporus* และ *Flavodon flavus* สามารถผลิตเอทานอลในปริมาณสูงคิดเป็น ร้อยละ 62.25, 87.10 และ 75.41 ทางทฤษฎี ทั้งสามสายพันธุ์ จึงเป็นสายพันธุ์ที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลส และเอทานอลได้

พิมพ์ชนา วงศ์พิศาล และคณะ (2559) จากการแยกเชื้อราในซากทะลายปาล์ม พบเชื้อรา จำนวน 6 สปีชีส์ (19.35 เปอร์เซ็นต์) ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไซแลนเนส ในระดับสูง บนอาหาร xylanolysis basal medium (XBM) ได้แก่ เชื้อรา *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Penicillum sp.*, *P. funiculosum*, *P. janthinellum* และ *Trichoderma harzianum*

รัชชนก ปิ่วท่าไม้, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล และรัติยา พงศ์พิสุทธา (2556) ทำการศึกษาแหล่งคาร์บอน และไนโตรเจน ที่กระตุ้นให้เชื้อราสร้างสปอร์ โดยเชื้อรา *Chaetomium globosum* มีการใช้ Fructose และ Potassium nitrate พบว่า มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และเชื้อ *Beauveria bassiana* โดยใช้สูตร Potato fructose agar ที่ผสม Potassium nitrate พบว่า เชื้อเจริญเพิ่มขึ้น และพบการสร้างสปอร์ที่มากขึ้นเช่นกัน พบเชื้อราที่อยู่ในกลุ่ม Mucoraceous ที่สามารถย่อยสลายแป้งได้ดี ได้แก่ *Rhizopus* sp., *Mucor* sp., *M. rouxii*, *Amylomyces rouxii* ส่วนราอื่น ๆ ที่สร้าง เช่น *Penicillium* sp.

Reetha, et al. (2014) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ และพีเอช ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ เช่น 25, 30, 35 และ 45 องศาเซลเซียส และศึกษาความเป็นกรด–ด่าง ที่ระดับค่า pH 5.0, 6.0, 7.0 และ 7.5 บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA พบว่า เชื้อราสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเจริญเติบโตช้าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมในการเจริญเติบโต คือ 45 องศาเซลเซียส และพบว่า ช่วงของค่า pH ที่ 7.0–7.5 มีการเจริญเติบโตได้ดี แต่ที่ช่วงของค่า pH 5.0 มีการเจริญเติบโตของเชื้อราค่อนข้างต่ำ

อโณทัย คมเศวต (2535ก) แหล่งอาหารของเชื้อจุลินทรีย์มีหลายชนิด เช่น กลูโคส (Glucose) เป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon source) และพลังงานที่ดีสำหรับเชื้อจุลินทรีย์ทุกชนิด ในน้ำตาลชนิดอื่น ๆ เช่น ซูโครส (Sucrose) และมอลโทส (Maltose) รวมทั้งสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์อื่น ๆ เช่น สตาร์ท (Starch) และเซลลูโลส (Cellulose) นั้น มีเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนไนโตรเจนอนินทรีย์ (Inorganic nitrogen) จะอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียม (Ammonium salt) หรือไนเตรท (Nitrate) เชื้อจุลินทรีย์บางชนิดสามารถใช้ได้ แต่บางชนิดต้องการไนโตรเจนอินทรีย์ (Organic nitrogen) เช่น เพปโทน (Peptone) แร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต่อการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

เฉลิมชัย แพะคำ และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติและธาตุอาหารหลักของพืชจากปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายโดยเชื้อรา *Trichoderma* sp. โดยทำการหมัก และสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวา (10, 20, 30, 40, 50 และ 60 วัน) พบว่า ความเป็นกรด–ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ธาตุโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ 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 ปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *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

รุ่งนภา ฟองดาวิรัตน์ (2559, สื่อออนไลน์) ได้ทำการศึกษาเชื้อรา *Rhizopus* spp. ในการสังเคราะห์เอนไซม์เพกทิเนส (Pectinase) และใช้ย่อยเพกทิน (Pectin) รวมถึงยังใช้ในการสังเคราะห์เอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ซึ่งสามารถย่อยแป้งให้เป็นเดกซ์ทริน (Dextrin) และน้ำตาลได้ โดยใช้เอนไซม์นี้เปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล

ดวงเดือน ภู่เจริญ (2543) ได้ทำการศึกษาเชื้อ *Rhizopus oryzae* ในการผลิตกรดแลกติก การหาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดแลกติก โดยมีแหล่งคาร์บอนที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง (กรัมต่อลิตร) แป้งมันสำปะหลัง 120 แอมโมเนียมซัลเฟต 3.0 โพแทสเซียม–ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.0 แมกนีเซียมซัลเฟตเฮบตะไอเดรต 0.25 ซิงค์ซัลเฟตเฮบตะไฮเดรต 0.04 และพีเอช เท่ากับ 6 ปริมาณสปอร์เริ่มต้น $2x10^5$ สปอร์ต่อมิลลิลิตร ในระดับฟลาสก์แบบเขย่า เกิดกรดแลกติกสูงสุด 68.32 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 5 ของการเลี้ยงเชื้อ เมื่อความเร็ว 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าผลได้ของกรดแลกติก (Y(,P/S)) เท่ากับ 0.59 กรัมต่อกรัมสับสเทรต อัตราการเกิดกรดแลกติก (Productivity) เท่ากับ 0.57 กรัมต่อลิตรชั่วโมง และค่าอัตราการเจริญจำเพาะ (+,m) เท่ากับ 0.038 ต่อชั่วโมง ระดับถังหมักขนาด 5 ลิตร ให้ปริมาณกรดแลกติกสูงสุด 54.62 กรัมต่อลิตร

ชวนพิศ เรืองจรัส (2551) พบสายพันธุ์จุลินทรีย์ (แบคทีเรีย รา และแอกติโนมัยซีต) สร้างเอนไซม์ย่อยโปรตีน ไขมัน และเซลลูโลสที่โดดเด่น และมีความสามารถสูง จากกระบวนการหมักปุ๋ยของเศษทะลายปาล์มน้ำมัน โดยพบแบคทีเรีย ดังนี้ *Chryseobacterium* sp., *Stenotrophomonas maltophilia*, *Stenotrophomonas* sp., *Staphylococccus sciuri*, *Xznthomonas oryzae*, *Arthrobacter keyseri*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas aeruginosa, Stenotrophomonas* sp., *Rheinheimera* sp., *Acinetobacter calcoaceticus*, *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas putida*, *Aeromonas punctate*, *Paeudomonas* sp. และ *Enterobacter pyrinus* ส่วนแอกติโนมัยซีตพบ 2 สายพันธุ์ ประกอบด้วย *Streptomyces* sp. และ *Streptomyces thermocoprophilus* ที่สามารถย่อยโปรตีน ไขมัน และเซลลูโลสได้ และยังพบเชื้อรา 7 สายพันธุ์ ประกอบด้วย *Geotrichum* sp., *Rhizopus* sp., *Cunninghamella* sp., *Mucor* sp., *Aspergillus* sp. และ *Aspergillus* sp. ชี้ให้เห็นว่าจุลินทรีย์ข้างต้นนี้ มีความสำคัญต่อการหมักปุ๋ยจากทะลายปาล์มน้ำมัน

Sannigrahi (2009) ศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพของวัชพืชน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ ผักตบชวา จอก และธูปฤาษี ในการทำปุ๋ยหมัก ผลการศึกษา พบว่า ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา มีค่าปริมาณธาตุอาหารสูงสุด เมื่อเทียบกับปุ๋ยหมักวัชพืชน้ำชนิดอื่น ๆ โดยมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม 1.36, 0.75 และ 1.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ปุ๋ยหมักจอก มีปริมาณ 0.71, 0.38 และ 0.94 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปุ๋ยธูปฤาษีมี 0.78, 0.41 และ 0.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Bates and Hentges (1976) รายงานว่า หากนำผักตบชวาผสมกับดิน มูลโค และเนื้อไม้ ซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหาร คือ Total N 2.05 เปอร์เซ็นต์, P (as P_2O_5) 1.1 เปอร์เซ็นต์ K (as K_2O) 2.5 เปอร์เซ็นต์ และ Ca (as CaO) 3.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Inciong (1996) ที่ใช้วิธีการเดียวกันนี้ในการทำปุ๋ยหมัก และพบว่า มีปริมาณธาตุอาหาร คือ มี Total N 2.00 เปอร์เซ็นต์, P (as P_2O_5) 1.16 เปอร์เซ็นต์, K (as K_2O) 2.5 เปอร์เซ็นต์

ภัทรา วงษ์พันธ์กมล, ยุทธนา มานะกิจ และอาณัฐ ฮาวกันทะ (2552) พบว่า กองปุ๋ยหมักที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวปรับความชื้น จะให้ผลดังนี้ อุณหภูมิ มีค่า 29.67–56 องศาเซลเซียส ความชื้น มีค่า 50–60 เปอร์เซ็นต์ ความนำไฟฟ้า มีค่า 5.21 เดซิซีเมน/เมตร อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่า 15.18 ความเป็นกรดด่าง มีค่า 7.99 และค่าธาตุอาหารหลักไนโตรเจนต่อธาตุฟอสฟอรัสต่อธาตุโพแทสเซียม มีค่า 2.54:0.28:1.43 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

สุภาพร บัวชุม และประวิทย์ โตวัฒนะ (2558) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผักตบชวาและผักกระเฉด ในการทำปุ๋ยหมักและวัสดุปลูก พบว่า ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตด้านความสูง จำนวนใบ และความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลางใบ ของสิ่งทดลองต่าง ๆ เมื่ออายุ 40 วัน พบว่า กรรมวิธีที่ใช้วัชพืชน้ำ (ผักตบชวา 70 เปอร์เซ็นต์ + ผักกระเฉด 30 เปอร์เซ็นต์) + ขี้เถ้าแกลบ ในอัตราส่วน 15 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด (ความสูง 32.51 เซนติเมตร จำนวนใบ 12.69 ใบ ความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลางใบ 9.16 เซนติเมตร) ทั้งนี้ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ของวัชพืชน้ำ (ผักตบชวา 70 เปอร์เซ็นต์ + ผักกระเฉด 30 เปอร์เซ็นต์) + ขี้เถ้าแกลบ ในอัตราส่วน 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีทั้งธาตุอาหารหลักและรองที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ธเนศ แซวหลี และคณะ (2559) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพเชื้อรา *Trichoderma* sp. ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอราบิก้า ซึ่งมีกล้าอายุ 6 เดือน พบว่า การใส่รา *Trichoderma* sp. มาร่วมกับวัสดุปลูกต้นกล้ากาแฟ มีปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เพิ่มขึ้นจาก 2.92, 0.18, 1.76, 0.30, 2.94, 0.34 และ 0.11 เพิ่มขึ้นเป็น 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 ผลดังกล่าวส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความสูง จำนวนใบทั้งหมด จำนวนใบที่สมบูรณ์ และน้ำหนักแห้ง มากกว่าการทดลองอื่น ๆ

ภาวนา ลิกขนานนท์ และคณะ (2553) ศึกษาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้มีคุณภาพ เสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่พืช โดยการเพิ่มเชื้อจุลินทรีย์ดินที่มีประโยชน์ลงในขั้นตอนการผลิต ขั้นตอนแรก ทำการผลิตปุ๋ยหมักซึ่งจัดว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งจากวัตถุดิบที่คัดเลือกว่าเหมาะสม คือ มูลโคนม โดยในขั้นตอนนี้มีการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร ในขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก และได้ปุ๋ยหมักที่เสร็จสิ้นสมบูรณ์ใน 3 เดือน จากนั้นทำการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ประเภทเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ลงในปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ โดยมีปริมาณเชื้อเท่ากับ $1X10^9$ โคโลนีต่อกรัมปุ๋ยหมัก เพื่อนำไปใช้กับกล้ามะเขือเทศที่มีการเพาะเชื้อรา *Sclerotinum rolfsii* ซึ่งทำให้เกิดโรครากและโคนเน่า ในพืชตระกูล Solanaceae จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยหมักที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ สามารถส่งเสริมให้พืชมีความแข็งแรง และมีชีวิตรอดจากการถูกเชื้อราโรคพืชเข้าทำลายในระยะกล้าได้ โดยเมื่อใช้ปุ๋ยหมักผสมเชื้อรา *Trichoderma harzianum* อัตรา 7 และ 10 เปอร์เซ็นต์ กล้ามะเขือเทศรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์

Hoitink (1986) ได้ทำการศึกษาการยับยั้งการเจริญ และความสามารถในการก่อให้เกิดโรคบางชนิดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่อยู่อาศัยใกล้รากพืช ปุ๋ยหมักเป็นธาตุอาหารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *Trichorderma* sp. จึงมักพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักลงดินจะช่วยลดปริมาณของเชื้อโรคบางชนิดในดิน และทำให้พืชเกิดโรคน้อยลง นอกจากนี้แล้วจุลินทรีย์บางชนิดที่เจริญเติบโตอยู่ สามารถขับสารปฏิชีวนะ รวมทั้งสารยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ได้หลายชนิด เป็นการลดการระบาด และความรุนแรงของโรคพืชบางชนิดลงได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อราย่อยสลายผักตบชวา

การทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญของเชื้อราย่อยสลายผักตบชวา ที่แยกจากเชื้อราในดิน จำนวน 3 ชนิด ซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ไซแลนเนส โปรติเอส และยูรีเอส จากห้องปฏิบัติการสาขาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา (เฉลิมชัย แพะคำ และคณะ, 2557) ได้แก่ *Mucor ellipsoideus* (UPPY06), *Rhizopus oryzae* (UPPY29) และ *Trichoderma harzianum* (UPPY19) (ภาพ 4) โดยนำเชื้อราทั้ง 3 ชนิด มาทำการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบสุ่มตลอด (Factor experiment in CRD) ประกอบด้วย อุณหภูมิ (25 และ 30 องศาเซลเซียส) ความเป็นกรด–ด่าง (pH) (6.5, 7.0 และ 7.5) แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต โดยใช้ Glucose, Sucrose และแป้ง และการทดสอบของแหล่งไนโตรเจน ได้แก่ Peptone และ Potassium nitrate (KNO_3) โดยเตรียมอาหาร Malt Extract Agar (MEA) และเปลี่ยนแหล่งคาร์บอน และไนโตรเจนที่จะทดสอบ จากนั้นปรับ pH 3 ระดับ (6.5, 7.0 และ 7.5) นำอาหารเลี้ยงเชื้อไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Auto clave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำอาหารมาเทลงในจานอาหารทิ้งไว้ 2–3 วัน ตรวจสอบการปนเปื้อน ทำการปลูกเชื้อรา ทั้ง 3 ชนิด ลงในอาหารที่เตรียมไว้ โดยใช้ส่วนท้ายของ Pasteur pipette ที่ฆ่าเชื้อแล้ว เจาะลงบนเชื้อราที่ทำการทดสอบ จากนั้นใช้เข็มเขี่ยเชื้อที่ลนไฟฆ่าเชื้อแล้ว ย้ายเชื้อราไปวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ทดสอบในแต่ละการทดลอง จากนั้นนำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิ (Incubators) ที่ 25 และ 30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

เมื่อบ่มเชื้อนาน 7 วัน ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ของข้อมูล และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธี ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทำการทดลองทั้งหมด 36 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 1 จานอาหาร ได้แก่

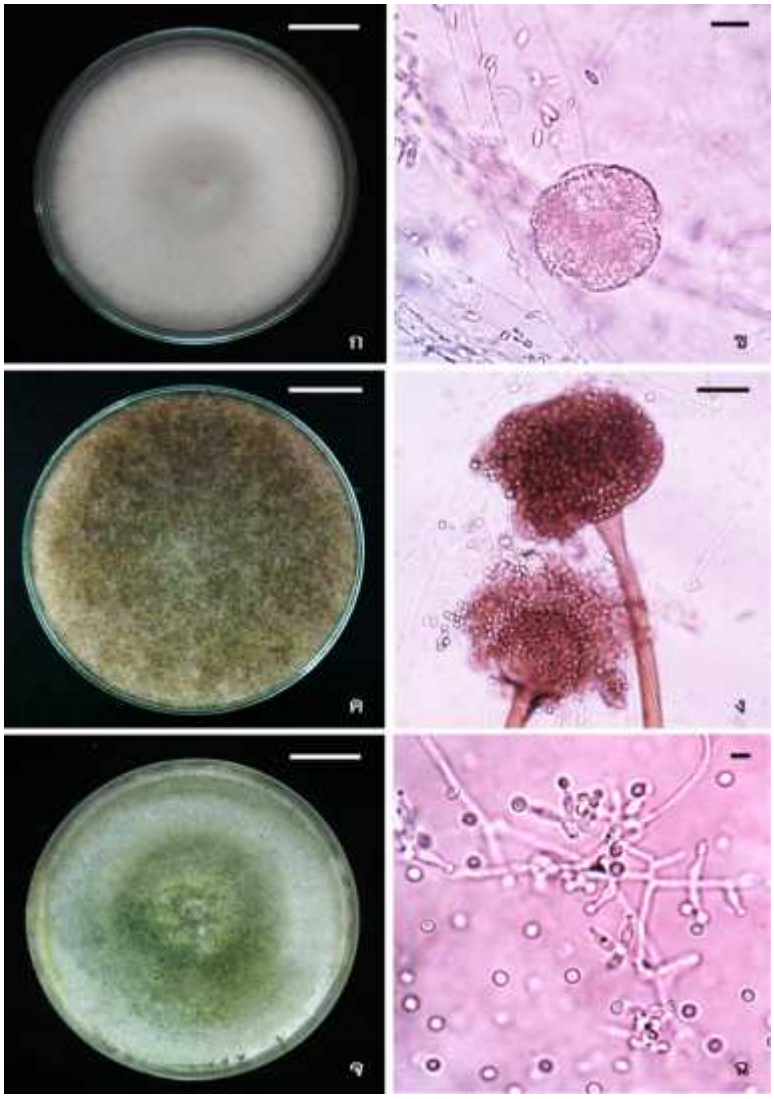
กรรมวิธีที่ 1 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + Glucose + Peptone

กรรมวิธีที่ 2 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + Glucose + Potassium nitrate

กรรมวิธีที่ 3 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + Sucrose + Peptone

กรรมวิธีที่ 4 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + Sucrose + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 5 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + แป้ง + Peptone
กรรมวิธีที่ 6 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + แป้ง + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 7 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + Glucose + Peptone
กรรมวิธีที่ 8 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + Glucose + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 9 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + Sucrose + Peptone
กรรมวิธีที่ 10 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + Sucrose + Potassium Nitrate
กรรมวิธีที่ 11 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + แป้ง + Peptone
กรรมวิธีที่ 12 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + แป้ง + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 13 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + Glucose + Peptone
กรรมวิธีที่ 14 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.5+ Glucose + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 15 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + Sucrose + Peptone
กรรมวิธีที่ 16 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + Sucrose + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 17 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + แป้ง + Peptone
กรรมวิธีที่ 18 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + แป้ง + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 19 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + Glucose + Peptone
กรรมวิธีที่ 20 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + Glucose + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 21 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + Sucrose + Peptone
กรรมวิธีที่ 22 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + Sucrose + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 23 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + แป้ง + Peptone
กรรมวิธีที่ 24 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 6.5 + แป้ง + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 25 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส+ pH 7.0 + Glucose + Peptone
กรรมวิธีที่ 26 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + Glucose + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 27 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + Sucrose + Peptone
กรรมวิธีที่ 28 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + Sucrose + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 29 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + แป้ง + Peptone
กรรมวิธีที่ 30 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.0 + แป้ง + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 31 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + Glucose + Peptone
กรรมวิธีที่ 32 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + Glucose + Potassium nitrate
กรรมวิธีที่ 33 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + Sucrose + Peptone
กรรมวิธีที่ 34 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + Sucrose + Potassium nitrate

กรรมวิธีที่ 35 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + แป้ง + peptone
กรรมวิธีที่ 36 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส + pH 7.5 + แป้ง + Potassium nitrate



ภาพ 4 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อราย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด

หมายเหตุ: (บาร์: ก, ค, ง = 2 เซนติเมตร; ข, ง = 20 ไมโครเมตร; ฉ = 3 ไมโครเมตร), เชื้อรา *M. ellipsoideus* (ก = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA, ข = ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40x), เชื้อรา *R. oryzae* (ค = ลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA, ง = ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40x), เชื้อรา *T. harzianum* (จ = ลักษณะโคโลนี บนอาหาร PDA, ฉ = ลักษณะภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40x)

การทดลองที่ 2 ศึกษาความสามารถของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวา

1. ศึกษาผลของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวาในระดับห้องปฏิบัติการ

นำเชื้อรายย่อยสลาย 3 ชนิด ได้แก่ เชื้อ *M. ellipsoideus, T. harzianum* และ *R. oryzae* ที่ผ่านการทดสอบสภาวะที่เหมาะสม มาทดสอบความสามารถในการย่อยสลายสดผักตบชวา โดยนำมาเพิ่มปริมาณเชื้อราในเมล็ดข้าวฟ่าง จากนั้นนำเมล็ดข้าวฟ่างที่มีเชื้อรา มาทำการละลายในน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ในอัตราส่วนเมล็ดข้าวฟ่างที่มีเชื้อรา 200 กรัมต่อน้ำ 2 ลิตร แล้วทำการกรองให้เหลือแต่สปอร์ นำมาฉีดพ่นลงบนผักตบชวาสด 5 กิโลกรัม ให้ทั่วกอง ใช้ระยะเวลาในการหมักนาน 60 วัน (เฉลิมชัย แพะคำ และคณะ, 2557) ซึ่งแต่ละวันต้องมีการกลับกองผักตบชวาหมัก เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับเชื้อรา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ 8 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus*

กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae*

กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum*

จากนั้น สุ่มเก็บตัวอย่างผักตบชวาหมักของแต่ละกรรมวิธีที่ผ่านการหมักมาแล้ว 60 วัน จำนวน 500 กรัม โดยทำการแบ่งผักตบชวาหมักเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำมาศึกษาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สีของวัสดุ ลักษณะของวัสดุ และกลิ่นของผักตบชวาหมัก จากนั้นแยกเชื้อกลับ (Re-isolation) เพื่อตรวจสอบชนิดของเชื้อรา โดยเก็บตัวอย่างกรรมวิธีละ 5 กรัม และส่วนที่ 2 ทำการอบผักตบชวาหมัก ในปริมาณ 450 กรัม เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่

1. ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter) ตามวิธีของ Walkley and Black (1947)
2. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)
3. ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) โดยเครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า
4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH-meter
5. ความชื้น ตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร (2551)
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ตามวิธีของ Kjeldahl method
7. ฟอสเฟตทั้งหมด (Total P_2O_5) ตามวิธีของ Vanadomolybdate method

8. โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ตามวิธีของ Flame photometric method

9. ความสมบูรณ์ในการหมักปุ๋ย ตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร (2551)

10. ปริมาณ Cellulose (Browning, 1967)

11. ปริมาณ Hemicellulose (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1988)

2. ศึกษาผลของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวาสด และการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในระดับพื้นที่จริง

2.1 การหมักผักตบชวา

นำกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 1 คือ กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีปริมาณธาตุอาหารในผักตบชวาหมักค่อนข้างดีและมีความสามารถในการย่อยสลายสูงกว่ากรรมวิธีอื่น จากนั้นนำมาทำการหมักในระดับโรงงานโดยใช้พื้นที่ของโรงปุ๋ยองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ทำการหมักผักตบชวาสด จำนวน 500 กิโลกรัม โดยการเตรียมเชื้อรายย่อยสลายเลี้ยงในข้าวฟ่างที่มีเชื้อรา 20 กิโลกรัม ต่อน้ำกลั่น 40 ลิตร จากนั้นฉีดพ่นสารละลายเชื้อราทั้ง 3 ชนิด ให้ทั่วกองผักตบชวาทุก ๆ สัปดาห์ และหมักนาน 60 วัน (ภาพ 5)

2.2 การเตรียมปุ๋ยอินทรีย์

นำผักตบชวาหมักที่ได้จากการหมักนาน 60 วัน มาเป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยนำมาผสมร่วมกับวัตถุดิบต่าง ๆ ได้แก่ มูลสุกร ลีโอนาไดต์ มูลไก่ แร่ภูเขาไฟ และผักตบชวาหมัก ในอัตราส่วน 3:3:2:1:1 โดยน้ำหนัก (ชัยมงคล ใจหล้า, 2558) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) จำนวน 3 ซ้ำ 3 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากวีานพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา

2.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหาร

วิเคราะห์ตัวอย่างเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่

2.3.1 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter) ตามวิธีของ Walkley and Black (1947)

2.3.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

2.3.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) โดยเครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า

2.3.4 ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH–meter

2.3.5 ความชื้น ตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร (2551)

2.3.6 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ตามวิธีของ Kjeldahl method

2.3.7 ฟอสเฟตทั้งหมด (Total P_2O_5) ตามวิธีของ Vanadomolybdate method

2.3.8 โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ตามวิธีของ Flame photometric method

2.3.9 ความสมบูรณ์ในการหมักปุ๋ย ตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร (2551)

ภาพ 5 แสดงการหมักผักตบชวาในระดับพื้นที่จริง

การทดลองที่ 3 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน

1. ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน

เตรียมดิน โดยใช้หน้าดินในแปลงนาผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ ใส่ลงในกระถางพลาสติก ขนาด 30×40 เซนติเมตร จากนั้นใส่น้ำลงให้น้ำท่วมดิน เพื่อแช่ดินประมาณ 5 วัน นำเมล็ดพันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 มาเพาะกล้าในกระถางพลาสติก จนต้นกล้าข้าวมีอายุประมาณ 7 วัน จากนั้นถอนแยกต้นกล้าข้าวให้เหลือกระถาง ๆ ละ 1 ต้น (ภาพ 6) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะใส่จำนวน 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ใส่ขั้นตอนเตรียมดิน และครั้งที่ 2 ช่วงก่อนข้าวตั้งท้อง (อายุ 30 วัน หลังถอนแยก) ในอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Design: RCD) โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 กรรมวิธี ๆ 4 ซ้ำ ๆ 4 กระถาง ๆ ละ 1 ต้น

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (Control)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum*

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2556)

หมายเหตุ

1. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด ในกรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยาของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา ในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2552)

2. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง ในกรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* ในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2552)

3. การใส่ปุ๋ยเคมี ในกรรมวิธีที่ 4 โดยครั้งที่ 1 ใส่ 16-20-0 ในอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ (อายุ 7 วันหลังถอนแยก) ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0 อัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ (อายุ 30 วันหลังถอนแยก) (ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2556)

ภาพ 6 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน

หมายเหตุ: ก = การปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 โดยใช้ข้าว 1 ต้นต่อกระถาง

ข = พื้นที่ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักผักตบชวาต่อการเจริญเติบโต

2. การบันทึกผลการทดลอง

ทำการเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าว จำนวน 12 ลักษณะ ได้แก่

