

การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา และ
การควบคุมคุณภาพการผลิตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
ตรากว๊านพะเยา



พลฤทธิ ทองคลี

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร

พฤษภาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา และ
การควบคุมคุณภาพการผลิตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
ตรากว๊านพะเยา



พลฤทธิ ทองคลี

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร

พฤษภาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา และการควบคุมคุณภาพ
การผลิตของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตราควีนพะเยา

ของ พลฤทธิ ทองคลี

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภิตา อ้าทอง)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. มนัส ทิตยวรรณ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญฤทธิ ลินคำงาม)

.....กรรมการ

(ดร. บุญร่วม คัดคำ)

.....กรรมการ

(ดร. วิพรพรรณ เนื่องเม็ก)

อนุมัติ

.....

(รองศาสตราจารย์รัตนา อัดตปัญญา)

คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

พฤษภาคม 2561

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. อุตสาหกรรม ประจำปี 2558 ที่ให้งบประมาณในการสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.บุญร่วม ดิศักดิ์ ประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างยิ่ง ที่คอยให้ความรู้ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนทำการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ ดร.วิพรพรรณ เนื่องเม็ก กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึงกรรมการ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ทิพย์วรรณ และ ดร.บุญฤทธิ์ ลินคำงาม

ขอขอบพระคุณ คุณวรวิทย์ บุรณศิริ นายองค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา หน่วยงานที่ร่วมให้ทุนและสนับสนุนวัสดุดิบ เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยภายในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์เครื่องจักรกล และบุคลากร ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และมหาวิทยาลัยพะเยา ในการอำนวยความสะดวกทางด้านห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัย ให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่น้อง หลักสูตรวิทยาศาสตร์การเกษตร และสาขาเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา และมารดา ที่คอยดูแล สนับสนุน และให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

พลฤทธิ์ ทองคลี่

เรื่อง: การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา และการควบคุมคุณภาพการผลิตของปุ๋ยอินทรีย์
อัดเม็ดตราควีนพะเยา

ผู้วิจัย: พลฤทธิ ทองคลี, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์การเกษตร), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2561

ประธานที่ปรึกษา: ดร. บุญร่วม คัดคำ, **กรรมการที่ปรึกษา:** รองศาสตราจารย์ ดร. มนัส ทิพย์วรรณ,
ดร. วิพรพรรณ เมืองเม็ก

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์, ไตรโคเดอร์มา, กระบวนการผลิต

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา และควบคุมคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตในเชิงการค้าให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์กำหนดไว้ ผลการทดลองพบว่า วัตถุประสงค์ที่โรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยานำมาใช้นั้นมี ความสัมพันธ์กับคุณภาพของปุ๋ยที่ผลิตได้ จนบางครั้งปุ๋ยที่ผลิตได้มีคุณภาพที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ กระทรวงฯ อย่างไรก็ตาม กระบวนการต่าง ๆ ในสายพานการผลิตของโรงงานนั้น ไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ ส่วนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มานั้น แสดงให้เห็นว่า (1) ความเข้มข้นสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ 1×10^9 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ที่ผสมกับกาน้ำตาลความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีความเหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ย แต่ยังไม่เหมาะสำหรับการผลิตในสายพานการผลิตของโรงงาน เนื่องจากขั้นตอนการลดความชื้นไม่เหมาะสมต่อการรอดชีวิตของเชื้อราไตรโคเดอร์มา (2) ปุ๋ยที่ไม่ผ่านขั้นตอน การลดความชื้นจะมีอัตราการรอดชีวิตของเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่สูงขึ้น อีกทั้งสามารถและเก็บรักษาได้ยาวนาน ขึ้นด้วย การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ขึ้นไปนั้น สามารถลดการเกิดโรคเหี่ยวที่มีสาเหตุจากเชื้อราเรียมโนเมล่อนได้ การใส่ปุ๋ยในครั้งนี้ให้ผลในเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของเมล่อนด้วย

Title: PRODUCT IMPROVEMENT FOR TRICHODERMA ORGANIC FERTILIZER AND QUALITY CONTROL KWAN
PHAYAO® OF ORGANIC FERTILIZER PELLETS TRADEMARK

Author: Phonrit Thongklee, Thesis: M.S. (Agricultural Science), University of Phayao, 2018

Advisor: Dr. Bunraum Khitka, **Co–advisor:** Associate Professor Dr. Manas Titayavan, Dr. Wipornpan Nuangmek

Keyword: Organic fertilizer, Trichoderma, Production process

Abstract

Experiments were aimed at the product improvement of organic fertilizer pellets in combination with *Trchoderma harzianum* Rifai and quality control for commercial organic fertilizer products by manufacturing standards of the ministry of agriculture. The results showed that some organic materials obtained from Phayao provincial administration organization's organic fertilizer pellets factory were found to be relatively poor in quality, resulting in failing to meet the acceptable DOA standard. However, the manufacturing process did not significantly affect the chemical properties of fertilizers produced at the plant. The data from development of products on the combining organic fertilizer pellets with *T. harzianum* revealed that (1) spores with the concentration 1×10^9 spores/ml mixed with 10% molasses solution was suitable for production of fertilizer but could not be used in the manufacturing industry because the process of industrial dehumidification in production was unsuitable for the survival of *T. harzianum* (2) Trichoderma mixed fertilizers with no dehumidification process allowed *T. harzianum* to have high survival rates and prolonged period of time. The application of *Trichoderma* organic fertilizer pellets at the rate of 50 kg/rai showed a reduction in the incidence of melon wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* f. cubense. The positive effects of combining fertilizers on plant growth and productivity was observed as well.

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่จะได้รับการจากการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ปύยอินทรีย์.....	4
วัตถุประสงค์หลักในการผลิตปύยอินทรีย์ของโรงปύยอินทรีย์องค์การบริหาร	
ส่วนจังหวัดพะเยา	11
กระบวนการผลิตปύยอินทรีย์ของโรงปύยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัด	
พะเยา	15
การควบคุมคุณภาพของปύยอินทรีย์.....	18
เชื้อรา <i>Trichoderma</i> spp.	19
เชื้อรา <i>Trichoderma harzianum</i>	22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3 วิธีดำเนินการวิจัย	32
การทดลองที่ 1 การควบคุมคุณภาพการผลิตปύยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงาน	
ปύยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา.....	32
การทดลองที่ 2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปύยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อรา	
ไตรโคเดอร์มา	33
การทดลองที่ 3 ศึกษาความเหมาะสมของการผลิตปύยอินทรีย์ผสมเชื้อรา	
ไตรโคเดอร์มาในสายพานการผลิตของโรงงาน.....	35
การทดลองที่ 4 ทดสอบประสิทธิภาพปύยอินทรีย์ผสมไตรโคเดอร์มาต่อการ	
ยับยั้งเชื้อร่าก่อโรคเหี่ยวในเมล่อน.....	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การทดลองที่ 5 ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมไตรโคเดอร์มา ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตในเมล่อน.....	37
สถานที่ทำการทดลอง.....	37
ระยะเวลาการทำการทดลอง	37
4 ผลการทดลอง	38
การทดลองที่ 1 การควบคุมคุณภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงาน ปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา.....	38
การทดลองที่ 2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายสปอร์และกากน้ำตาลต่อการ ผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา.....	53
การทดลองที่ 3 ศึกษาความเหมาะสมของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อรา ไตรโคเดอร์มาในกระบวนการผลิตของโรงงาน	60
การทดลองที่ 4 ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์ผสมไตรโคเดอร์มาต่อการ ยับยั้งเชื้อราก่อโรคเหี่ยวในเมล่อน.....	64
การทดลองที่ 5 ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมไตรโคเดอร์มา ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตในเมล่อน.....	66
5 บทสรุป	74
สรุปผลการวิจัย	74
อภิปรายผลการวิจัย.....	75
ข้อเสนอแนะ	80
บรรณานุกรม.....	81

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก ภาพผลการทดลอง.....	90
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์	94
ประวัติผู้วิจัย	102



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 ปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยสำหรับพืชที่มีในมูลสัตว์แห้งชนิดต่าง ๆ.....	12
2 ความเข้มข้นต่อน้ำหนักแห้งของธาตุอาหารในมูลสัตว์ 4 ชนิด.....	13
3 รายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลว.....	18
4 สูตรผสมของสารละลายสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มา และกากน้ำตาล	34
5 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของแร่ลิโอนาร์ไดต์จากการเข้าสู่แต่ละครั้ง.....	39
6 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักผักตบชวาจากการเข้าสู่แต่ละครั้ง.....	40
7 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของดินภูเขาไฟจากการเข้าสู่แต่ละครั้ง.....	40
8 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของมูลสุกรจากการเข้าสู่แต่ละครั้ง.....	41
9 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของมูลไก่จากการเข้าสู่แต่ละครั้ง.....	42
10 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนหลังผสมวัตถุดิบ จากการเข้าสู่เก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง	46
11 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนผ่านการบั่นเม็ด จากการเข้าสู่เก็บตัวอย่างแต่ละครั้งไตรโคเดอร์มา.....	47
12 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนหลังผ่านการอบ ครั้งแรก จากการเข้าสู่เก็บตัวอย่างแต่ละครั้งขั้นตอนของการผลิต	48
13 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนหลังผ่านการอบ ครั้งที่สอง จากการเข้าสู่เก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง	49
14 แสดงผลการศึกษาผลกระทบของกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์....	52
15 แสดงผลการตรวจหาเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มาบนเม็ด ปุ๋ยอินทรีย์.....	54
16 แสดงผลการตรวจนับปริมาณสปอร์ของเชื้อราไตรโคเดอร์มาบนเม็ดปุ๋ยอินทรีย์.....	56
17 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อรา ไตรโคเดอร์มาปุ๋ยอินทรีย์.....	57
18 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในแต่ละขั้นตอนของการผลิต	62
19 แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งโรคเหี่ยว และดัชนีการเกิดโรคเหี่ยว	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
20 แสดงความสูงของต้นเมล่อนในระดับโรงเรือน	68
21 แสดงค่าดัชนีความเขียวของใบเมล่อนในระดับโรงเรือน.....	69
22 แสดงจำนวนข้อต่อต้นของเมล่อนในระดับโรงเรือน	70
23 แสดงน้ำหนักผลผลิต ขนาดผล ความหนาเนื้อ ความแน่นเนื้อและปริมาณ ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเมล่อนในระดับโรงเรือน.....	71



สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 เครื่องตีป่นหรือบดวัตถุดิบ.....	6
2 เครื่องผสมวัตถุดิบ	7
3 เครื่องบดแบบแรงหมุน.....	8
4 เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยแบบมินเซอร์.....	8
5 เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยแบบอัดเม็ดออกด้านข้าง (pellet mill)	9
6 จานปั่นเม็ด	10
7 ท่อลดความชื้น.....	11
8 ขั้นตอนที่ 1 เตรียมวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์	16
9 ขั้นตอนที่ 2 ผสมวัสดุอินทรีย์ในเครื่องผสมปุ๋ยอินทรีย์.....	16
10 ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนปั่นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์	17
11 ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการลดความชื้นปุ๋ยอินทรีย์ด้วยความร้อน จำนวน 2 ครั้ง	17
12 ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนการคัดขนาดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ และบรรจุกระสอบ.....	17
13 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ <i>Trichoderma hamatum</i>	19
14 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ <i>Trichoderma reesei</i>	20
15 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ <i>Trichoderma longifialidicum</i>	21
16 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ <i>Trichoderma harzianum</i>	23
17 โครงสร้างทางเคมีของสาร trichodermin.....	24
18 โครงสร้างทางเคมีของสาร alamethicine (antibiotic U-22324), trichotoxin, trichopolyns และ trichoianines.....	24
19 การเป็นปรสิตของเชื้อราไตรโคเดอรมาเป็นการสร้างเส้นใยเจริญพันรอบ ๆ เส้นใยของเชื้อสาเหตุโรคพืช.....	25
20 วัสดุอินทรีย์ที่โรงงานใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์	43
21 กิจกรรมการเข้าสู่เม็บบัวอย่างวัตถุดิบและปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา.....	51
22 ผลของการมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอรมาในปุ๋ยอินทรีย์หลังเก็บรักษานาน 30 วัน	55

สารบัญภาพ

ภาพ

หน้า

23	แสดงระดับการให้คะแนนของโรคที่ใช้ในการประเมินการควบคุมโรค Fusarium wilt ของเมล่อน	64
24	การเจริญเติบโตของเมล่อนในระดับโรงเรือนในแต่ละกรรมวิธี	67
25	ผลผลิตของเมล่อนในระดับโรงเรือนในแต่ละกรรมวิธี	73
26	เปรียบเทียบคุณสมบัติของแรลลิโบนาร์ไดต์จากการเข้าสู่เมล็ดละลือต	90
27	เปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยหมักผักตบชวาจากการเข้าสู่เมล็ดละลือต	90
28	เปรียบเทียบคุณสมบัติของดินภูเขาไฟจากการเข้าสู่เมล็ดละลือต	91
29	เปรียบเทียบคุณสมบัติของมูลสุกรจากการเข้าสู่เมล็ดละลือต	91
30	เปรียบเทียบคุณสมบัติของมูลไก่จากการเข้าสู่เมล็ดละลือต	91
31	เปรียบเทียบความสูงของต้นเมล่อนที่ปลูกในโรงเรือน	92
32	เปรียบเทียบค่าดัชนีความเขียวของใบเมล่อนที่ปลูกในโรงเรือน	92
33	เปรียบเทียบจำนวนข้อต่อต้นของเมล่อนที่ปลูกในโรงเรือน	93



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ ตามความหมายของพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2550 หมายถึง ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ (พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550, 3 เมษายน 2551, หน้า 11) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินปัจจุบันมีหลายชนิดแต่ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ปุ๋ยคอก (manure) หมายถึง มูลซึ่งสัตว์ขับถ่ายและสะสมอยู่ตามพื้นคอก ตลอดจนมูลและน้ำล้างคอกที่รวมอยู่ในสระเก็บน้ำทิ้ง มูลสัตว์ซึ่งรวบรวมได้มากพอที่จะใช้เป็นปุ๋ย ได้แก่ มูลโค กระบือ สุกร และสัตว์ปีก ในมูลสัตว์ดังกล่าวมีฟาง วัสดุรองคอก เศษพืช เศษอาหารและปัสสาวะรวมกัน (ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษย์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2556) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการนำสัตว์มาเลี้ยงเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรหรืออุตสาหกรรมอาหาร มูลสัตว์เหล่านี้เป็นส่วนของซากพืชซากสัตว์จากอาหารสัตว์ที่ผ่านระบบย่อยอาหารของสัตว์มาแล้วจึงเป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุแก่ดิน ธาตุอาหารพืช และยังช่วยปรับปรุงดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืชด้วย

ปุ๋ยหมัก (compost) หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำเศษพืชมาหมักให้ย่อยสลาย โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนเปลี่ยนไปจากสภาพเดิมคือ มีสีน้ำตาลปนดำมีลักษณะอ่อนนุ่มและไม่เหม็นเหม็นมีประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารพืช ทำให้ดินมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ดินมีความร่วนซุยสะดวกต่อการไถพรวน เพิ่มการระบายอากาศและน้ำในดินเหนียว และการอุ้มน้ำในดินทราย ให้ประหยัดหรือลดการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิต (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)

ปุ๋ยพืชสด (green manure) หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นพืชที่ถูกไถกลบหรือคลุกกลงไปในดิน ในขณะที่พืชนั้นยังเจริญเติบโตและยังสดอยู่ ก่อนที่จะปลูกพืชหลักโดยทั่วไปจะไถกลบพืชในระยะที่เริ่มออกดอก และพืชที่ถูกไถกลบจะถูกย่อยสลายไปโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินจากนั้นจึงปลูกพืชหลักตาม ปกติพืชที่นำมาใช้เป็นปุ๋ยพืชสดมีหลายชนิด และควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ เจริญเติบโตได้ดีแม้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ใช้ธาตุอาหารในดินปริมาณน้อย เมล็ดราคาถูกไม่แพง สะสมธาตุอาหารได้มาก ทนแล้งได้ดี ไถกลบได้ง่าย และไม่เป็นพิษต่อพืชหลักที่ปลูกตาม โดยทั่วไปนิยม

พืชตระกูลถั่ว (ธงชัย มาลา, 2546) เนื่องจากพืชตระกูลถั่วจะมีแบคทีเรียไรโซเบียมที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ ทำให้เป็นการช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจนให้แก่ดินบริเวณนั้น กรมพัฒนาที่ดินได้แนะนำพืชตระกูลถั่วที่ควรปลูกใช้ทำปุ๋ยพืชสดในการบำรุงดินและอนุรักษ์ดิน 7 ชนิด ได้แก่ ปอเทือง ถั่วพุ่ม ถั่วพุ่ม ถั่วมะแฮะ โสนอัฟริกัน โสนอินเดีย โสนจีนแดง และโสนคางคก เป็นต้น

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์

ในระบบการผลิตเกษตรแบบธรรมชาติจะเน้นการนำเอาวัสดุอินทรีย์มาใช้ในการผลิตพืช การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพจึงเป็นแนวทางที่สำคัญในกระบวนการผลิต โดยปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพจะมีเทคนิคการผลิตและการนำไปใช้ได้หลายแบบปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญคือ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ส่วนปุ๋ยชีวภาพคือ การนำเอาจุลินทรีย์มาใช้ในการผลิตพืช (อานัฐ ตันโช, 2549) ปุ๋ยอินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท โดยแต่ละประเภทมีเทคนิคและวิธีการผลิตที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ องค์ความรู้ของผู้ผลิตและความต้องการของผู้ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เชิงพาณิชย์ ส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยอาจมีทั้งในรูปแบบชนิดผง ชนิดน้ำ และชนิดเม็ด

ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดผง มีลักษณะเป็นผง เหมาะสำหรับใช้ในการรองก้นหลุมก่อนทำการปลูกพืชสามารถดูดซึมน้ำได้รวดเร็ว แต่ไม่เหมาะในการหว่านเนื่องจากฟุ้งกระจาย และไม่สามารถควบคุมพื้นที่ใส่ปุ๋ยได้ดีพอ ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ชนิดน้ำ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของเหลวที่ได้มาจากการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากพืชหรือสัตว์ลักษณะสด โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของเหลวออกมาจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งประกอบด้วยกรดอินทรีย์และฮอโมน หรือสารเสริมการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546) และปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเม็ด แล้วผ่านกระบวนการทำให้แห้ง มีความชื้นที่เหมาะสม และร่อนผ่านตะแกรงให้ได้เม็ดปุ๋ยตามเกณฑ์ (ชัยสิทธิ์ ทองจุ และคณะ, 2551) ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดปั้นเม็ด และปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดประกอบด้วยหลายขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนการตีป่นหรือการบดวัตถุดิบ โดยใช้เครื่องตีป่น (ภาพ 1) ปุ๋ยอินทรีย์หรือวัตถุดิบอินทรีย์ที่จะทำการผลิตเป็นเม็ดต้องมีอนุภาคที่เล็ก หากมีอนุภาคที่ใหญ่จะมีปัญหาในขั้นตอนการผลิตเป็นเม็ด โดยทั่วไปเครื่องบดจะมีแผ่นเหล็กที่มีรูตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร ไว้สำหรับคัดกรองขนาดของวัตถุดิบที่ผ่านการบด ถ้าวัตถุดิบมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของตะแกรงจะถูกหมุนเวียนเข้าเครื่องตีป่นใหม่จนได้ขนาดที่สามารถผ่านตะแกรงกรองของเครื่องได้



ภาพ 1 เครื่องตีป่นหรือบดวัตถุดิบ

ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ โดยใช้เครื่องผสม (ภาพ 2) วัตถุดิบที่นำมาผสมปุ๋ยอินทรีย์มักจะมีปริมาณธาตุอาหารน้อยผู้ผลิตจึงนิยมนำวัตถุดิบอื่นมาผสมรวมกันหลายชนิด เพื่อช่วยในการเพิ่มธาตุอาหารและช่วยปรับสภาพดินให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงต้องคลุกเคล้าวัตถุดิบแต่ละชนิดให้คลุกเคล้ากันเป็นอย่างดีก่อนที่จะทำการอัดเม็ด (เซาว์วิช หนูทอง, 2550)



ภาพ 2 เครื่องผสมวัตถุดิบ

ที่มา: สหจักรกล, ม.ป.ป.

ขั้นตอนการปั่นหรืออัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอัดเม็ด เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดในขั้นตอนการอัดเม็ดปุ๋ย มี 3 แบบ (มงคล ต๊ะอุ้น และคณะ, 2551) ชนิดแรก คือ เครื่องบดแบบแรงหมุน (ภาพ 3) ลักษณะการทำงานของเครื่องจะมีเกลียวอัดที่พาวัตถุดิบอัดกับแป้นที่มีรูพรุน ทำให้ปุ๋ยออกมาเป็นเส้น ต้องใช้พายปาดให้ปุ๋ยแยกเป็นเม็ดเองเพราะไม่มีใบมีดด้านในตัวเครื่อง ทำงานโดยใช้มือหมุนเครื่องเพื่อให้เกลียวทำงาน แรงอัดหรือความเร็วในการหมุนไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับการหมุนอัตราในการผลิตไม่แน่นอนขึ้นกับแรงงานคน ชนิดที่สอง คือ เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยแบบมินเซอร์ (mincer) (ภาพ 4) ลักษณะการทำงานของเครื่องจะมีรอบการหมุนที่แน่นอนและแรงอัดที่คงที่ วัตถุดิบถูกไล่ลงไปตามเกลียวอัดภายในสัณฐานแป้นที่มีรูพรุนให้วัตถุดิบถูกอัดผ่านออกมา ขนาดเม็ดปุ๋ยจะขึ้นอยู่กับรูพรุนที่หน้าแป้น โดยจะทำงานทั้งบดและอัดอยู่ในตัวเดียวกัน ความชื้นของวัตถุดิบก่อนการอัดควรจะมีประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เพราะกระบวนการอัดในเครื่องจะมีแรงเสียดทานเกิดขึ้น เครื่องทำงานโดยมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนเป็นต้นกำลังจากเครื่องยนต์ดีเซลหรือเบนซินได้ ความสามารถในการผลิตของเครื่องขึ้นอยู่กับขนาดแรงม้าของมอเตอร์



ภาพ 3 เครื่องบดแบบแรงหมุน

ที่มา: ดิทเซ็นเอาร์ทเลท, ม.ป.ป.



ภาพ 4 เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยแบบมินเซอร์

ที่มา: Nanagarden, ม.ป.ป.

และชนิดที่สาม คือ เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยแบบอัดเม็ดออกด้านข้าง (pellet mill) (ภาพ 5) ลักษณะการทำงานของเครื่องที่ภายในจะมีการผ่านไอน้ำเพิ่มความชื้นให้กับวัตถุดิบก่อนส่งไปยังส่วนอัดเม็ด รวมทั้งรวมทั้งมีการควบคุมอุณหภูมิและความดันในตัวเครื่อง ซึ่งเครื่องจะมีลูกกลิ้ง 2 ตัวหมุนไปในทิศทางเดียวกันทำหน้าที่บดอัดผ่านหน้าแบนที่มีรูพรุนออกมา ซึ่งเป็นการไหลออกทางด้านข้างและมีการตัดเป็นเม็ดโดยใบมีดอัตโนมัติ เครื่องจะอาศัยกำลังได้ทั้งมอเตอร์ไฟฟ้าและต้นกำลังจากเครื่องยนต์ดีเซลหรือเบนซิน



ภาพ 5 เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยแบบอัดเม็ดออกด้านข้าง (pellet mill)

ที่มา: ชญา เมชชินเนอริ, ม.ป.ป.

อีกรูปแบบหนึ่ง คือ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ดโดยใช้การปั่นเม็ดเครื่องจักรสำคัญที่ใช้ในการผลิตคือ จานปั่นเม็ด (ภาพ 6) ทำงานโดยการหมุนรอบตัวเองในลักษณะแนวแกนเอียง วัตถุดิบจะค่อย ๆ รวมตัวกันเป็นเม็ดจนถึงขนาดใหญ่มีมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการหมุนจาน บริเวณท้องจานเป็นส่วนที่ใส่วัตถุดิบเพื่อให้มีการปั่นเป็นเม็ดส่วนท้องจานจะมีวงกลมวงนอก และวงใน ส่วนของวงกลมด้านในจะมีความลึก และวงกลมรอบนอกจะลึกน้อยกว่า การทำงานเริ่มจากวัตถุดิบไหลป้อนอยู่ในส่วนของวงกลมด้านในเมื่อเป็นเม็ดแล้วไหลต่อไปค้ำซึ่งที่วงกลมด้านนอก ส่วนของหน้าจานจะมีแท่งเหล็กที่ติดแผ่นเหล็กแบนยื่นออกมาเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้เนื้อปุ๋ยไม่ติดท้องจาน และเป็นตัวปะทะให้ปุ๋ยกลิ้งออกไปค้ำซึ่งต่อที่ขอบนอก กระบวนการปั่นเม็ดจะมีการฉีดพ่นน้ำหมักเพื่อเป็นตัวประสานเนื้อปุ๋ยเข้าด้วยกันจนเกิดการขึ้นเม็ด จากนั้นวัตถุดิบจะไหลออกนอกจานที่มีสายพานมารองรับเพื่อไปยังกระบวนการต่อไป



ภาพ 6 จานปั้นเม็ด

ขั้นตอนการอบหรือการลดชื้น เพื่อให้ปุ๋ยอินทรีย์มีความชื้นลดลงประมาณ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับบางบริษัทจะใช้เครื่องอบปุ๋ยอินทรีย์ (ภาพ 7) โดยปุ๋ยอินทรีย์จะถูกลำเลียงเข้าสู่ท่ออบ ซึ่งจะเริ่มด้วยการอบร้อนผ่านท่อด้านบนหลังจากนั้นปุ๋ยอินทรีย์จะถูกลำเลียงสู่ท่ออบเย็นด้านล่าง (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540) กลไกของการลดความชื้น เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าวัสดุที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของวัสดุและน้ำในวัสดุจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ หลังจากนั้นไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ จะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของวัสดุต่ำกว่าความดันไอด้านในของวัสดุเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำขึ้นวัสดุชั้นด้านในจะมีความดันไอสองกว่าจะค่อย ๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นวัสดุเข้าใกล้อากาศแห้งความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อขับไล่น้ำออกจากวัสดุ



ภาพ 7 ท่อลดความชื้น

ที่มา: ไล่ออนวัน, ม.ป.ป.

วัตถุประสงค์หลักในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา

มูลสัตว์หรือปุ๋ยคอก มูลซึ่งสัตว์ขับถ่าย และสะสมอยู่ตามพื้นคอก ตลอดจนมูล และน้ำล้างคอกที่รวมอยู่ในสระเก็บน้ำทิ้ง มูลสัตว์ซึ่งรวบรวมได้มากพอที่จะใช้เป็นปุ๋ย ได้แก่ มูลโค กระบือ สุกร และสัตว์ปีก ในมูลสัตว์ดังกล่าวมีฟาง วัสดุรองคอก เศษพืช เศษอาหาร และปลาสวะ รวมกัน มูลสัตว์ส่วนมากนำไปใช้เป็นปุ๋ย แต่ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่เหลือทิ้งไว้ในคอก หรือระบายออกไปกับน้ำล้างคอก ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ และก่อมลพิษกับแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตาม ถ้าสามารถนำมูลสัตว์มาใช้เป็นปุ๋ยคอกในท้องถิ่น ได้มากกว่าที่เป็นอยู่ ก็จะช่วยเพิ่มผลผลิตของดินให้สูงขึ้น เนื่องจากปุ๋ยคอกมีทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ โดยพืชจะได้รับประโยชน์จากการใส่ปุ๋ยคอก 2 ประการ คือ ประการแรกในด้านธาตุอาหารพืช รูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ และต่อเนื่องด้วยกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และประการที่สองช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพของดิน ซึ่งจะเกิดผลเพิ่มพูนขึ้นจากการใส่ปุ๋ยคอกหลาย ๆ ครั้ง (ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต สงประยูร, 2556)

ตาราง 1 ปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยสำหรับพืชที่มีในมูลสัตว์แห้งชนิดต่าง ๆ