2.1 วันออกดอก

2.2 ความสูงต้น

2.3 จำนวนใบ

2.4 จำนวนต้นต่อกอ

2.5 น้ำหนักเมล็ดต่อกอ

2.6 จำนวนเมล็ดต่อรวง

2.7 จำนวนรวงต่อกอ

2.8 น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด

2.9 จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง

2.10 จำนวนเมล็ดดีต่อรวง

2.11 ดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvest index; HI) (Jesus and Yolanda, 2002)

$$\text{ดัชนีการเก็บเกี่ยว} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ด}}{\text{น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินทั้งหมด}}$$

2.12 อัตราการติดเมล็ด (Seed setting rate) (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2556)

$$\text{อัตราการติดเมล็ด} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดดี}}{\text{จำนวนเมล็ดดี + จำนวนเมล็ดเสีย}} \times 100$$

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารของดิน

เปรียบเทียบคุณสมบัติของดินก่อนปลูก และหลังปลูก ในแต่ละกรรมวิธี โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในกระถางทดลอง ประมาณ 1 กิโลกรัม มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าตัวอย่างจะแห้ง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด และเก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติก เพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี และปริมาณธาตุอาหาร ซึ่งได้แก่

3.1 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter) ตามวิธีของ Walkley and Black (1947)

3.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

3.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) โดยเครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า

3.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH-meter

3.5 ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ตามวิธี Kjeldahl method

3.6 ฟอสเฟตทั้งหมด ตามวิธี Bray II

3.7 โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) ตามวิธี Jackson (1958)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธี ด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อราย่อยสลายผักตบชวา

การทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญของเชื้อราย่อยสลายผักตบชวา ประกอบด้วย การทดสอบอุณหภูมิ ความเป็นกรด–ด่าง แหล่งคาร์บอน และแหล่งไนโตรเจน

1. อุณหภูมิ

เชื้อรา *M. ellipsoideus* และ เชื้อรา *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่สุด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 6.70 และ 8.10 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เชื้อรา *T. harzianum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 6.46 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 6.12 เซนติเมตร อย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ตาราง 2)

2. ความเป็นกรด–ด่าง (pH)

ที่ pH 7.0, 7.5 และ 6.5 สามารถทำให้เชื้อรา *M. ellipsoideus* เจริญเติบโตได้ดีไม่แตกต่างกัน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 6.66, 6.60 และ 6.54 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตาราง 2) ในขณะที่ *R. oryzae* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ในระดับ pH 7.0 มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 8.16 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่า pH อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ ระดับ pH 7.5 และ 6.5 มีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 7.96 และ 7.66 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วน *T. harzianum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในระดับ pH 6.5 มีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 6.66 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ ระดับ pH 7.0 และ 7.5 มีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 6.22 และ 5.96 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตาราง 2)

3. แหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน

เชื้อรา *M. ellipsoideus* และ *T. harzianum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารที่มี Sucrose เป็นแหล่งคาร์บอน และมี Potassium nitrate เป็นแหล่งไนโตรเจน มีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 6.74 และ 6.50 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$ และ 0.01 ตามลำดับ) รองลงมา คือ แป้งร่วมกับ Potassium nitrate

โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 6.72 และ 6.48 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างจากกรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ *R. oryzae* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารที่มีแป้งเป็นแหล่งคาร์บอน และ Peptone เป็นแหล่งไนโตรเจน มีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี เฉลี่ยเท่ากับ 7.98 เซนติเมตร โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ (ตาราง 2)

ตาราง 2 แสดงการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อราย่อยสลายผักตบชวา

ปัจจัย	สภาวะที่เหมาะสม	เส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเชื้อราย่อยสลาย (เซนติเมตร)		
		M. ellipsoideus	*R. oryzae*	*T. harzianum*
อุณหภูมิ (T)	25	6.70a	8.10a	6.12ab
	30	6.48b	7.76b	6.46a
ความเป็นกรด-	6.5	6.54	7.66b	6.66a
ด่าง (pH)	7.0	6.66	8.16a	6.22b
	7.5	6.60	7.96a	5.96c
แหล่งคาร์บอน	Glucose + Peptone	6.50	7.86	6.14b
ต่อแหล่ง	Glucose + Potassium nitrate	6.66	7.90	6.46a
ไนโตรเจน (C: N)	Sucrose + Peptone	6.46	7.96	6.10b
	Sucrose + Potassium nitrate	6.74	7.94	6.50a
	แป้ง + Peptone	6.50	7.98	6.04b
	แป้ง + Potassium nitrate	6.72	7.96	6.48a
T		*	**	**
pH		ns	**	**
C:N		ns	ns	**
T + pH		*	ns	**
T + C:N		ns	ns	ns
pH + C:N		ns	ns	**
T + pH + C:N		ns	ns	**
CV (%)		**0.16**	**0.26**	**0.43**

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

* = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การทดลองที่ 2 ศึกษาความสามารถของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวา

1. ศึกษาผลของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวาในระดับห้องปฏิบัติการ

จากการเก็บตัวอย่างผักตบชวาหมักของแต่ละกรรมวิธีที่ผ่านการหมักมาแล้ว 60 วัน จากนั้นนำมาศึกษาลักษณะทางกายภาพ และแยกเชื้อกลับ (Re-isolation) พบว่า

1.1 ลักษณะทางกายภาพ

1.1.1 สีของวัสดุ สีของผักตบชวาหลังหมักนาน 60 วัน มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ (ภาพ 7)

1.1.2 ลักษณะของวัสดุ ผักตบชวาหมักมีลักษณะอ่อนนุ่มเละ จนถึงเป็นผงละเอียด (ภาพ 7)

1.1.3 กลิ่นของผักตบชวาหมัก มีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นดิน (ภาพ 7)

ภาพ 7 แสดงลักษณะทางกายภาพของผักตบชวาหมักของแต่ละกรรมวิธี

หมายเหตุ: ก = กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม)

ข = กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus*

ค = กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae*

ง = กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *T. harzianum*

จ = กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *T. harzianum*

ฉ = กรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae*

ช = กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* + *T. harzianum*

ซ = กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum*

1.2 การแยกเชื้อกลับ (Re–isolation)

จากการแยกเชื้อกลับ (Re–isolation) ในผักตบชวาหมัก เพื่อตรวจสอบชนิดของเชื้อรา จากการหมักผักตบชวาด้วยเชื้อรา นาน 60 วัน พบว่า กรรมวิธีที่ 1 แยกเชื้อราได้ จำนวน 5 ไอโซเลท ในขณะที่ *Trichoderma* sp. พบมากที่สุดในเกือบทุกกรรมวิธียกเว้นกรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 6 รองลงมา พบเชื้อ *Aspergillus* sp. ในกรรมวิธีที่ 1, 2, 4 และ 6 (ตาราง 3)

ตาราง 3 แสดงการตรวจสอบชนิดของเชื้อราในการย่อยสลายของผักตบชวาหมัก ในระดับห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธีที่	ศึกษาราในการย่อยสลายของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา
	เชื้อราที่พบในกองปุ๋ย
1	*Aspergillus* sp., *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *Trichoderma* sp.
2	*Aspergillus sp., M. ellipsoideus, T. harzianum*
3	*Penicillium* sp., *R. oryzae*
4	*Aspergillus sp., T. harzianum*
5	*M. ellipsoideus, T. harzianum*
6	*Aspergillus sp., Penicillium* sp., *M. ellipsoideus, R. oryzae.*
7	*Penicillium* sp., *R. oryzae, T. harzianum*
8	*M. ellipsoideus, R. oryzae, T. harzianum*

หมายเหตุ: การแยกเชื้อกลับเพื่อตรวจสอบชนิดของเชื้อรา จากการหมักผักตบชวาด้วยเชื้อรา นาน 60 วัน

1.3 ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH)

พบว่า กรรมวิธีที่ 8 การหมักผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีระดับ pH สูงที่สุด เท่ากับ 9.00 (ด่างจัด) ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* มีค่า pH เท่ากับ 8.93 (ด่างจัด) (ตาราง 4)

1.4 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC)

พบว่า กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* + *T. harzianum* มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 1.85 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม) และกรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 1.84 และ 1.82 เดซิซีเมนต์ ตามลำดับ (ตาราง 4)

1.5 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter: OM)

พบว่า กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีค่าอินทรียวัตถุสูงที่สุด เท่ากับ 33.30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* + *T. harzianum* และกรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *T. harzianum* มีค่าอินทรียวัตถุ เท่ากับ 32.84 และ 32.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 4)

1.6 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

พบว่า กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *T. harzianum* มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากที่สุด เท่ากับ 44.72 ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม) และกรรมวิธีที่ 6 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 36.60 และ 33.01 ตามลำดับ (ตาราง 4)

1.7 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen: N)

พบว่า กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *T. harzianum* มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* และกรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.18 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4)

1.8 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus: P_2O_5)

พบว่า กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* และกรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* + *T. harzianum* มีค่าฟอสฟอรัสสูงที่สุด เท่ากับ 0.39 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *T. harzianum* และกรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีค่าฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตาราง 4)

1.9 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total potassium: K_2O)

พบว่า กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม) ปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด เท่ากับ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus*, กรรมวิธีที่ 3 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* กรรมวิธีที่ 5 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *T. harzianum* และกรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวา

ร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.18 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4)

1.10 ความชื้น (Moisture)

พบว่า กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* + *T. harzianum* มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงที่สุด เท่ากับ 84.53 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* และกรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *T. harzianum* มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น เท่ากับ 83.93 และ 78.33 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 4)

1.11 ความสมบูรณ์ในปุ๋ยหมัก

พบว่า ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 8) มีเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ในปุ๋ยหมักมากที่สุด คือ 88.60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยยิ่งสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* + *T. harzianum* และกรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *T. harzianum* มีค่าเท่ากับ 86.50 และ 85.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 4)

ตาราง 4 แสดงปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาหมักที่ใช้เชื้อราในการย่อยสลาย ในระดับห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธี	กรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต่อเมตร)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ความสมบูรณ์ในปุ๋ยหมัก (เปอร์เซ็นต์)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
1	8.67ed	1.84a	30.12c	36.60b	0.12c	0.39	0.19a	34.87d	75.17e
2	8.93ab	1.80a	30.64bc	25.42c	0.18a	0.39	0.18a	46.40c	83.17d
3	8.73cd	1.82a	30.23c	25.32c	0.17ab	0.38	0.18a	75.67ab	85.83b
4	8.83ab	1.55bc	31.85abc	44.72a	0.10c	0.37	0.17ab	78.33ab	85.87b
5	8.50f	1.56bc	32.66ab	25.89c	0.19a	0.38	0.18a	73.87ab	80.27d
6	8.57ef	1.48c	30.23c	33.01bc	0.14bc	0.37	0.15b	68.13b	83.50c
7	8.83bc	1.85a	32.84ab	27.59c	0.17ab	0.39	0.14b	84.53a	86.50b
8	9.00a	1.62b	33.30a	26.55c	0.18a	0.38	0.18a	83.93a	88.60a
F-test	**	**	*	**	*	ns	*	**	**
CV (%)	0.72	4.19	3.37	15.23	3.76	7.69	9.45	9.64	0.27

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

* = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.12 ปริมาณเซลลูโลส

จากการศึกษาปริมาณเซลลูโลสจากผักตบชวาหมัก ที่ใช้เชื้อราในการย่อยสลาย พบว่า กรรมวิธีที่ 4 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *T. harzianum* มีการย่อยสลายปริมาณเซลลูโลสได้ดีที่สุด เท่ากับ 15.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 ผักตบชวา ร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* และกรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวา ร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus, R. oryzae* และ *T. harzianum* มีปริมาณเซลลูโลส เท่ากับ 17.83 และ 18.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 5)

1.13 ปริมาณเฮมิเซลลูโลส

จากการศึกษาปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากผักตบชวาหมัก ที่ใช้เชื้อราในการย่อยสลาย พบว่า กรรมวิธีที่ 7 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *R. oryzae* + *T. harzianum* มีปริมาณเฮมิเซลลูโลส น้อยที่สุด เท่ากับ 21.57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวา (ชุดควบคุม) และกรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus, R. oryzae* และ *T. harzianum* มีปริมาณเฮมิเซลลูโลส เท่ากับ 22 เปอร์เซ็นต์ และ 22.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 5)

ตาราง 5 แสดงปริมาณเซลลูโลส และปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากผักตบชวาหมัก ที่ใช้เชื้อราในการย่อยสลายในระดับห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธี	ปริมาณเซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
1	26.00b	23.83c
2	17.83cd	32.39ab
3	19.50c	33.27a
4	15.00d	27.00bc
5	26.67ab	25.57c
6	27.67ab	25.78c
7	29.67a	21.57c
8	18.17cd	22.00c
F-test	**	**
CV (%)	8.43	11.93

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

** = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

2. ศึกษาผลของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวาสด และการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในระดับพื้นที่จริง

จากการเลือกกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการทดลอง 1 พบว่า กรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างดีและมีความสามารถในการย่อยสลายผักตบชวาสูงกว่ากรรมวิธีอื่น มาทำการหมักในระดับพื้นที่จริงเป็นเวลานาน 60 วัน จากนั้นนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยนำมาผสมร่วมกับวัตถุดิบต่าง ๆ แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ระหว่างผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด (กรรมวิธีที่ 1) ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 2) และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากวัานพะเยาของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา (กรรมวิธีที่ 3) ดังนี้

2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด (กรรมวิธีที่ 1) มีระดับ pH สูงที่สุด เท่ากับ 8.20 (ด่างอ่อน) ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 2) และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากวัานพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา (กรรมวิธีที่ 3) มีระดับ pH เท่ากับ 6.51 และ 6.37 (กรดอ่อน) ตามลำดับ ซึ่งทุกกรรมวิธีเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร (ตาราง 6)

2.2 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC)

ผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด (กรรมวิธีที่ 1) มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 13.07 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 2) และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากวัานพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา (กรรมวิธีที่ 3) มีค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุด เท่ากับ 4.24 และ 2.77 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร (ตาราง 6)

2.3 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter: OM)

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อราย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด และกรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีค่าอินทรียวัตถุสูงที่สุด เท่ากับ 30.12 และ 26.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธี 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) และเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากวัานพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์

อบจ. พะเยา มีค่าอินทรียวัตถุ เท่ากับ 13.30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอินทรียวัตถุสูงมาก ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร (ตาราง 6)

2.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อรายย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากที่สุด เท่ากับ 36.69 ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* และกรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา มีค่าเท่ากับ 29.07 และ 19.36 ตามลำดับ โดยกรรมวิธีที่ 3 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกิน 20:1 (ตาราง 6)

2.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen: N)

กรรมวิธี 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด เท่ากับ 0.54 เปอร์เซ็นต์ มากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อรายย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด และกรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.48 และ 0.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร (ตาราง 6)

2.6 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus: P_2O_5)

กรรมวิธี 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีค่าฟอสฟอรัสมากที่สุด เท่ากับ 0.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อรายย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด และกรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา มีค่าเท่ากับ 0.38 เปอร์เซ็นต์ ยังต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร (ตาราง 6)

2.7 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium: K_2O)

กรรมวิธี 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด เท่ากับ 1.07 เปอร์เซ็นต์ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร และมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา และกรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อรายย่อยสลายทั้ง 3 ชนิด

มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 0.88 และ 0.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ยังคงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร ที่กำหนดไว้ (ตาราง 6)

2.8 ความชื้น (Moisture)

กรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อรายย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด มีค่าความชื้นสูงที่สุด เท่ากับ 34.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* และกรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากวีานพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา มีค่าความชื้น เท่ากับ 21.62 และ 14.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร ยกเว้นกรรมวิธีที่ 1 (ตาราง 6)

2.9 ความสมบูรณ์ในปุ๋ยหมัก

กรรมวิธี 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีค่าเฉลี่ยความสมบูรณ์ในปุ๋ยหมักมากที่สุด เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากวีานพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา และกรรมวิธีที่ 1 ผักตบชวาหมักที่ไม่มีการใส่เชื้อรายย่อยสลาย ทั้ง 3 ชนิด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.00 และ 70.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร (ตาราง 6)

ตาราง 6 แสดงปริมาณธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาหมักที่ใช้เชื้อราในการย่อยสลายในระดับพื้นที่จริง

กรรมวิธี	กรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต่อเมตร)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ความสมบูรณ์ในปุ๋ยหมัก (เปอร์เซ็นต์)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
1	8.20a	13.07a	30.12a	36.69a	0.48a	0.38b	0.38c	34.87a	70.00b
2	6.51b	4.24b	26.85b	29.07b	0.54a	0.39a	1.07a	21.62b	81.67a
3	6.37b	2.77c	13.30c	19.36c	0.34b	0.38b	0.88b	14.38b	76.00ab
F-test	**	**	**	**	*	*	**	*	*
CV (%)	3.08	2.06	4.96	13.61	0.27	0.27	4.07	25.67	4.59

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

* = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การทดลองที่ 3 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน

1. ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน

การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน พบว่า ต้นข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมี (กรรมวิธีที่ 4) มีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นมากที่สุด ได้แก่ ความสูง จำนวนใบ และจำนวนต้นต่อกอ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100.38 เซนติเมตร, 113.10 ใบ และ 27.20 ต้น ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 97.79 เซนติเมตร, 101.41 ใบ และ 18.20 ต้น ตามลำดับ ในขณะที่วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกัน (ตาราง 7 และภาพ 8)

ข้อมูลองค์ประกอบของผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 พบว่า กรรมวิธีที่ 4 ต้นข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และน้ำหนักเมล็ดต่อกอ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.13 รวง, 145.04 เมล็ด, 29.18 กรัม และ 195.74 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ($p \leq 0.05$ และ $p \leq 0.05$ ตามลำดับ) ในขณะที่กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีจำนวนเมล็ดดีมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 113.65 เมล็ด เมื่อพิจารณาดัชนีการเก็บเกี่ยว พบว่า กรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 4 มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวมากที่สุด แต่ไม่ความแตกต่างทางสถิติ โดยมีดัชนีการเก็บเกี่ยว เฉลี่ยเท่ากับ 4.27 และ 4.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนจำนวนเมล็ดลีบ พบว่า กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา มีจำนวนเมล็ดลีบน้อยที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.06 เมล็ด ซึ่งน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และอัตราการติดเมล็ด พบว่า กรรมวิธีที่ 2, 3 และ 4 มีอัตราการติดเมล็ดมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีอัตราการติดเมล็ด เฉลี่ยเท่ากับ 82.84, 80.97 และ 81.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมากว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 7 และภาพ 8)

ตาราง 7 แสดงผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน

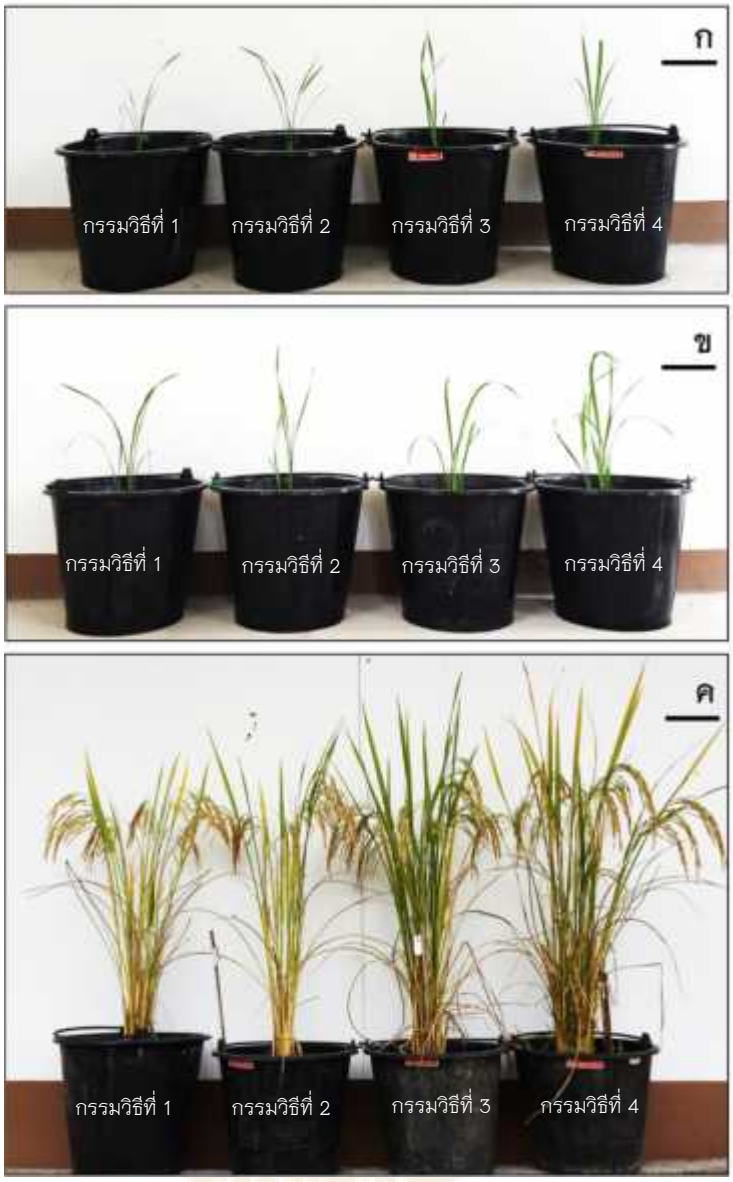
กรรมวิธี	วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ (วัน)	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ)	จำนวนต้นต่อกอ (ต้น)	จำนวนรวงต่อกอ (รวง)	จำนวนเมล็ดต่อรวง (เมล็ด)	จำนวนเมล็ดดี (เมล็ด)	จำนวนเมล็ดลีบ (เมล็ด)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)	น้ำหนักเมล็ดต่อกอ (กรัม)	อัตราการติดเมล็ด (เปอร์เซ็นต์)	ดัชนีการเก็บเกี่ยว (เปอร์เซ็นต์)
1	79.74	91.85d	45.92d	12.43c	8.88c	112.33c	83.25c	27.15a	27.95b	63.09d	75.43b	3.56b
2	77.75	94.92c	77.25c	14.77bc	9.63bc	109.37c	87.43c	18.06b	27.75b	102.46c	82.84a	4.17b
3	79.50	97.79b	101.41b	18.20b	11.25b	122.10b	113.65a	26.64a	27.98b	179.75b	80.97a	4.27a
4	78.00	100.38a	113.10a	27.20a	16.13a	145.04a	103.54b	23.33a	29.18a	195.74a	81.66a	4.61a
F-test	**ns**	**	**	**	**	**	**	*	*	**	*	*
CV%	**1.79**	**16.46**	**5.51**	**10.89**	**12.15**	**5.80**	**4.93**	**12.58**	**1.81**	**4.21**	**3.05**	**9.84**

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

* = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพ 8 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน

หมายเหตุ: ก = อายุ 15 วัน, ข = อายุ 30 วัน, ค = อายุ 120 วัน (บาร์: ก–ค = 10 เซนติเมตร)

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารของดิน

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารของดิน พบว่า ต้นข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมี (กรรมวิธีที่ 4) มีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.76 เปอร์เซ็นต์ และ 3.39 ppm ตามลำดับ ซึ่งมากว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยา ของโรงงาน

ปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.70 เปอร์เซ็นต์ และ 1.49 ppm ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 1 มีระดับ pH และปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.00 และ 9.91 ppm ตามลำดับ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.86 และ 9.09 ppm ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยยิ่งสำคัญ ($p \leq 0.01$) ส่วนค่าการนำไฟฟ้า พบว่า กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.34 เดซิซีเมนต่อเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 เดซิซีเมนต่อเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยยิ่งสำคัญ ($p \leq 0.01$) และพบว่า กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากวีานพะเยา ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.61 รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.00 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 8)

ตาราง 8 แสดงปริมาณธาตุอาหารและองค์ประกอบทางเคมีของดินก่อนปลูก และหลังปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในกรรมวิธีต่าง ๆ

กรรมวิธี	กรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต่อเมตร)	อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัส (ppm)	ปริมาณโพแทสเซียม (ppm)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
ก่อนปลูก	6.57d	0.04c	1.00c	18.63c	0.032a	0.79c	7.79c
1	7.00a	0.03c	0.75d	34.67ab	0.015b	0.99c	9.91a
2	6.86b	0.04c	1.70ab	44.61a	0.022ab	1.49ab	9.09b
3	6.73c	0.34a	1.21b	25.29b	0.028a	1.39b	9.08b
4	6.62cd	0.25b	1.76a	37.00ab	0.028a	3.39a	8.62b
F-test	**	**	**	*	*	**	**
CV (%)	**1.05**	**6.36**	**4.92**	**24.28**	**20.00**	**24.62**	**2.86**

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

* = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อราย่อยสลายผักตบชวาทั้ง 3 ชนิด พบว่า รา *M. ellipsoideus* เจริญเติบโตได้ดีที่สุด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระดับ pH 7.0 มี Sucrose เป็นแหล่งคาร์บอน และมี Potassium nitrate เป็นแหล่งไนโตรเจน ในขณะที่ *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่สุด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระดับ pH 7.5 มีแป้งเป็นแหล่งคาร์บอน และมี Peptone เป็นแหล่งไนโตรเจน ส่วนรา *T. harzianum* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระดับ pH 6.0 มี Sucrose เป็นแหล่งคาร์บอน และมี Potassium nitrate เป็นแหล่งไนโตรเจน

2. การศึกษาความสามารถของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวา นาน 60 วัน พบว่าผักตบชวาที่ผ่านการหมักมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ ลักษณะอ่อนนุ่มเละจนถึงเป็นผงละเอียด มีกลิ่นหอมคล้ายดิน เมื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหาร พบว่ากรรมวิธีที่ 8 ผักตบชวาร่วมกับเชื้อ *M. ellipsoideus*, *R. oryzae* และ *T. harzianum* มีปริมาณธาตุอาหาร และองค์ประกอบทางเคมี ค่อนข้างดีกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ

การนำเชื้อราทั้ง 3 ชนิด มาหมักผักตบชวาในระดับพื้นที่จริง นาน 60 วัน และนำไปเป็นส่วนผสมร่วมกับวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารดีที่สุด โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ความชื้น ความสมบูรณ์ในการย่อยสลาย เท่ากับ 6.51, 4.24 เดซิซีเมนต่อเมตร 26.85 เปอร์เซ็นต์, 29.07, 0.54 เปอร์เซ็นต์, 0.39 เปอร์เซ็นต์, 1.07 เปอร์เซ็นต์, 21.62 เปอร์เซ็นต์ และ 81.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3. การทดสอบผลของปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้างพันธุ์พิษณุโลก 2 พบว่าข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมี (กรรมวิธีที่ 4) ให้ผลการเจริญเติบโตทั้งความสูง จำนวนใบ จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และน้ำหนักเมล็ดต่อกอดีที่สุด รองลงมา คือ ต้นข้าวที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* (กรรมวิธีที่ 3) มีจำนวนเมล็ดดีมากที่สุด รวมถึงอัตราการติดเมล็ดและดัชนีการเก็บเกี่ยวสูง ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูก

พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี (กรรมวิธีที่ 4) มีค่าความเป็นกรด–ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดดีที่สุด เท่ากับ 6.62, 0.25 เดซิซีเมนต่อเมตร 1.76 เปอร์เซ็นต์, 37.00, 0.028 เปอร์เซ็นต์, 3.39 ppm และ 8.62 ppm ตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อราย่อยสลายผักตบชวา

จากสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและการย่อยสลายผักตบชวาของเชื้อราทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *M. ellipsoideus*, *R. oryzae* และ *T. harzianum* มี 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด–ด่าง และอัตราส่วนแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน พบว่า อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *M. ellipsoideus* และเชื้อ *R. oryzae* ส่วนเชื้อ *T. harzianum* เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับ ธีระ วีณิน (2557, สื่อออนไลน์) ที่ว่า อุณหภูมิระหว่าง 20–35 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ และสอดคล้องกับรายงานของ Waterhouse (1963) ที่ว่า เชื้อ *T. harzianum* มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้ดี คือ ช่วง 30–32 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่เจริญได้ คือ 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุด คือ 37 องศาเซลเซียส ในขณะที่ สืบสกุล พิ่งตนเอง, อาภรณ์ วงษ์วิจารณ์ และศิววรรณ พูลพันธุ์ (2550) พบว่า เชื้อราสามารถเจริญได้ดี ที่อุณหภูมิ 25 ถึง 35 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วงอุณหภูมิดังกล่าวมีกิจกรรมเอนไซม์กลูโคอะไมเลส สูงสุด จะไปไฮโดรไลซ์แป้งบางส่วน และไฮโดรไลซ์กลูโคสอย่างสมบูรณ์

ระดับความเป็นกรด–ด่าง ที่เชื้อ *M. ellipsoideus* และ *R. oryzae* สามารถเจริญเติบโตได้ดี คือ 7.0 สอดคล้องกับการศึกษาของ Reetha, et al. (2014) พบว่า ช่วงของค่าความเป็นกรด–ด่าง มีค่าอยู่ที่ 7.0–7.5 มีการเจริญเติบโตได้ดี และเชื้อ *T. harzianum* สามารถเจริญเติบโตได้ดี คือ 6.5 ซึ่งค่าความเป็นกรด–ด่างของอาหาร ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา สมคิด รื่นภาควุฒิ (2548) ได้รายงานไว้ว่า โดยปกติช่วงค่าความเป็นกรด–ด่างของเชื้อรา จะกว้างกว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ มีค่าระหว่าง 2.0–8.5

แหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน เป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างที่ช่วยส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราย่อยสลาย รวมถึงการผลิตเอ็นไซม์ของเชื้อรา (Bertoldi, Vallini and Pera, 1983) โดยที่เชื้อจุลินทรีย์จะใช้ในย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน และการเจริญเติบโต เพื่อนำไปสร้างเซลล์ใหม่ ในขณะที่สารประกอบไนโตรเจน เชื้อจุลินทรีย์ก็นำไปสังเคราะห์

สารพวกโปรตีน และกรดนิวคลีอิค เพื่อทำหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมทางพันธุกรรม และการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ (Poincelot, 1975) จากการทดสอบการเจริญเติบโตของเชื้อราย่อยสลายในแหล่งคาร์บอน และไนโตรเจนที่แตกต่างกัน พบว่า เชื้อ *M. ellipsoideus* และ *T. harzianum* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในอาหารที่มี Sucrose เป็นแหล่งคาร์บอนร่วมกับ Potassium nitrate ที่เป็นแหล่งไนโตรเจน ส่วนเชื้อรา *R. oryzae* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในอาหารที่มี Sucrose เป็นแหล่งคาร์บอนร่วมกับ Peptone แหล่งไนโตรเจน ซึ่ง วิราวรรณ สายชล และนพพล เล็กสวัสดิ์ (2558) รายงานว่า Sucrose สารที่เป็นแหล่งพลังงาน และแหล่งคาร์บอนที่สำคัญ ในขณะที่ อภิวิชญ์ ทองแก้วยวน และธนัญชนก ไชยรินทร์ (2559) ได้ทำการเมื่อเลี้ยงเชื้อรา *Metarhizium anisopliae* ด้วยอาหารแข็ง เพื่อกระตุ้นการสร้างเอนไซม์โปรติเอส พบว่า แหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ รำข้าวสาลี และ Peptone ซึ่งให้ค่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส สูงสุด

การทดลองที่ 2 ศึกษาความสามารถของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวา

1. ศึกษาผลของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวาในระดับห้องปฏิบัติการ

จากการเก็บตัวอย่างผักตบชวาหมักของแต่ละกรรมวิธีมาแยกเชื้อแยก (Re-isolation) พบว่า ทุกกรรมวิธีมีเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวาหมัก สอดคล้องกับการรายงานของ Ashraf, Shahid and Ali, (2007); Rebollido, et al. (2008) คือ ปุ๋ยหมักเกิดจากกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน จะมีจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในระหว่างการหมักปุ๋ยหมัก ในขณะที่ชุดควบคุม (ผักตบชวาไม่ใส่เชื้อรา) พบเชื้อราจำนวนมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ได้แก่ *Aspergillus* sp., *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp. เนื่องจากเชื้อราทั้ง 5 ชนิด สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ และในส่วนของกรรมวิธีอื่น ๆ ที่มีการเติมเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวา ทั้ง 3 ชนิด ทุก 7 วัน เป็นเวลานาน 60 วัน พบเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวาทั้ง 3 ชนิด ที่เติมลงไป เนื่องจากการเติมเชื้อรา ทุก 7 วัน ส่งผลให้มีเชื้อราทั้ง 3 ชนิด มีจำนวน และการเจริญเติบโตในกองปุ๋ยที่มากกว่าเชื้อที่ติดมาจากธรรมชาติ รวมถึงเชื้อราทั้ง 3 ชนิด มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีความสามารถต่อการแข่งขันในการใช้อาหาร และเจริญเติบโตได้ดีกว่า ส่งผลให้เชื้อราที่ติดมาจากธรรมชาติไม่สามารถเจริญได้ หรือเจริญเติบโตได้ช้ากว่าเชื้อราย่อยสลาย สอดคล้องกับการรายงานของ ศรีศักดิ์ ธานี (2560, สื่อออนไลน์) ได้ที่รายงานว่า *Trichoderma* sp. เป็นเชื้อราที่เป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อสาเหตุโรคพืช สามารถทำลายและยับยั้งการแพร่ระบาดของเชื้อโรคพืชได้ โดยวิธีการแข่งขันการใช้อาหารเพื่อการเจริญได้ดีกว่าเชื้อโรคพืช หรือการเข้าทำลายเซลล์ของเชื้อโรคพืชโดยตรง และหรือการสร้างสารปฏิชีวนะยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคพืช

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารของผักตบชวาหมัก โดยใช้เชื้อรายย่อยสลาย พบว่า ผักตบชวาหมักทุกกรรมวิธี มีคุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างสูง ได้แก่

ค่าความเป็นกรด–ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรียวัตถุ และความสมบรูณ์ในการหมัก ยกเว้น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) จากการศึกษาของ ปรัชญา ธัญญาดี (2541) ได้รายงานว่า ปุ๋ยหมักผักตบชวามีปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.43, 0.48 และ 0.49 ตามลำดับ และสมศักดิ์ จีรัตน์ (2553) ได้รายงานคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักผักตบชวาที่เหลือใช้จากเศษวัสดุ มีปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.27, 0.71 และ 1.84 ตามลำดับ โดยวัสดุที่ย่อยสลายง่าย นอกจากมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยน้อยกว่าวัสดุที่ย่อยสลายยากแล้ว ยังมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนมากเช่นกัน ในกรณีที่วัสดุย่อยสลายยากมีปริมาณคาร์บอนสูง เนื่องจากมีส่วนที่เป็นเยื่อใยแข็งเป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อพืชมากกว่า จึงทำให้ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ช้าลง เพราะโครงสร้างสารประกอบเหล่านี้ซับซ้อนมาก การสลายตัวให้เป็นชิ้นเล็กลง จำเป็นต้องใช้พลังงานจากจุลินทรีย์มาก ดังนั้น จุลินทรีย์จำเป็นต้องเพิ่มการใช้ไนโตรเจน เพื่อเพิ่มจำนวนประชากรให้มีกิจกรรมมากขึ้น เช่นเดียวกับ เปรมสุดา จิ๋วนอก (2556) ได้รายงานว่า ไนโตรเจนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมัก เพราะจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ได้เร็วขึ้น

ค่า C/N Ratio มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร กำหนดไว้ว่า ค่า C/N Ratio ต้องมีค่าไม่เกิน 20:1 ซึ่งพบว่า ทุกกรรมวิธียังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนในผักตบชวา มีปริมาณที่ต่ำ ทำให้ C/N Ratio มีระดับสูง แสดงว่า ถ้าวัสดุที่ใช้หมักมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ เชื้อราจะแก่งแย่งไนโตรเจน เป็นตัวจำกัดอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ดังนั้น จึงเป็นอัตราบ่งชี้ความช้าเร็วในการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ และอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม แหล่งคาร์บอนที่มีในสารอินทรีย์ หรืออินทรีย์คาร์บอน ถือเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา สุนทรี ยิ่งชัชวาล (2554) รายงานว่า C/N Ratio ของเศษพืช มีค่าระหว่าง 10/1 ถึง 30/1 ในพืชตระกูลถั่วและใบพืชสด และมีค่าสูงสุดถึง 600/1 ในขี้เลื่อยบางชนิด ในขณะที่พืชมีอายุมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนลดลง ในขณะที่สารคาร์บอนเพิ่มขึ้น ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ช้าลง

ความชื้น เป็นตัวควบคุมกิจกรรมและการดำรงชีวิตของเชื้อรา จากการทดลอง พบว่าผักตบชวาหมักมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูง เนื่องจากกองปุ๋ยหมักมีน้ำขังภายในกล่องบรรจุ ซึ่งเกินมาตรฐานเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งมีค่าไม่เกินร้อยละ 30 ของน้ำหนัก สมศักดิ์ จีรัตน์ (2553) ได้รายงานไว้ว่า ความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย อยู่ที่ประมาณ 50–60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ถ้าความชื้นต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ การย่อยสลายของวัสดุจะช้าลง

เพราะเชื้อราขาดน้ำ แต่ถ้าความชื้นเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ ทำให้กองปุ๋ยหมักมีน้ำมากเกินไป โดยน้ำเข้าแทนที่อากาศ ทำให้กองปุ๋ยมีอากาศน้อยลง ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา หรืออีกนัยหนึ่ง คือ ทำให้เชื้อราขาดอากาศ เป็นผลให้การสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักช้าลง หรือทำให้เศษซากพืชเน่าเสียหายก่อนที่จะเป็นปุ๋ยหมัก

จากการทดสอบเชื้อราที่มีการผลิตเอนไซม์เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส พบว่า เชื้อราทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส สอดคล้องกับ นิชรัตน์ ศรีโสภณ (2558) เชื้อราที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสมากที่สุด คือ เชื้อรา *Aspergillus flavus* รองลงมา คือ เชื้อรา *A. flavus* และ *A. candidus* ซึ่งมีค่า Potency index (PI value) เท่ากับ 3.63, 2.77 และ 2.11 ตามลำดับ และเชื้อราที่สามารถผลิตเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสมากที่สุด คือ เชื้อรา *A. flavus* รองลงมา คือ เชื้อรา *Trichoderma sp.* และ *A. candidus* มีค่า Potency index (PI value) เท่ากับ 3.21, 3.03 และ 2.71 ตามลำดับ พรเทพ ถนนแก้ว (2538) กล่าวว่า ในธรรมชาติเมื่อการย่อยสลายสารประกอบเซลลูโลส ต้องอาศัยการย่อยสลายของจุลินทรีย์หลายชนิดรวมกัน ซึ่งอยู่ในสภาพที่มีออกซิเจน ผลที่ได้จากการย่อยสลาย จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฮิวมัส ความร้อน และจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งที่ปริมาณการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์จะได้มาจากการย่อยสลายเซลลูโลสในสภาพที่เหมาะสม โดยมีการระบายอากาศ และอุณหภูมิที่เหมาะสม รวมถึงมีแหล่งอาหารเพียงพอต่อการนำไปสร้างพลังงาน เพื่อใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม และการเพิ่มปริมาณเซลล์ Hari, Janardhan and Chowdary (2001) รายงานการใช้กระบวนการหมักแบบ Simultaneous saccharification and fementation (SSF) ผลิตเอทานอลจากใบอ้อย และใบ *Antigonum leptopus* โดยอาศัยเอนไซม์เซลลูเลสที่ได้จากรา *Trichoderma reesei* ร่วมกับเอนไซม์ Glucosidase เพื่อช่วยในการย่อยสลาย

2. ศึกษาผลของเชื้อราในการย่อยสลายผักตบชวาสด และการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในระดับพื้นที่จริง

การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายผักตบชวาของเชื้อรา ทั้ง 3 ชนิด พบว่า เชื้อราทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสูง อาจมีคุณสมบัติเสริมฤทธิ์กัน ทำให้เกิดการย่อยสลายของผักตบชวาที่สมบรูณ์มากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของ เฉลิมชัย แพะคำ (2557) พบเชื้อราที่แยกได้จากตัวอย่างดิน *Mucor* sp., *Rhizopus* sp. และ *Trichoderma* sp. มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์สูง คือ สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ไซแลนเนส โปรติเอส และยูรีเอสได้

การนำผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา ทั้ง 3 ชนิด มาผสมร่วมกับวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ย ได้แก่ มูลไก่ มูลสุกร ลีโอนาไดต์ และแร่ภูเขาไฟ พบว่า มีปริมาณธาตุอาหาร

และองค์ประกอบทางเคมีมากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ สุภาพร บัวชุม และประวิทย์ โตวัฒนะ (2558) วัชพืชน้ำ คือ ผักตบชวาและผักกระเฉด รวมถึงวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอย่างขี้เถ้าแกลบ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุในการทำปุ๋ยหมัก และวัสดุปลูกได้เป็นอย่างดี ชัยมงคล ใจหล้า (2558) ได้รายงานแร่ลีโอนาร์ไดต์ ถือว่าเป็นวัตถุดิบคุณภาพดีที่สุด ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุมากที่สุด เท่ากับ 55.41 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 13.85 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ มีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ที่ไม่แตกต่างกัน คือ มีค่าอยู่ในช่วง 20.24-28.62 และ 5.06-7.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และส่วนผสมของ แร่ลีโอนาร์ไดต์: หินบะซอลต์ละเอียด: ผักตบชวาหมัก: มูลสุกร: มูลไก่ ในอัตราส่วน 3:1:1:3:2 โดยน้ำหนัก มีปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของอัตราส่วนผสมปุ๋ยสูงที่สุด เท่ากับ 28.36 และ 2.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กองวิจัยและพัฒนาข้าว (2551) รายงานผลเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ที่ปริมาณธาตุอาหาร N, P_2O_5 และ K_2O เท่ากับ 1.43, 0.48 และ 0.47 เปอร์เซ็นต์ กับปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับมูลสุกร ที่ปริมาณธาตุอาหาร N, P_2O_5 และ K_2O เท่ากับ 1.85, 4.81 และ 0.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณมูลสุกรร่วมกับปุ๋ยหมักผักตบชวา ส่งผลให้ปริมาณปริมาณธาตุอาหาร N, P_2O_5 และ K_2O เพิ่มขึ้น ขณะที่ ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร (2556) รายงานว่า ในมูลไก่มีปริมาณธาตุอาหาร N และ P_2O_5 อยู่ที่ 2.1 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแหล่งไนโตรเจนดังกล่าวเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลาย

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่าง 5.5-8.5 ซึ่งเป็นระดับที่เป็นประโยชน์กับพืชมากที่สุด ซึ่งเมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดิน จะไม่เพิ่มความเป็นกรดให้กับดิน ถ้าดินมีความเป็นกรดสูง ส่งผลให้ธาตุ P และ K จะถูกตรึงไว้ ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ส่งผลให้พืชขาดอาหารดังกล่าว (ปรัชญา นามวงค์ และอรอุมา เมธาเกษร, 2557, สื่อออนไลน์) ซึ่งสองคล้องกับการทดลอง พบว่า ทุกกรรมวิธีมีค่า pH อยู่ในระดับที่เป็นประโยชน์กับพืชมากที่สุด และผ่านมาตรฐานตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร

การทดลองที่ 3 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน

ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในระดับโรงเรือน พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีผลการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตดีที่สุด ได้แก่ ความสูง จำนวนใบ จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และน้ำหนักเมล็ดต่อกอดีที่สุด เนื่องจากปุ๋ยเคมีสามารถละลายน้ำได้ดี และปลดปล่อยธาตุอาหารได้เร็ว และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที รวมถึงมีปริมาณธาตุอาหารต่อหน่วยน้ำหนักสูง

(กรมส่งเสริมการเกษตร, 2555, สื่อออนไลน์) ในขณะที่ต้นข้าวที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผักตบชวาหมักที่ย่อยสลายด้วยเชื้อรา *M. ellipsoideus* + *R. oryzae* + *T. harzianum* ส่งเสริมการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตรองจากปุ๋ยเคมี เนื่องจากเชื้อราย่อยสลายทั้ง 3 ชนิดสามารถย่อยสลายผักตบชวาและเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่พืชได้ ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยาของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ อบจ. พะเยา พบว่า ในขั้นตอนการปั้นเม็ด มีการใช้ความร้อนเพื่อให้การปั้นเม็ดดีขึ้น ทำให้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตรากว๊านพะเยาที่เติมลงไปมีการละลายได้ช้า ทำให้ใช้เวลานานกว่าธาตุอาหารจะเป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนี้ อาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายผักตบชวาและส่วนผสมอื่น ๆ ยังไม่สมบรูณ์ เพราะไม่ได้เติมจุลินทรีย์ย่อยสลายไปเพิ่ม ส่งผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นประโยชน์ให้แก่พืช ในขณะที่ Yamazaki and Harada (1982) พบว่า เมื่อปุ๋ยอินทรีย์หรืออินทรียวัตถุ ที่ใส่ลงไปในดินนั้น สามารถปรับปรุงโครงสร้างของดิน และส่งเสริมการใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยของข้าวแล้ว ยังช่วยส่งเสริมระบบรากข้าวซึ่งมีปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับการเพิ่มผลผลิตข้าวอีกด้วย และอนนท์ สุขสวัสดิ์ (2543) ได้รายงานว่า เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์เติมลงในดิน ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงขึ้น สอดคล้องกับการทดลอง พบว่า ทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และมีความสำคัญต่อการปลูกพืช เนื่องจากเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารพืช และช่วยปรับปรุงโครงสร้างทางด้านกายภาพของดิน จากการรายงานของพัฒน์พงษ์ เกิดหล้า, ชุติมา จันทร์เจริญ และทรายแก้ว อนากาศ (2555) ปุ๋ยหมักจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ที่สามารถให้ฮิวมัสแก่ดิน จึงมีผลต่อการกำหนด และควบคุมคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางชีวภาพในดิน เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ในดิน เช่น การย่อยสลายอินทรีย์สารที่ผสมคลุกเคล้าลงไปในดินจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลส ซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์ Cellulose และ Xylanase จนกระทั่งย่อยสลายจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ต่าง ๆ และสารประกอบที่เป็นเมือก (Slimy material) ธาตุอาหารต่าง ๆ และฮิวมัส การแปรสภาพของอินทรีย์สารจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น การเปลี่ยนรูปอนุมูลแอมโมเนียม ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชดูดไปใช้ได้ยาก ให้อยู่ในรูปไนไตรท์และเป็นไนเตรต ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้ง่าย โดยกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ Nitrifying bacteria เช่น *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp. ชนะ ศรีสมภาร และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาข้าวไม่ไวแสงมีการตอบสนองต่อปุ๋ย พบว่า ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงขึ้นทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการทดลอง พบว่า ต้นข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงที่สุด แต่การใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันในระยะเวลานาน ซึ่งขาดการปรับปรุงบำรุงดินหรือการเติมอินทรีย์วัตถุ ส่งผลให้สภาพดินมีความเสื่อมโทรม ขาดความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก คือ ดินจับตัวเป็นก้อนแข็งเมื่ออยู่ในสภาวะดินแห้ง ส่งผลให้ดินเป็นกรด หรือดินมีความเค็มเพิ่มขึ้น

รวมถึงส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศข้างเคียง ซึ่งเป็นผลจากการปนเปื้อนของธาตุอาหารในดินหรือน้ำ และอาจส่งผลกระทบต่อผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม Dormaar and Chang (1995); สุจิตรา ชูเกิด, ทิพย์ทิวา สัมพันธมิตร และวิชุดา เกตุใหม่ (2555) ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีแปลงปลูก พบมีสารเคมีตกคงเป็นเวลานาน ซึ่งนอกจากธาตุอาหารหลักที่คงเหลือแล้ว ยังพบโลหะหนักที่สะสมในปริมาณสูง อาจส่งผลต่อสุขภาพของชาวนา และระบบนิเวศในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ

การหมักปุ๋ยควรมีการระบายน้ำในกองปุ๋ยให้ถ่ายเทได้สะดวก เนื่องจากน้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศ ส่งผลให้มีอากาศน้อยลง ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หรืออีกนัยหนึ่งคือ ทำให้จุลินทรีย์ขาดอากาศ เป็นผลให้การสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักช้าลง หรือทำให้เศษซากพืชเน่าเสียหายก่อนที่จะเป็นปุ๋ยหมัก

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมการข้าว. (2559). **สถานการณ์การผลิตและการตลาดข้าวของโลก ปีการผลิต 2558/2559.** กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมการค้าต่างประเทศ. (2559). **สถานการณ์ข้าวไทยเดือนกุมภาพันธ์ 2559.** กรุงเทพฯ: กองบริหารการค้าข้าว.

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

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2553). **ดินและปุ๋ย.** สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2555, จาก http://www.doae.go.th/spp/biofertilizกรมส่งเสริมการเกษตร. er/or4.htm

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2555). **ข้อดีข้อด้อย และข้อควรระวังของปุ๋ยเคมี**. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2560, จาก http://www.agriqua.doae.go.th/pdf_agricultural_data/organic/notice_fertilizer.pdf

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. (2560). **คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่ขุดลอกจากแหล่งน้ำ.** สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2560, จาก http://www.ldd.go.th/www/files/78377.pdf

กองวิจัยและพัฒนาข้าว. (2551). **องค์ความรู้เรื่องข้าว (Rice Knowledge Bank– RKB).** สืบค้นเมื่อ 1 มกราคม 2559, จาก http://www.brrd.in.th/rkb/history/history.html

จรรตกร รอดอยู่ และสมบัติ ชิณะวงศ์. (2558). การแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสจากธรรมชาติ เพื่อผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายปาล์มเปล่า. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ,** 18(3), 40–48.

จันทร์เพ็ญ ประคองวงศ์ (ผู้บรรยาย). (9–11 ตุลาคม 2538). ชีววิทยาและนิเวศวิทยาผักตบชวา. ใน **การประชุมการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 2** (หน้า 33–45). เชียงใหม่: โรงแรมเพชรงาม.

จารุชา ยี่แสง, จรัญเพ็ชร สุขเขียว และไอรดา ดวงจันทร์. (2558). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไคโตซานจาก *Mucor* sp. และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อก่อโรค. **วารสารวิจัยสหวิทยาการไทย,** 10(2), 44–51.

จิระเดช แจ่มสว่าง. (2545). **เทคนิคการขยายเชื้อราไตรโคเดอร์มาโดยใช้หัวเชื้อบริสุทธิ์.** นครปฐม: ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

เฉลิมชัย แพะคำ. (2557). **การประยุกต์ใช้เชื้อจุลินทรีย์ท้องถิ่นในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวและป้องกันการเกิดโรคใบไหม้ในข้าว.** วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

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

ชนะ ศรีสมภาร, กรรณิกา นากลาง, เอกสิทธิ์ สกุลคู และสุขวิทยา ภาโสภะ. (2552). **การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวนาชลประทานสายพันธุ์ดีเด่นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** อุบลราชธานี: ศูนย์วิจัยข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.

ชวนพิศ เรืองจรัส. (2551). **การคัดเลือกจุลินทรีย์เพื่อการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายปาล์มน้ำมัน.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

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

ดวงเดือน ภู่เจริญ. (2543). **ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตกรดแลกติกโดยเชื้อ *Rhizopus oryzae* NRRL 395 จากแป้งมันสำปะหลัง.** กรุงเทพฯ: ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย.

ไทยเกษตรศาสตร์. (2554). **ปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้.** สืบค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2558, จาก http://www.thaikasetsart.com

ธเนศ แซ่วหลี, วชิรดา ทิพย์อุบล, ยุพิน ไชยเสนา, นุชสุพร กฤษฎาธาร, อธิวัฒน์ สิทธิภิญญาพัฒน์, สุพัตรา บุตรพลวง และคณะ. (2559). ศักยภาพของปุ๋ยชีวภาพราไตรโคเดอร์มาเพื่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอราบิก้า. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์,** 3(1), 48–55.

ธีระ วีณิน. (2557). **ปัจจัยที่ Fungi ต้องการในการเจริญเติบโต (Growth needs of fungi).** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2558, จาก http://www.buranapagroup.com/knowledge_fungi.php

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. (2558). **การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมากแบบไม่พลิกกลับกองวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1.** สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2560, จาก http://www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/20134101431451.pdf

นันทวัน ฤทธิ์เดช. (2556). ข้อควรพิจารณาก่อนทำปุ๋ยหมัก. **วารสารแก่นเกษตร,** 41(3), 595–606.

นิชรัตน์ ศรีโสภณ. (2558). การคัดเลือกจุลินทรีย์ดินในการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายผักตบชวาหมักและเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชเพื่อผลิตปุ๋ยหมักผักตบชวา. **วารสารแก่นเกษตร,** 43(1), 367–372.

นุชนารถ จงเลขา. (2535). **เอกสารประกอบคำสอนวิชาราวิทยา.** เชียงใหม่: ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปรัชญา ธัญญาดี. (2541). **ปุ๋ยไนโตรเจน.** กรุงเทพฯ: สมาคมวิทยาศาสตร์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ปรัชญา นามวงค์ และอรอุมา เมธาเกษร. (2557). **การศึกษาผลการเติมส่วนประกอบในปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1.** สืบค้นเมื่อ 31 มีนาคม 2560, จาก http://hrd.rmutl.ac.th/qa/docUpload/pj/3520500382531/150722082953gain.pdf

เปรมสุดา จิ๋วนอก. (2556). **ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแหล่งไนโตรเจนกับเวลาการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พนิดา ปรีเปรมโมทย์, พิกุล เกตุชาญวิทย์ และดวงใจ วัยเจริญ. (2556). การสำรวจความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่ป่าไม้ภาคใต้ของประเทศไทย. **วารสานแก่นเกษตร,** 41(2), 103–112.