ปุ๋ยมูลสัตว์	ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)								ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
มูลสุกร	2.69	3.24	1.12	3.85	1.18	0.19	0.27	0.44	611.07	1030.13	975.75
กากตะกอน	2.23	6.84	0.23	11.70	1.09	1.16	0.07	0.63	1001.73	2060.29	2791.1
มูลไก่ไข่	2.59	1.96	2.29	8.09	0.74	0.54	0.32	0.31	75.51	591.87	396.54
มูลโคเนื้อ	1.36	0.51	1.71	1.76	0.50	0.33	0.73	0.45	40.63	375.86	134.62
มูลโคนม	1.27	0.48	1.42	0.98	0.43	0.31	0.23	0.34	29.92	416.10	121.60
มูลแพะ	1.03	0.66	0.64	1.49	0.37	0.37	0.13	0.14	24.78	210.88	125.64
มูลแกะ	0.94	0.54	1.07	1.23	0.34	0.19	0.20	0.11	21.01	205.28	103.53

ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดนครราชสีมา, 2553

ธาตุอาหารในปุ๋ยคอก ความเข้มข้นของธาตุอาหารในปุ๋ยคอก ที่ได้จากสัตว์ต่าง ๆ แสดงไว้ในตาราง 1 อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์มูลสัตว์แต่ละชนิด จะแปรผันตามคุณภาพอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ และสภาพการเก็บรักษาปุ๋ยคอก โดยปกติระบบย่อยอาหารของสัตว์สามารถดูดซึมสารอาหารไปได้เพียงบางส่วน ซึ่งส่วนที่เหลือจะออกมากับสิ่งขับถ่าย กล่าวคือ ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 80 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส และ 90 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมในอาหาร จะตกค้างอยู่ในมูลที่ขับถ่าย ดังนั้น ปุ๋ยคอกจึงเป็นแหล่งสำคัญของธาตุอาหารพืช สิ่งขับถ่ายของสัตว์มีทั้งของแข็ง และของเหลว (ปัสสาวะ) ทั้งนี้ ยกเว้นสัตว์ปีกซึ่งขับกรดยูริก (uric acid) ที่เป็นของแข็งแทนปัสสาวะ ทุกส่วนมีธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย โดยประมาณครึ่งหนึ่งของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสเกือบทั้งหมด และสองในห้าส่วนของโพแทสเซียม ซึ่งจะพบอยู่ในสิ่งขับถ่ายที่เป็นของแข็งสำหรับปัสสาวะ แม้จะมีธาตุอาหารบางธาตุจำนวนน้อยกว่า แต่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ง่ายกว่า ดังนั้น จึงควรจัดการให้มีการสูญเสียปัสสาวะจากคอกสัตว์น้อยที่สุด ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในมูลสัตว์ พบว่า มีไนโตรเจน 2 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.5 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 1 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ ไอลธสกา, อรรถดิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2556)

ตาราง 2 ความเข้มข้นต่อน้ำหนักแห้งของธาตุอาหารในมูลสัตว์ 4 ชนิด

น้ำ/ธาตุอาหาร	โคนม	โคเนื้อ	ไก่	สุกร
น้ำ (เปอร์เซ็นต์)	75	80	35	72
N (เปอร์เซ็นต์)	2.4	1.9	4.4	2.1
P (เปอร์เซ็นต์)	0.7	0.7	2.1	0.8
K (เปอร์เซ็นต์)	2.1	2.0	2.6	1.2
Ca (เปอร์เซ็นต์)	1.4	1.3	2.3	1.6
Mg (เปอร์เซ็นต์)	0.8	0.7	1.0	0.3
S (เปอร์เซ็นต์)	0.3	0.5	0.6	0.3
Fe (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	1,800	5,000	1,000	1,000
Mn (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	165	40	413	182
Zn (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	165	8	480	390
Cu (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	30	2	172	150
B (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	20	14	40	75
Mo (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	-	1	0.7	0.6

ที่มา: Brady and Weil, 2002 อ้างอิงใน ขงยุทธ โอสภสกา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต สงประยูร, 2556, หน้า 199

ไนโตรเจนในปุ๋ยคอกมีอยู่ 3 ส่วน คือ ส่วนที่พืชใช้ประโยชน์ได้ง่าย เช่น แอมโมเนียม ไนเตรต ไนโตรเจน หรือยูเรีย ส่วนที่เป็นอินทรีย์สาร ซึ่งปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ ภายในช่วงเวลาหนึ่งปี และส่วนที่เป็นอินทรีย์สารที่ย่อยสลายยาก และปลดปล่อยธาตุอาหารช้ามาก โดยเริ่มปลดปล่อยเมื่อเข้าปีที่สอง สำหรับปุ๋ยคอกแบบแห้ง มีไนโตรเจนสามส่วนนี้ประมาณ 10, 45 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ขงยุทธ โอสภสกา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต สงประยูร, 2556)

ฟอสฟอรัสในอินทรีย์สารจะได้ 4 ส่วน คือ ประกอบเป็นฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ร้อยละ 0.3 โปรตีนร้อยละ 12.10 อินทรีย์สารซึ่งละลายในกรดไตรคลอโรแอสติก 3.1 เปอร์เซ็นต์ และประกอบเป็นสารอินทรีย์อื่น ๆ อีก 2.5 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสทั้งหมด ในแง่ของความเป็นประโยชน์นั้น พืชสามารถใช้ฟอสเฟส และกรดนิวคลีอิก ซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายได้รวดเร็วเท่ากับปุ๋ยอินทรีย์ฟอสเฟส ดังนั้นส่วนของฟอสฟอรัสในปุ๋ยคอก ที่พืชใช้ประโยชน์ได้ค่อนข้างง่าย คือ ฟอสฟอรัสในรูปเหล่านี้ (ขงยุทธ โอสภสกา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต สงประยูร, 2556)

สำหรับโพแทสเซียมในปุ๋ยคอก อยู่ในรูปของเกลือที่ละลายได้ง่าย และเป็นประโยชน์ต่อพืช หากกองปุ๋ยคอกไว้ในที่แจ้งโพแทสเซียมก็จะถูกฝนชะออกไป ส่วนแมกนีเซียมนั้น ประมาณครึ่งหนึ่งละลายได้ง่าย แต่อีกครึ่งหนึ่งไม่ละลาย แม้จะใช้กรดเจือจางเป็นตัวสกัดก็ตาม (ยงยุทธ โอสถสกา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต สงประยูร, 2556)

หินบะซอลต์ วัตถุบส่วนนี้ได้จากแหล่งบะซอลต์ในธรรมชาติ ซึ่งเป็นหินอัคนีพุที่พบได้โดยทั่วไป มักพบมีสีเทาถึงสีดำ มีเนื้อละเอียดเนื่องจากเกิดจากการเย็นตัวของลาวาอย่างรวดเร็วบนพื้นผิวโลก เนื้อหินบะซอลต์สด ๆ จะมีสีดำหรือสีเทา โดยทั่วไปหินบะซอลต์จะมีองค์ประกอบของซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 45 ถึง 55 อัลคาไลทั้งหมดร้อยละ 2 ถึง 6 ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 0.5 ถึง 2.0 เหล็กออกไซด์ (FeO) ร้อยละ 5 ถึง 14 และอะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 14 หรือมากกว่า โดยปรกติแล้วจะมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เกือบร้อยละ 10 และโดยทั่วไปจะมีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อยู่ระหว่างร้อยละ 5 ถึง 12 โดยน้ำหนัก หินบะซอลต์ที่มีอะลูมินาสูงจะมีอะลูมิเนียมอยู่ร้อยละ 17 ถึง 19 โดยน้ำหนัก (Al_2O_3) โบนิไนต์มีแมกนีเซียมออกไซด์สูงถึงร้อยละ 15 หินสีเข้มซึ่งมีเฟลด์สปาร์สูงตั้งแต่เอคินถึงหินบะซอลต์อัลคาไลอาจมี Na_2O รวมกับ K_2O ได้ถึงร้อยละ 12 หรือมากกว่า (Hofmann, 2003) สำหรับหินบะซอลต์ ที่พบในประเทศไทย มีหลายแห่งด้วยกัน คือ ภาคเหนือ พบที่จังหวัดเชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำปาง และแพร่ ภาคกลาง พบที่จังหวัดกาญจนบุรี ลพบุรี และเพชรบูรณ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบที่จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ และอุบลราชธานี ภาคตะวันออกเฉียงใต้ พบที่จังหวัดปราจีนบุรี จันทบุรี และตราด

ลีโอনারด์ วัตถุบส่วนนี้ได้จากชั้นดินที่เป็นชั้นดินปนถ่านหินที่ถูกออกซิไดส์ตามธรรมชาติ มีลักษณะนุ่มไม่แข็งตัว มีสีน้ำตาลอ่อนถึงดำ ปกติพบอยู่ในแหล่งถ่านหินที่มีความลึกไม่มาก ประกอบด้วยกรดฮิวมิก และกรดอินทรีย์อื่น ๆ ลีโอনারด์ เกิดจากการผุพังสลายตัวของซากพืช ซากสัตว์ ด้วยกระบวนการทางเคมี และชีวภาพ ลีโอনারด์จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด ซึ่งลีโอনারด์มีลักษณะคล้ายถ่านลิกไนต์ มักพบบริเวณรอยต่อกับชั้นถ่านบ่อยครั้งมีการจำแนกว่าเป็นถ่านลิกไนต์ที่ถูกออกซิไดส์ตามธรรมชาติ การเกิดลีโอনারด์จะแบ่งเป็น 2 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีแรกเกิดขึ้นระหว่างการบวมการเกิดถ่านหิน (coalification) โดยจะเกิดปะปนกับถ่านหินโดยเฉพาะในถ่านหินลิกไนต์ (lignite) และมีการย่อยสลายเกิดร่วมด้วย โดยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบ ลิกไนต์ กับ ลีโอনারด์ จะมีความแตกต่างกันทางเคมี คือ ถ่านหินลิกไนต์ จะมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 25 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ แต่ลีโอনারด์ จะมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ 30 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ และทฤษฎีที่สอง เกิดจากการผุพังตามธรรมชาติ (weathering and oxidation) ของถ่านหิน พีท ลิกไนต์ และซับบิทูมินัส (sub-bituminous) ที่ถูกยกตัวขึ้นมาในระดับ

ต้น (sub crop) หรือพืชเหนือผิวดินขึ้นมา (out crop) ถูกออกซิไดซ์โดยอากาศตามธรรมชาติ ต่อมา จึงเกิดการทับถมกันเป็นชั้น ๆ องค์ประกอบของแร่ที่พบใน ลีโอนาร์ไดต์ ได้แก่ ยิปซัม แคลไซต์ โคลิไนต์ มัลโคไวต์ ซิลิกา และเหล็ก ลีโอนาร์ไดต์ เกิดจากการผุพังตามธรรมชาติของถ่านหินชนิด ลิกไนต์ (lignite) โดยพบว่า ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของฮิวมัส (humus) กรดฟุลวิก (fulvic acid) กรดฮิวมิก (humic acid) และฮิวมิน (humine) หรือเรียกรวมว่า สารฮิวมิก (humic substances) วัสดุ เหล่านี้ใช้เป็นตัวให้กรดฮิวมิก มีการนำไปใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรกรรม และการฟื้นฟูดิน (Burdick, 1965; Freeman, 1969; Senn and Kingman, 1973 อ้างอิงใน วิวัฒน์ ไตรกรกุล, พลยุทธ ศุขสมบัติ และจินดารัตน์ ไตกลมธรรม, 2552)

ปุ๋ยหมักผักตบชวา วัสดุคิบส่วนนี้ได้จากการนำผักตบชวามาหมักให้ย่อยสลาย โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนเปลี่ยนไปจากสภาพเดิมคือ มีสีน้ำตาลปนดำมีลักษณะอ่อนนุ่ม และไม่มีกลิ่นเหม็นมีประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารพืช ทำให้ดินมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ผักตบชวาสด มีน้ำเป็นส่วนประกอบในตัวอย่าง 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นพืชที่มีระบบรากฝอยจำนวนมากจึงดูดซับแร่ธาตุต่าง ๆ จากตะกอนใต้น้ำเก็บไว้ในส่วนของต้นและราก เฉลี่ยมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่น้อยกว่า 1, 0.25 และ 4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโลหะหนักพบในเกณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน นอกจากนี้ สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 30 ต่อ 1 จัดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย ดังนั้น ผักตบชวาจึงเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับทำปุ๋ยหมัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560)

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโรงปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ ขั้นตอนแรกเป็นเตรียมวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ (ภาพ 8) โดยนำวัสดุคิบที่ตีป่นแล้วมาบรรจุใส่กระบะแล้วชั่งน้ำหนัก ตามส่วนผสม ขั้นตอนที่สอง คือ การคลุกเคล้าวัสดุคิบในเครื่องผสมปุ๋ยด้วยเครื่องกวนแบบรบบิ้น (ภาพ 9) ในขั้นตอนที่สาม คือ ปั่นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ (ภาพ 10) นำวัสดุคิบที่ผ่านการผสมแล้วเข้าจานปั่นเม็ด (pan granulator) ขณะปั่นต้องฉีดน้ำบริเวณหน้าจานปั่นเพื่อให้วัสดุคิบเกาะตัวกันเป็นเม็ดกลม เมื่อเม็ดปุ๋ยออกจากจานปั่น จะถูกลำเลียงด้วยสายพานเข้าขั้นตอนที่สี่ คือ การลดความชื้นปุ๋ยอินทรีย์ด้วยความร้อน จำนวน 2 ครั้ง โดยใช้ความร้อนจากเตาไฟที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง เม็ดปุ๋ยจะถูกลำเลียงผ่านท่ออบจึงถูกลำเลียงเข้าสู่ท่ออบเย็น (ภาพ 11) และขั้นตอนสุดท้าย คือ การคัดขนาดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ และการบรรจุกระบะ เม็ดปุ๋ยที่ผ่านการอบจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องคัดแยกขนาด แล้วจึงถูกลำเลียงไปยังไซโลเพื่อรอการบรรจุกระบะต่อไป (ภาพ 12)



ภาพ 8 เตรียมวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์



ภาพ 9 ผสมวัสดุอินทรีย์ในเครื่องผสมปุ๋ยอินทรีย์



ภาพ 10 การปั่นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์



ภาพ 11 การลดความชื้นปุ๋ยอินทรีย์ด้วยความร้อน จำนวน 2 ครั้ง



ภาพ 12 การคัดขนาดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ และการบรรจุกระสอบ

การควบคุมคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์

กรมวิชาการเกษตร ได้กำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ให้ดังรายละเอียดในตาราง 3 ที่กำหนดดังต่อไปนี้

ตาราง 3 รายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลว

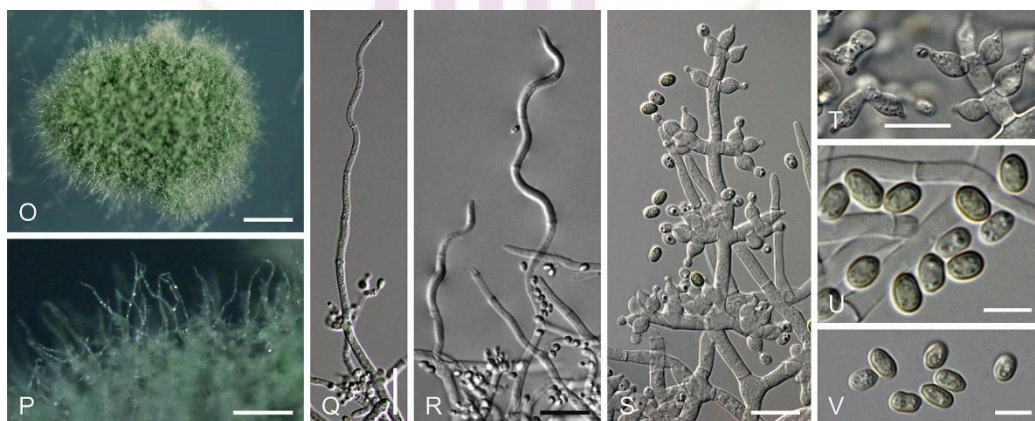
ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้น และสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุเคมี และโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอน ต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC : Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (โดยน้ำหนัก)	1. ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ 2. ฟอสฟอรัส (Total P ₂ O ₅) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ 3. โพแทสเซียม (Total K ₂ O) 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

เชื้อรา *Trichoderma* spp.

เชื้อรา *Trichoderma* spp. อยู่ใน Kingdom: Fungi, Phylum: Ascomycota, Class: Euascomycetes, Order: Hypocreales, Family: Hypocreaceae, Genus: *Trichoderma* (Rifai, 1969; Beagle-Ristaino and Papavizas, 1985)

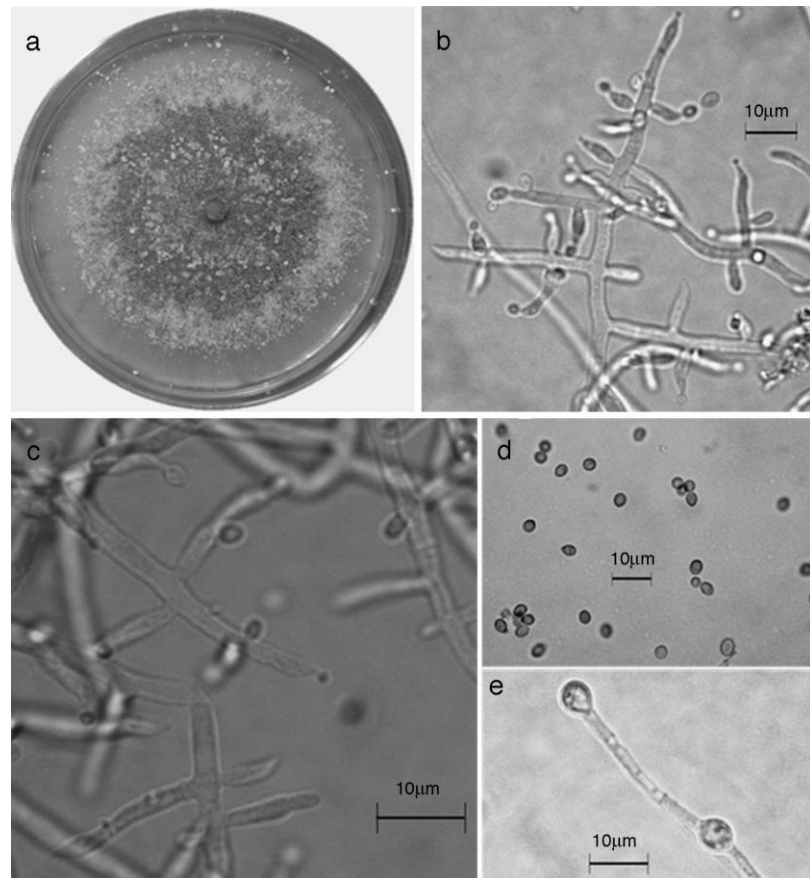
Rifai (1969) ได้จัดจำแนกเชื้อรา *Trichoderma* spp. โดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา ได้แก่ ลักษณะของ colony, conidia และ conidiophore ออกเป็น 9 ชนิด (species) ได้แก่ *T. piluliferum*, *T. polysporum*, *T. aureoviride*, *T. hamatum*, *T. koningii*, *T. harzianum*, *T. longibrachiatum*, *T. pseudokoningii* และ *T. viride* ต่อมาในระหว่างปี 1984 และ 1991 เชื้อราไตรโคเดอรัมได้รับความสนใจ และมีการศึกษากันอย่างแพร่หลายโดยมีการปรับปรุงฐานระบบของราสกุล *Trichoderma* พบสายพันธุ์เพิ่มขึ้น 27 ชนิด ต่อมา มีการวิเคราะห์สายวิวัฒนาการในระดับโมเลกุล จึงมีการรวบรวมและจัดจำแนกในระบบ *Trichoderma* taxonomy มากกว่า 200 สายพันธุ์ ที่ได้รับการยอมรับในสกุล ในแต่ละสกุลจะมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันออกไป เช่น *Trichoderma hamatum* (ภาพ 13), *T. reesei* (ภาพ 14), *T. longifalidicum* (ภาพ 15) เป็นต้น Bissett, et al. (2015) รายงานการบันทึกชื่อของสายพันธุ์ในสกุล *Trichoderma* พบว่ามีสายพันธุ์ในสกุล *Trichoderma* มากถึง 254 สายพันธุ์ และอาจมีการค้นพบราสกุล *Trichoderma* สายพันธุ์ใหม่ ๆ เพิ่มขึ้นอีก