พรอำไพ แย้มมณฑา. (2560). **จุลินทรีย์ในอาหาร.** สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2560, จาก http://www.swbvc.ac.th/pdf/Chapter%204%20microorganisms.pdf

พรเทพ ถนนแก้ว. (2538). **ภาวะเหมาะสมของการผลิตเซลลูเลสจากเชื้อราที่คัดแยกจากบริเวณปลูกป่าศรนารายณ์.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พัฒน์พงษ์ เกิดหล้า, ชุติมา จันทร์เจริญ และทรายแก้ว อนากาศ. (2555). **การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับการใช้ปูนและจุลินทรีย์ควบคุมสาเหตุของโรคพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตพริกขี้หนูในกลุ่มชุดดินที่ 33.** พิษณุโลก: สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 8 กรมพัฒนาที่ดิน.

พิมพ์ชนา วงศ์พิศาล, พรศิลป์ สีเผือก, ชัยสิทธิ์ ปรีชา และวุฒิชัย สีเผือก. (2559). การคัดเลือกเชื้อราที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซแลนเนสจากซากใบปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.). **วารสารแก่นเกษตร,** 44(1), 948–952.

ภัทรา วงษ์พันธ์กมล, ยุทธนา มานะกิจ, และอาณัฐ ฮาวกันทะ. (2552). **การหมักทำปุ๋ยชีวภาพจากกากน้ำตาล.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ.

ภาวนา ลิกขนานนท์. (2549). **คู่มือปุ๋ยอินทรีย์ (ฉบับนักวิชาการ).** กรุงเทพฯ: ชุมชุนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ภาวนา ลิกขนานนท์, สุปรานี มั่นหมาย, ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต และธูปหอม พิเนตรเสถียร. (2553). **การผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยการเพิ่มเชื้อจุลินทรีย์เพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงแก่พืช.** กรุงเทพฯ: กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร.

มงคล ต๊ะอุ่น, สมบูรณ์ ประภาพรรณพงษ์, เชาว์วัช หนูทอง และณัฐภูมิ สุดแก้ว. (2551). **คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด-ปั้นเม็ด.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกษตรธรรมชาติ.

ยงยุทธ์ ศรีศุภภักดี และจิรศักดิ์ คงเกียรติขจร. (2557). การคัดเลือกและวิเคราะห์ชนิดเชื้อราเซลลูโลไลติกเพื่อการผลิตเอทานอล. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 10, 265-276.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. (2556). **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** นครปฐม: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

รัชชนก ปิ๋วท่าไม้, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล และรัติยา พงศ์พิสุทธา. (2556). **ผลของแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Beauveria bassiana* และ *Chaetomium globosum* เพื่อพัฒนาเป็นสารชีวภัณฑ์ป้องกันกำจัดศัตรูพืช.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งนภา ฟองดาวิรัตน์. (2559). **จุลชีววิทยา Microbiology.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2559, จาก http://rungnapaqq4.blogspot.com/2016/02/4-1.html

วิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก, กนิษฐา ทองเกล็ด และมนัส ทิตย์วรรณ. (2558). ประสิทธิภาพของเชื้อราสาเหตุโรคพืชในการใช้ควบคุมผักตบชวาโดยชีววิธี. **วารสารแก่นเกษตร,** 43(1), 933-938.

วิราวรรณ สายชล และนพพล เล็กสวัสดิ์. (2558). **เอนไซม์อินเวอร์เทส.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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

ศุภฤกษ์ ดวงขวัญ. (2554). **การจัดการผักตบชวา.** สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2559, จาก http://reo06.mnre.go.th/home/images/upload/file/report/work2554/ supareak01.pdf

ศรีศักดิ์ ธานี. (2560). **สารเร่งซุปเปอร์ พด.3.** สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2560, จาก http://cri01.tk/ สารเร่งซุปเปอร์-พด-3.html

สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้. (2555). **เซลลูโลส (Cellulose).** มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2559, จาก http://www.il.mahidol.ac.th/th/index.php/2012-09-11-07-32-25/2012-09-12-07-17-23/21-2012-09-17-07-14-47.html

สภาวิศวกร. (2553). **การทำปุ๋ยหมัก.** สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2558, จาก http://www.coe or.th/coe2. /main/coeHome.php?a Menu=91401aNo=154

สมคิด รื่นภาควุฒิ. (2548). **จุลินทรีย์ในอาหารและการรับรองคุณภาพ.** กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

สมจิตร อยู่เป็นสุข. (2552). **ราวิทยา (Mycology).** เชียงใหม่: พงษ์สวัสดิ์การพิมพ์.

สมศักดิ์ จีรัตน์. (2553). **การผลิตปุ๋ยหมักเพื่อใช้ในการปรับปรุงดินและรักษาสิ่งแวดล้อม.** เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยสาธิตและฝึกอบรมการเกษตรแม่เหียะ.

สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2559). **ข่าวสมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2559, จากhttp://www.thairiceexporters.or.th/Press%20release/2016/TREA%20Press%20Release%20Thai%20Rice%20Situation%20&%20Trend%202016-27012016.pdf

สันธิวัฒน์ พิทักษ์พล. (2556). **กว๊านพะเยา 2556: ปัญหาและโอกาสในการพัฒนาบนฐานความรู้และความร่วมมือของชาวพะเยา.** สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2559, จาก http://www.kwan.up.ac.th/prj2558/doc/staff-doc1.pdf

สิริวรรณ สุนทรศารทูล. (2550). **การศึกษาคุณสมบัติบางประการของรา *Mucor* sp. และยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เพื่อการผลิตสาโทจากธัญพืชชนิดต่าง ๆ.** สืบค้นเมื่อ 21 พฤศจิกายน 2559, จาก http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/General_Science/2550/Bs/SiriwanSu/SiriwanSuAll.pdf

สืบสกุล พึ่งตนเอง, อาภรณ์ วงษ์วิจารณ์ และศิววรรณ พูลพันธุ์. (2550). **การเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยในกากมันสำปะหลังโดยการหมักของเชื้อรา.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพร ทนส่งผล. (2560). **การทำปุ๋ยหมักชีวภาพ.** สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2560, จาก http://cddata.cdd.go.th/cddkm/prov/km1_viewlist.php?action=view&div=36&kid=2867

สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. (2554). **ปุ๋ยอินทรีย์เคมีที่ชุมชนควรรู้.** สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2556, จาก http://www.surdi.su.ac.th/paper_public/Fertilizer-new.pdf

สุจิตรา ชูเกิด, ทิพย์ทิวา สัมพันธมิตร และวิชุดา เกตุใหม่ (ผู้บรรยาย). (12–13 มกราคม 2555). การตกค้างของสารเคมีจากการทำนา. ใน **การประชุมวิชาการพะเยาวิจัย ครั้งที่ 1** (หน้า 103–108). พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.

สุนทรี ยิ่งชัชวาล. (2554). **ใช้อินทรียวัตถุให้ถูกประเภท.** นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

สุภาพร บัวชุม และประวิทย์ โตวัฒนะ (ผู้บรรยาย). (28–29 เมษายน 2558). การทำปุ๋ยหมักและวัสดุปลูกจากวัชพืชน้ำ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. ใน **การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6** (หน้า 546–577). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). **การเพิ่มผลผลิตข้าว.** สืบค้นเมื่อ 26 มีนาคม 2560, จาก http://www3.oae.go.th/rdpcc/images/filesdownload/km/Knowledge/agricultural/1.2.pdf

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. (2552). **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน.** สืบค้นเมื่อ 3 ธันวาคม 2558, จาก http://www.brrd.in.th/library/document/E-book/brrd5202031c1.pdf

สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. (2551). **การจัดการอินทรียวัตถุเพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร และสหกรณ์.

อนนท์ สุขสวัสดิ์. (2543). การจัดการฟางข้าวเพื่อการปรับปรุงดิน และเพิ่มผลผลิตข้าว. **วารสารวิชาการเกษตร,** 18, 280–286.

อภิวิชญ์ ทองแก้วยวน และ ธนัญชนก ไชยรินทร์. (2559). การคัดเลือกแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการผลิตเอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อรา *Metarhizium anisopliae* PSUM02 ในสภาพการเลี้ยงเชื้อด้วยอาหารแข็ง. **วารสารแก่นเกษตร,** 44(1), 924–929.

อโณทัย คมเศวต. (2535ก). **จุลชีววิทยาทางอาหาร (Food Microbiology)** (พิมพ์ครั้งที่ 2). เชียงใหม่: สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.

อโณทัย คมเศวต. (2535ข). **เอกสารคำสอน: จุลชีววิทยา (Microbiology)** (พิมพ์ครั้งที่ 3). เชียงใหม่: สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.

อานุภาพ แก้วกอง. (2541). **การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้ง และกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศ.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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

Alvarez, E., Cano, J., Stchigel, A. M., Sutton, D. A., Fothergill, A. W., Salas, V., et al. (2007). Evaluation of bacteria isolated from rice for plant growth promotion and biological control of seedling disease of rice. **Medical Mycology,** 49(10), 62–72.

Arantes, V. and Saddler, J. N. (2010). Access to cellulose limits the efficiency of enzymatic hydrolysis: the role of Amorphogenesis. **Biotechnology for Biofuels,** 3(4), 4–14.

Ashraf, R., Shahid, F. and Ali, T.A. (2007). Association of fungi, bacteria and actinomycetes with different composts. **Pakistan Journal of Botany.** 39(6), 2141–2151.

Barron, G. (2005). **Rhizopus Mold Species.** Retrieved January 2, 2016, from http://www.mold.ph/rhizopus.htm

Bates, R. P. and Hentges, J. F. (1976). Aquatic weeds – Eradicate or cultivate. **Economic Botany,** 30(1), 39–50.

Bertoldi, M., Vallini, G. and Pera, A. (1983). The biology of composting: A review. **Waste Management and Research,** 1(2), 157–176.

Bonifaz, A. (2012). ***Mucor* spp.** Retrieved January 2, 2016, from https://www.moldbact dbacteria.com/mold/mucor.html

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

Dormaar, J. F. and Chang, C. (1995). Effect of twenty annual applications of excess feedlot manure on labile soil phosphorus. **Can. J. Soil Sci,** 75(4), 507–512.

EOL. (2014). **Morphology.** Retrieved April 3, 2017, from http://eol.org/data_objects/3 1520613

Hari, K. S., Janardhan, R. T. and Chowdary, G. V. (2001). Simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulosic wastes to ethanol using a thermotolerant yeast. **Bioresour Technol**, 77(2), 193–6.

Harman, G. E. (2006). Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. **Phytopathology,** 96(2), 190–194.

Hoitink, H. A. S. (1986). Basic for the control of soil borne plant pathogens with composts. **The Annual Review of Phytopathology,** 24(1), 93–114.

Inciong, N. B. (1996). **Uses of organic fertilizers in vegetables and other crops.** Retrieved November 26, 2015, from http://www2.rda.go.kr/kpms/ipsm/Korean/03_un dp/morgue/in/inm01.htm.

Jackson, K. (2016). **Mucor.** Retrieved November 29, 2016, from https://www.moleria.com/mold/mucor.html

Jackson, M. P. (1958). **Soil Chemical Analysis.** New Jersey: Prentice–Hall Inc.

Jesus, S. R. and Yolanda, F. R. (2002). **Maize crop yield prediction through satellite images and mathematical models.** Retrieved Aprilr 9, 2017, http://www.ldd.go.th/Wcss2002/papers/1393.pdf.

Julia, B. M., Belen, A. M., Georgina, B. and Beatriz, F. (2016). Potential use of soybean hulls and waste paper as supports in SSF for cellulose production by *Aspergillus niger*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology,** 6, 1–8.

Karimi, K., Brandberg, T., Edebo, L., and Taherzadeh, M. J. (2005). Fed–batch cultivation of *Mucor indicus* in dilute–acid lignocellulosic hydrolyzate for ethanol production. **Biotechnology Letters,** 27(18), 1395–1400.

Poincelot, R. P. (1975). **The biochemistry and methodology of composting.** New Haven: Connecticut Agricultural Experiment Station.

Rebollido, R., Martinez, J., Aguilera, Y., Melchor, K., Koerner, R. and Stegmann, R. (2008). Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. **Applied Eco and Envi Res,** 6(3), 61–67.

Reetha, S., Bhuvaneswari, G., Selvakumar, G., Thamizhiniyan, P. and pathmavathi M. (2014). Effect of temperature and pH on growth of fungi *Trichoderma harzianum.* **Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences,** 4(4), 3287–3292.

Sannigrahi, A. K. (2009). Biodegradation of leaf litter of tree species in presence of cow dung and earthworms. **Indian journal of Biotechnology,** 8(3), 335–338.

Singh, A., Shahid, M., Srivastava, M., Pandey, S. and Sharma, A. (2014). Optimal Physical Parameters for Growth of *Trichoderma* Species at Varying pH, Temperature and Agitation. **Virology and Mycology,** 3(1), 127.

Surabhi, S., Vinod, K. N. and Ashish, S. (2014). Production of ferulic acid esterase from *Trichophyton ajelloi* MTCC 4878. **Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences,** 7(2), 13–17.

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.

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 Sci**, 37, 29–37.

Wanapat, M., Maskasem, C. and Sornsoongnern, N. (1989). Utilitzation of dried water hyacinth leaf meal (*Eichhornia crassipes* Mart.) in a supplement for crossbred dairy steers. **Khon–Kaen Agriculture Journal,** 17(1), 50–56.

Waterhouse, G. M. (1963). Key to the species of Phytophthora de Bary. **Mycological,** 92, 1–22.

Wilson, W., Hughes, W. E., Tomamichel, W. and Roach, P. J. (2004). Increased glycogen storage in yeast results in less branched glycogen. **Biochem Biophys**, 320(2), 416–23.