ภาพ 13 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ *Trichoderma hamatum*

หมายเหตุ: o-r คือ ลักษณะของ colony, s คือ conidiophores, t คือ phialides และ u,v คือ conidia

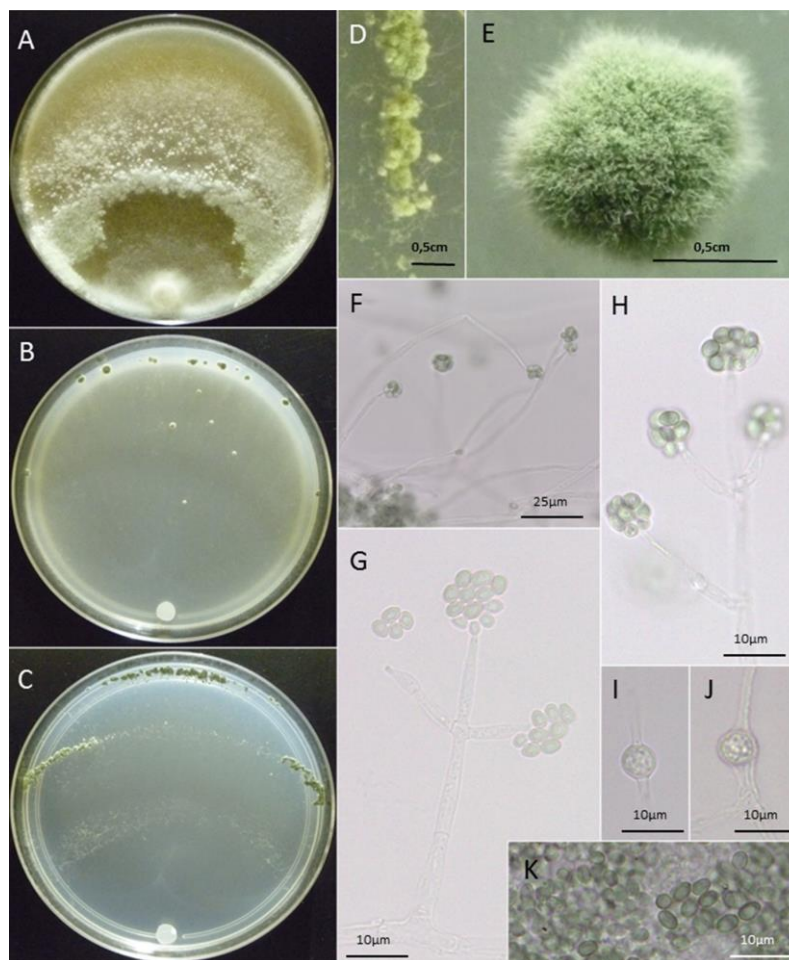
ที่มา: Jaklitsch and Voglmayr, 2015, p. 58.



ภาพ 14 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ *Trichoderma reesei*

หมายเหตุ: a คือ ลักษณะของ colony ที่เจริญบนอาหาร PDA, b คือ conidiophores, c คือ phialides, d คือ conidia และ e คือ chlamydospore

ที่มา: Ortiz-García, et al., 2015, p. 959.



ภาพ 15 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ *Trichoderma longifialidicum*

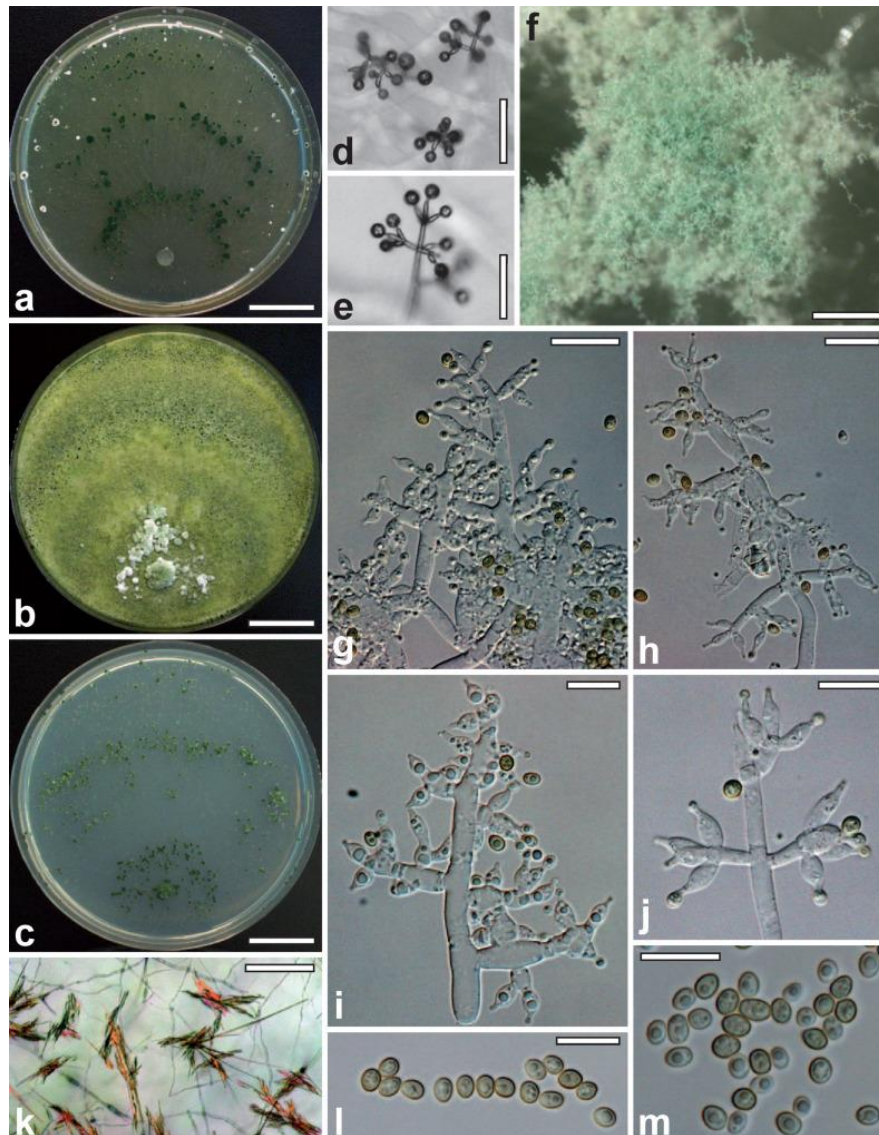
หมายเหตุ: a-c คือ ลักษณะของ colony ที่เจริญบนอาหาร PDA, CMD และ SNA, d, e คือ การเกาะกลุ่มของ colony, f คือ phialides มีลักษณะยาว, g, h คือ conidiophores i, j คือ chlamydospores และ k คือ conidia

ที่มา: Montoya, et al., 2016

เชื้อรา *Trichoderma harzianum*

ลักษณะของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* เชื้อรา *T. harzianum* จัดอยู่ใน Subdivision: Deuteromycotina, Class: Hyphomycetes, Order: Moniliales, Family: Moniliaceae โคโลนี (ภาพ 16 a-c) ของเชื้อรา *T. harzianum* มีการเจริญอย่างรวดเร็ว แรกเริ่มโคโลนีจะแผ่บาง ๆ บนอาหารเลี้ยง เมื่อเวลาผ่านไปโคโลนีจึงสร้างเส้นใยในลักษณะชูขึ้นเหนืออาหารเลี้ยงเชื้อ บริเวณที่สร้างสปอร์มีสีเขียวปนขาว (whitish-green) แล้วเปลี่ยนเป็นสีเขียวสด (bright green) และเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ำ (dull green) เส้นใยของเชื้อรา *T. harzianum* มีลักษณะแตกกิ่งก้านมี chlamydo-spore เกิดระหว่างเส้นใยหรือบางครั้งสร้างที่ปลายเส้นใยที่เจริญฝังอยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ส่วนใหญ่มีรูปร่างกลม มีผนังเซลล์เรียบและไม่มีสี ส่วนลักษณะของ conidiophore (ภาพ 16 f-j) จะแตกกิ่งก้านสาขามากมาย มีลักษณะเป็นพุ่มฟูเกาะกันอย่างหลวม ๆ (loos tuft) เกิดเป็นบริเวณชัดเจน มีลักษณะเป็นวงรอบติดต่อกัน (continuous ring-like zone) ลักษณะเรียงกันของ phialide เป็นวงรอบเกิดเป็นกลุ่ม ๆ ไม่สม่ำเสมอ มีจำนวนถึง 5 อัน เกิดที่ปลายก้านของ conidiophore ซึ่งเกิดจากเซลล์ที่ให้กำเนิด หรือเกิดตลอดกิ่งก้านแบบเดี่ยวๆ และสลับกันไป หรือเกิดตรงข้ามเป็นคู่ ๆ แต่ส่วนใหญ่อันที่อยู่ปลายสุดมักเกิดเดี่ยว ๆ และค่อนข้างยาวกว่าอันที่อยู่ข้างล่าง และมีลักษณะของ phialospore เกิดเดี่ยว ๆ และเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนกลม (globose) หรือค่อนข้างกลม (subglobose) อยู่บนปลาย phialide ข้างเคียงอาจรวมกันเป็นก้อน (conidial head) ที่ใหญ่ขึ้น ผนังของสปอร์เรียบ หรือบางครั้งพบผนังเซลล์มีลักษณะขรุขระเล็กน้อย ไม่มีสี (hyaline) หรือสีเหลือง (yellowish-green) จนถึงสีเขียวดำเข้ม (dark green) (นุชนารถ จงเลขา, 2535)

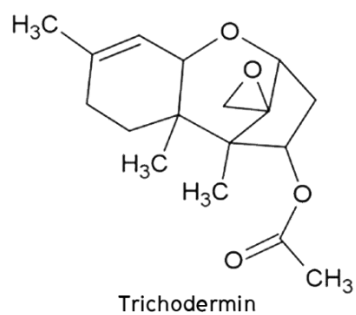
เชื้อรา *T. harzianum* สามารถสร้างเอนไซม์ chitinase, laminarinase และ cellulases เมื่อทำการแยกสารโดยวิธีโคมาโตกราฟีก็จะได้ exoglucanase และ B-1,4-D-glucanase cellobiohydrolase (Ahmed, Sanchez and Candela, 2000) และสามารถสร้างสารพิษ 3 กลุ่ม ได้แก่ สารในกลุ่ม trichothecenes ได้แก่ สาร trichodermin (ภาพ 17) และ 2,3 - epoxytrichodermin มีฤทธิ์ในการขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ peptidyl transferase ในเชื้อสาเหตุโรคพืช นอกจากนี้เชื้อรา *T. harzianum* ยังสร้างสารที่ในการส่งเสริมการเจริญของพืชด้วย สารในกลุ่ม cyclic peptides ได้แก่ alamethicine (antibiotic U-22324), trichotoxin, trichopolyns และ trichozianines (ภาพ 18) สารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ prokaryotes และ eukaryotes โดยจะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์แตกสลาย และสารในกลุ่ม isocyanide ได้แก่ trichoyiridin สารในกลุ่มนี้เกิดได้ในบางสภาวะพบการทำลายจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลส ในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องทำให้สัตว์ขาดสารอาหาร



ภาพ 16 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ *Trichoderma harzianum*,

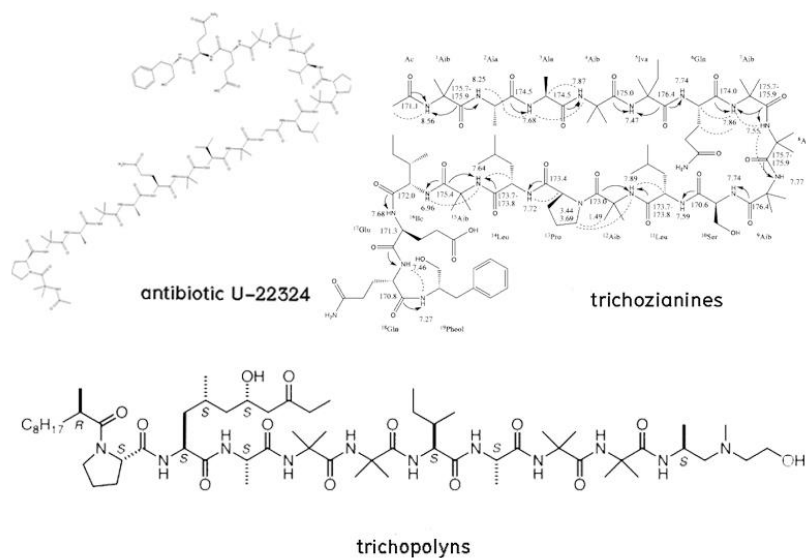
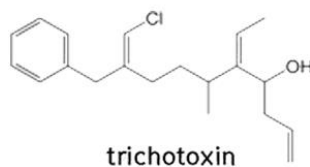
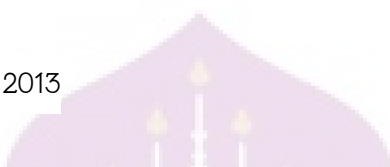
หมายเหตุ: a-c คือ ลักษณะของ colony ที่เจริญบนอาหาร CMD, PDA และ SNA, d, e คือ effuse conidiation, f คือ conidiophore มีลักษณะเป็นพุ่มฟู, g-j คือ ลักษณะ conidiophores ที่แตกกิ่งก้านสาขามากมาย, k คือ ผลึกในอาหารเลี้ยงเชื้อ และ l, m คือ conidia

ที่มา: Jaklitsch, 2009, p. 60.



ภาพ 17 โครงสร้างทางเคมีของสาร trichodermin

ที่มา: Mousa and Raizada, 2013



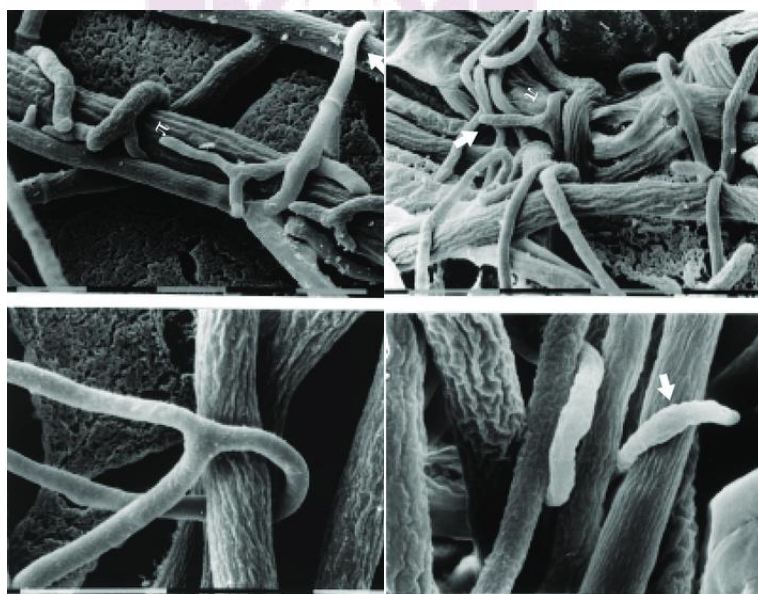
ภาพ 18 โครงสร้างทางเคมีของสาร alamethicine (antibiotic U-22324), trichotoxin, trichopolyns และ trichozianines

ที่มา: Bertin, et al., 2016; Panizel, et al., 2013; Pruksakorn, et al., 2010

การเป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อโรคพืชของเชื้อรา *Trichoderma harzianum*

เชื้อรา *T. harzianum* มีลักษณะการเข้าทำลายเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ 3 แบบคือ การเป็นปรสิต (parasitism) การแข่งขัน (competition) และการสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiotics) (Bilal, 1963)

แบบแรก คือ การเป็นปรสิต (parasitism) (ภาพ 19) เชื้อราไตรโคเดอร์มาบางไอโซเลทเป็นปฏิปักษ์โดยตรงต่อเชื้อโรคพืช โดยการพันรัด แล้วแทงส่วนของเส้นใยเข้าไปภายในเส้นใยของเชื้อสาเหตุโรคพืชทำให้เส้นใยตาย (จิระเดช แจ่มสว่าง และวรรณวิไล อินทนู, 2542) การเป็นปรสิตของเชื้อราไตรโคเดอร์มาเป็นการสร้างเส้นใยเจริญพันรอบ ๆ เส้นใยของเชื้อสาเหตุโรคพืชและสังเอนไซม์ B-1,3-glucanase และ chitinase เพื่อจะย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อสาเหตุโรค (วีรศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์, 2544) และ Almeida, et al. (2007) ได้อธิบายถึงขบวนการเป็นปรสิตของเชื้อรา *T. harzianum* ว่าเส้นใยของเชื้อราปฏิปักษ์จะพันรอบ ๆ เส้นใยของเชื้อสาเหตุโรคแล้วจึงแทงผ่านเนื้อเยื่อชั้น rind และ ชั้น cortex เข้าไปสลายชั้น medullar แล้วสร้าง chlamydospore อยู่ภายใน และสร้าง conidia อยู่ภายนอก



ภาพ 19 การเป็นปรสิตของเชื้อราไตรโคเดอร์มาเป็นการสร้างเส้นใยเจริญพันรอบ ๆ เส้นใยของเชื้อสาเหตุโรคพืช

ที่มา: Pisi, et al., 2006, p. 39.