Yamazaki, K. and Harada, J. (1982). The root system formation and its possible bearings on grain yield in rice plants. **Japan Agriculture Research Quarterly,** 15, 153–160.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

การเตรียม Malt extract agar (MEA)

Malt extract	20	กรัมต่อลิตร
แหล่งไนโตรเจน	1	กรัมต่อลิตร
แหล่งคาร์บอน	20	กรัมต่อลิตร
Agar	20	กรัมต่อลิตร

ละลายส่วนผสมทั้งหมด โดยการต้มร่วมน้ำกลั่นในปริมาณ 1 ลิตร จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

1. วิธีวิเคราะห์ความชื้น

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

วิธีคำนวณ

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

2. วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน

2.1 วิธีการเตรียม Reagent

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

2.1.2 สารละลาย $FeSO_4.7H_2O$ (Reducing agent) ความเข้มข้น 0.5 N ชั่ง $FeSO_4.7H_2O$ จำนวน 139.0085 กรัม [หรือใช้ $(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O]$ จำนวน 196.07 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ถ่าย และล้างใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติม 98 เปอร์เซ็นต์ H_2SO_4 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.1.3 สารละลาย O–phenonthroline ferrous sulfate indicator ชั่ง O–phenontholine จำนวน 0.74 กรัม และ $FeSO_4.7H_2O$ จำนวน 0.35 กรัม ใส่ Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนจนละลายหมด

2.1.4 สารละลาย Silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ H_2SO_4 ชั่ง Ag_2SO_4 จำนวน 15 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 2,000 มิลลิลิตร เติม 98 เปอร์เซ็นต์ H_2SO_4 1 ลิตร คนให้เข้ากัน

2.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 0.1xxx กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตต์สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในตัวอย่างปุ๋ย เติม 98 เปอร์เซ็นต์ H_2SO_4 หรือสารละลาย Ag_2SO_4 ใน 98 เปอร์เซ็นต์ H_2SO_4 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างปุ๋ย อย่างช้า ๆ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน 16 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย O-phenontroline ferrous sulfate ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร

2.3 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาไทรเทรต ด้วยสารละลาย $FeSO_4.7H_2O$ จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง แสดงว่า ถึงจุดยุติ บันทึกผล

หมายเหตุ: ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างปุ๋ย และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างปุ๋ย

2.4 วิธีคำนวณ

$$\text{อินทรีย์คาร์บอน (OC) (\%)} = \frac{0.3896 \times N \times \text{มิลลิลิตรของ } K_2Cr_2O_7\ (C-D)}{\text{น้ำนักของตัวอย่าง (กรัม)} \times C}$$

B = ปริมาณของ $K_2Cr_2O_7$ ที่เติมลงไปในตัวอย่าง และ Blank (มิลลิลิตร)

C = ปริมาตรของ $FeSO_4.7H_2O$ ที่ titrate พอดีกับ $K_2Cr_2O_7$ ในตัวอย่าง

D = ปริมาตรของ $FeSO_4.7H_2O$ ที่ titrate พอดีกับ $K_2Cr_2O_7$ ในตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นเป็น Normal ของสารละลายมาตรฐาน

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

ค่า C/N = (%O.C.)/(%TN)

% TN = ปริมาณ Total Nitrogen (เปอร์เซ็นต์)

3. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรดด่าง

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

หมายเหตุ ในกรณีที่วิเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนปุ๋ย: น้ำ = 1:2 ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากตัวอย่างดูดน้ำมาก ให้ใช้อัตราส่วน ปุ๋ย: น้ำ = 1:10 และระบุไว้ในรายงานผลวิเคราะห์

4. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1 ใส่ใน Beaker

ขนาด 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดสภาพนำไฟฟ้า ด้วย Conductivity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส บันทึกข้อมูล

5. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 0.3xxx กรัม ใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 800 มิลลิลิตร เติม [$C_6H_4(OH).COOH$] จำนวน 2 กรัม เติม 98 เปอร์เซ็นต์ H_2SO_4 ปริมาณ 40 มิลลิลิตร และ ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) จำนวน 5 กรัม นำไปตั้งบนเตาย่อยตัวอย่าง ทำการย่อยตัวอย่างโดยใช้ไฟปานกลาง จนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำตาล ปิดไฟ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติม Mixed catalyst จำนวน 10 กรัม แล้วทำการย่อยอีกครั้งจนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดไฟ ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย NaOH ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และ Zinc granular จำนวน 5 กรัม นำ Kjeldahl flask ต่อกับเครื่องกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริกปริมาณ 100 มิลลิลิตร และสารละลาย Mixed indicator ปริมาณ 4–5 หยด ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายใน Erlenmeyer flask ปริมาณ 350 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทกับสารละลาย HCl มาตรฐาน 0.2 N บันทึกผล ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

วิธีคำนวณ

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

6. วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

6.1 การเตรียม Reagent

6.1.1 กรดผสม HNO_3:$HClO_4$ อัตรา 1:1 ผสม 69–70 เปอร์เซ็นต์ HNO_3 กับ 69–70 เปอร์เซ็นต์ $HClO_4$ อัตราส่วน 1:1

6.1.2 สารละลาย Molybdovanadate reagent ชั่ง $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ จำนวน 40 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันทิ้งไว้ให้เย็น ชั่ง NH_4VO_3 ปริมาณ 2 กรัม ใส่ Beaker ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม 69–70 เปอร์เซ็นต์ $HClO_4$ ปริมาณ 450 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็น ค่อย ๆ รินผสมสารละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ ลงในสารละลาย NH_4VO_3 ใน Volumetric flask ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เขย่าให้เข้ากัน และถ่ายเก็บไว้ในขวดสีชา

6.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

6.2.1 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Standard P) 1,000 ppm ชั่ง KH_2PO_4 ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.0984 กรัม ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลาย และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

6.2.2 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ Volumetric flak ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

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

6.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 0.3xxx–1.xxxx กรัมใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร หรือใส่ Digestion tube เติมกรดผสม HNO_3:$HClO_4$ ปริมาณ 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน Hot plate หรือ Digestion block ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือสารละลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จากนั้นยกลงจาก Hot plate หรือ Digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นใส่ Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็นสารละลายมีตะกอนขุ่นนำไปผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

6.4 วิธีวิเคราะห์

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

6.5 วิธีคำนวณ

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

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

7. วิธีวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

7.1 การเตรียม Reagent

7.1.1 ชั่ง $CaCO_3$ จำนวน 12.5 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติม 36–38เปอร์เซ็นต์ HCl ปริมาณ 105 มิลลิลิตร ลงไปทีละน้อย นำไปต้มจนเดือด ทิ้งไว้ให้เย็น เทใส่ Volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

7.1.2 กรดผสม HNO_3:$HClO_4$ อัตรา 1:1 ผสม 69–70 เปอร์เซ็นต์ HNO_3 กับ 69–70 เปอร์เซ็นต์ $HClO_4$ ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

7.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

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

7.2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm (Working standard) ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 มิลลิลิตร ใส่ Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

7.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 1.xxxx กรัม ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดผสม HNO_3:$HClO_4$ จำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน Hot plate หรือ Digestion block ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือสารละลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จากนั้นยกลงจาก Hot plate หรือ Digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นใส่ Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็นสารละลายมีตะกอนขุ่น นำไปผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

7.4 วิธีวิเคราะห์

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

7.5 วิธีคำนวณ

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

ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

วิธีวิเคราะห์เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

นำตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น นำมาบดให้ละเอียด เก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์หาเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส จากนั้น ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโฮโลเซลลูโลส โดยวิธี acid chlorite ดวยวิธีของ Browning (1967) ใน method of wood chemistry เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส และวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส ตามวิธีการ TAPPI T203 om-88 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1988)

1. วิเคราะห์โฮโลเซลลูโลส

ชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่างปุ๋ย 3 กรัม ใสลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 160 มิลลิลิตร และกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรต 1.5±0.1 กรัม ตามลำดับ ลงในขวดก้นกลม และทำการทดลองในตูควัน นำขวดก้นกลมไปตั้งใน Water Bath ที่มีอุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยเขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ หลังจากครบ 1 ชั่วโมง เติมกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร ตามด้วย โซเดียมคลอไรต 1.5 กรัม ลงในสารละลายที่ยังร้อนอยู่แล้วเขย่าขวด หลังจากครบ 2 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง เมื่อครบชั่วโมงเติมกรดอะซิติกและโซเดียมคลอไรด์ เมื่อครบชั่วโมงนำขวดก้นกลมมาวางในอ่างน้ำแข็ง จนกระทั่งสารละลายในขวดมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แล้วนำสารละลายมากรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 3 ล้างด้วยน้ำเย็น และอะซีโตน หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก และเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส ต่อไป

$$\% \text{ โฮโลเซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของโฮโลเซลลูโลสหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)}} X100$$

2. วิธีวิเคราะห์เซลลูโลส

ชั่งตัวอย่างจากการวิเคราะห์ %โฮโลเซลลูโลสประมาณ 1.5±0.1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ลงไป ปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ที่ 2.5±2 องศาเซลเซียส คนจนกว่าเยื่อกระจายอย่างสมบรูณ์ แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ได้ 100 มิลลิลิตร คนสารละลายต่อเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมากรองสารละลาย หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น และ 10% กรดอะซิติก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 6 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วทำการชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณเซลลูโลส

$$\% \text{ เซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของเซลลูโลสหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)}} X100$$

โดยปริมาณเฮมิเซลลูโลสหาได้จากสมการ

% เฮมิเซลลูโลส = โฮโลเซลลูโลส–เซลลูโลส

ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน

วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน

1. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วิธีวิเคราะห์

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

2. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

วิธีวิเคราะห์

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

3. วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

3.1 การเตรียม Reagent

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

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

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

3.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างดิน จำนวน 2.xxxx กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตต์สารละลาย Potassium dichromate ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในตัวอย่างดิน

เติม 98% H_2SO_4 หรือสารละลาย Silver sulfate ใน 98% H_2SO_4 (กรณีตัวอย่างมี Chloride (Cl)) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างดินอย่างช้า ๆ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน ตู้ดูดควัน 16 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย O-phenanthroline ferrous sulfate 0.5 มิลลิลิตร

3.3 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรตด้วยสารละลาย Ferrous sulfate จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง แสดงว่า ถึงจุดยุติ บันทึกผล

หมายเหตุ: ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างดิน เตรียมและวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างปุ๋ย

3.4 วิธีคำนวณ

$$\% \text{ อินทรีย์คาร์บอน (OC)} = \frac{0.3896 \times N \times \text{ml of K2Cr2O7 (C-D)}}{\text{Weight of sample (g)} \times C}$$

B = ปริมาตร $K_2Cr_2O_7$ ที่เติมลงไปในตัวอย่างและ Blank (ml)

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

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

N = ความเข้มข้นเป็น Normal ของสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$

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

ค่า C/N = (%O.C)/(% Total nitrogen)

4. วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจน

4.1 วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจน

ชั่งตัวอย่างดิน จำนวน 2.xxxx กรัม ใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 800 มิลลิลิตร เติม [C_6H_4(OH).COOH] จำนวน 2 กรัม เติม 98% H2SO4 ปริมาณ 40 มิลลิลิตร และ ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) จำนวน 5 ครั้ง นำไปตั้งบนเตาย่อยตัวอย่าง ทำการย่อยตัวอย่างโดยใช้ไฟปานกลาง จนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำตาล ปิดไฟ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติม Mixed catalyst จำนวน 10 กรัม แล้วทำการย่อยอีกครั้ง จนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดไฟ ทิ้งไว้ให้เย็นเติมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย NaOH ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และ Zinc granular จำนวน 5 กรัม นำ Kjeldahl flask ต่อกับเครื่องกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ประมาณ 100 มิลลิลิตร และสารละลาย Mixed indicator ปริมาณ 4-5 หยด ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายใน Erlenmeyer flask ปริมาณ 350 มิลลิลิตร

นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทกับสารละลาย HCl มาตรฐาน 0.2 N บันทึกผล ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

4.2 วิธีคำนวณ

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

5. การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

5.1 การเตรียม Reagent

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

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

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

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

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

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

5.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

5.2.1 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Standard P) 1000 ppm

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

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

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

5.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

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

5.4 วิธีวิเคราะห์

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

5.5 วิธีคำนวณ

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

6. วิธีวิเคราะห์โพแทสเซียม

6.1 การเตรียม Reagent

6.1.1 ชั่ง Ammonium acetate (NH_4OAc) 77 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร หรืออาจเตรียม Acetic acid (conc. CH_3COOH) 57 มิลลิลิตร ใส่ในน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร เติม Acetic acid

(conc. CH_3COOH) 69 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 900-950 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จึงปรับให้เป็น pH 7.0

6.1.2 Stock solution solutions

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

6.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

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

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

6.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

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

6.4 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างตรวจวัดความเข้มข้น โดยตรวจวัดค่า Working standard ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer

6.5 วิธีคำนวณ

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

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล กนิษฐา ทองเกล็ด

วัน เดือน ปี เกิด 3 เมษายน 2535

ที่อยู่ปัจจุบัน 147 หมู่ 6 ตำบลพลวงสองนาง อำเภอสว่างอารมณ์ จังหวัดอุทัยธานี

ที่ทำงานปัจจุบัน –

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน –

ประสบการณ์การทำงาน –

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2557 วท.บ (เกษตรศาสตร์), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา

ผลงานตีพิมพ์

ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

กนิษฐา ทองเกล็ด, บุญร่วม คิดค้า และวิพรพรรณ์ เนื่องเม็ก (ผู้บรรยาย). (16–17 กุมภาพันธ์ 2559).การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อรา่ย่อยสลายผักตบชวา. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ครั้งที่ 6** (หน้า 225–235). ภูเก็ต: มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.

ผลงานตีพิมพ์อื่น ๆ

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