แบบที่สอง คือ การแข่งขัน (competition) เป็นกลไกหนึ่งที่ถูกจุลินทรีย์ปฏิบัติสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืชได้คือการเจริญที่รวดเร็วเพื่อครอบคลุมพื้นที่และการแย่งอาหารเพื่อการดำรงชีพก่อนที่เชื้อสาเหตุโรคพืชจะเจริญเติบโตทำให้เชื้อสาเหตุโรคพืชขาดอาหาร เช่น เชื้อราไตรโคเดอร์มา จะมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วเกิดการแข่งขันและแก่งแย่งเพื่อที่อยู่อาศัยและอาหารได้ดี ทั้งนี้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการแก่งแย่งแข่งขันก็คือ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) คุณสมบัติของดิน รวมทั้งสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ด้วย (วีรศักดิ์ คักดีศิริรัตน์, 2544)

แบบที่สาม คือ การสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiotics) โดยทั่วไปแล้วสารที่สร้างขึ้น จะมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตและอาจทำให้เชื้อโรคตายได้ สารที่สร้างขึ้นจะซึมผ่านเข้าสู่เซลล์เชื้อโรคพืช และความเป็นพิษของสารเคมีอินทรีย์ดังกล่าว จะมีผลต่อการยับยั้งเชื้อโรคพืช (เกษมสร้อยทอง, 2532) สารปฏิชีวนะเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเชื้อรา *T. harzianum* ซึ่งสร้างสารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งหรือสามารถต่อต้านการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืช และเชื้อจุลินทรีย์อื่น ๆ (Ghisalberti and Sivasithamparam, 1991)

Danielson and Davey (1973a) ได้มีการนำ *T. harzianum* มาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการเพื่อวัตถุประสงค์ในการจำแนก species พบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของเชื้อดังนี้ แหล่งคาร์บอน (Carbon source) ของ *T. harzianum* สามารถใช้สารต่าง ๆ เป็นแหล่งคาร์บอนได้อย่างกว้างขวาง คือ Monosaccharide ได้แก่ D-fructose, D-mannose, D-galactose, L-sorbose, L-rhamnose, L-arabinose, D-arabinose, D-xylose, D-ribose และ dextrose ส่วนแหล่งคาร์บอนในรูปของ Disaccharides ได้แก่ maltose, sucrose, lactose, D-sorbitol, D-mannitol, L-inositol นอกจากนี้ยังมีแหล่งคาร์บอนในรูปของ Dextrose derivatives ได้แก่ D-glucosamine, methyl-D-glucoside และแหล่งคาร์บอนในรูปของ Polysaccharides ได้แก่ dextrin, soluble starch, inulin, salicin แหล่งคาร์บอนที่ใช้ได้ดีที่สุดคือ dextrose, fructose, mannose, galactose, xylose, ribose, trehalose และ cellobiose

แหล่งไนโตรเจน (nitrogen source) เชื้อรา *T. harzianum* สามารถใช้แหล่งไนโตรเจนได้อย่างกว้างขวาง เช่นในรูปของ KNO_3 , urea, casamino acids, L-alanine, L-aspartic acid, L-glutamic acid, L-cysteine, L-leucine, D-aspartic acid, L-histidine, D-alanine แหล่งไนโตรเจนในรูป $(\text{NH}_4)^+ - \text{N}$ จะใช้ได้ดีในรูปของ $(\text{NO}_3)^- - \text{N}$ และยังมีปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อรา *T. harzianum* เช่น เชื้อราไตรโคเดอร์มาเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 30-38 องศาเซลเซียส (Danielson and Davey, 1973a)

โรคเหี่ยวที่มีสาเหตุจาก *Fusarium* sp. (Fusarium wilt)

เชื้อราสาเหตุ คือ เชื้อรา *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* หรือ *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* สามารถเข้าทำลายเฉพาพืชตระกูลแตงได้เท่านั้น เชื้อรานี้อาศัยอยู่ในดิน (Appel and Gordon, 1994) และสามารถสร้างสปอร์ 3 ชนิด คือไมโครคอนเดีย (microconidia) มาโครคอนเดีย (macroconidia) และคลาไมโดสปอร์ (chlamydospore) ไมโครคอนเดีย เป็นสปอร์ที่มีขนาดเล็ก รูปร่างกลมรี สี เซลล์เดียว ส่วนมาโครคอนเดีย เป็นสปอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่า รูปร่างเป็นแบบรูปเคียวหรือพระจันทร์เสี้ยว มีตั้งแต่ 4 ถึง 6 เซลล์ สีใส และคลาไมโดสปอร์ เป็นสปอร์ที่มีผนังหนา ที่ถูกสร้างขึ้นที่กลางเส้นใย โดยที่เซลล์ใดเซลล์หนึ่งของเส้นใยจะสร้างผนังหนาขึ้น (Gordon, Okamoto and Jacobson, 1989) เชื้อเข้าทำลายพืชตั้งแต่ระยะที่เป็นต้นกล้าทางบาดแผลที่ราก และโคนต้นระดับดิน จากนั้นก็จะเจริญอย่างรวดเร็วในท่อน้ำที่อาหาร เชื้อสามารถสร้างไลโคมาราสมิน (lycomamasmin) และกรดฟิวซาริก (fusaric acid) ออกมาทำลายเซลล์ท่อน้ำที่อาหาร ทำให้การลำเลียงน้ำ และอาหารถูกชะงักลง ส่งผลให้พืชเหี่ยวและตาย การแพร่ระบาด เชื้อสาเหตุสามารถแพร่ไปได้โดยการติดไปกับดิน การขนย้ายต้นกล้าและสปอร์ที่ถูกสร้างขึ้น สามารถไหลไปกับน้ำที่ใช้ในการชลประทาน (ไพโรจน์ จ้วงพานิชย์, 2525)

กลไกของการเกิดอาการเหี่ยวเนื่องจากเชื้อรา กลไกแรกเกิดจากการทวีจำนวนของเชื้อราสาเหตุโรค เมื่อเชื้อราเข้าไปในท่อน้ำของพืชได้จะดูดสารอาหารและสิ่งที่จำเป็นจากพืชมาใช้ในการเจริญ กลุ่มของเส้นใยที่ขยายมากขึ้นจะทำให้เกิดการอุดตันไม่สามารถลำเลียงน้ำได้สะดวก กลไกที่สอง เกิดจากเชื้อราสร้างสารพิษและเอนไซม์ เช่น lycomarasmine, fusaric acid และ dehydrofusaric acid ปล่อยออกมา ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของท่อน้ำสูญเสียคุณสมบัติในการยึดเก็บกักน้ำ และกลไกที่สาม เกิดจากกลไกในการป้องกันตนเองของพืช เมื่อมีเชื้อราเข้าทำลาย พืชจะสร้าง gums และ tylose เพื่อสกัดกั้นการลุกลามของเชื้อก่อโรค ปฏิกิริยาการตอบสนองนี้ในพืชที่อ่อนแอต่อโรคจะเกิดช้ากว่าการลุกลาม ของเชื้อก่อโรคทำให้การยับยั้งเชื้อไม่สำเร็จ ในขณะเดียวกันสิ่งต่าง ๆ ที่พืชสร้างยิ่งก่อให้เกิดการอุดตันในท่อน้ำเลียงน้ำมากขึ้น พืชที่อ่อนแอต่อโรคจึงเกิดอาการเหี่ยวอย่างรุนแรงและตาย (ศศิธร วุฒิวิถิชย์, 2545)

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ในดินที่มีความชื้นปานกลางและอุณหภูมิของดินอยู่ระหว่าง 20 ถึง 34 องศาเซลเซียส เชื้อสามารถ เข้าทำลายพืช ทำให้เกิดโรคได้ แต่ถ้าดินมีอุณหภูมิระหว่าง 27 ถึง 32 องศาเซลเซียส อาการของโรคจะรุนแรงมากขึ้น อาการของโรคจะไม่เกิดขึ้นถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส ในดินที่มีไนโตรเจนสูงแต่มีโพแทสเซียมต่ำ และพืชได้รับแสงไม่เพียงพอ เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อาการของโรคจะรุนแรงมากขึ้น (ศศิธร วุฒิวิถิชย์, 2545)

การอยู่ข้ามฤดู เชื้ออยู่ข้ามฤดูในรูปของเส้นใยที่เกาะกินเศษซากพืชที่เป็นโรคที่ตกค้างอยู่ในแปลงปลูกนอกจากนี้ เชื้อยังอยู่ข้ามฤดูได้ในรูปของคอนนิตีและคลาไมโดสปอร์ที่อยู่ในเศษซากพืช และเมล็ดพันธุ์ได้อีกด้วย (ศศิธร วุฒิมวณิชย์, 2545)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัยมงคล ใจหาล้า (2558) ได้ศึกษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ตราควีนพะเยา พบว่าปริมาณของอินทรีย์วัตถุในปุ๋ย เท่ากับ 18.4 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด จากการวิเคราะห์วัตถุุดิบชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ย ได้แก่ มูลไก่ มูลสุกร ปุ๋ยหมักผักตบชวา และแร่ลีโอไนโดต์ พบว่า แร่ลีโอไนโดต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด เท่ากับ 55.41 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 13.85 เปอร์เซ็นต์ มีการศึกษาอัตราส่วนของวัตถุุดิบที่ให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด เพื่อใช้ผลิตในโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า แร่ลีโอไนโดต์: ปุ๋ยหมักผักตบชวา: หินบะซอลต์บดละเอียด: มูลสุกร: มูลไก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 3:1:1:3:2 นั้น ให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 28.36 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 2.32 เปอร์เซ็นต์ และได้ศึกษากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ทั้งเวลาที่ปล่อยวัตถุุดิบเพื่อปั้นเม็ด และระยะเวลาในการปั้นเม็ด ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพปุ๋ยทั้งในด้านปริมาณอินทรีย์วัตถุ หรือปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในขณะที่ขั้นตอนการลดความชื้นมีอิทธิพลต่อคุณภาพของปุ๋ย อย่างมีนัยสำคัญ

กัญจนวัลย์ ฤทธิ์เรืองเดช (2554) ได้ประเมินสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ที่มีจำหน่ายในเขตภาคกลางของประเทศไทย จำนวน 19 ตัวอย่าง พบว่ามีสมบัติทางกายภาพผ่านเกณฑ์ มาตรฐานร้อยละ 95.5 และ ร้อยละ 4.5 ไม่ผ่านมาตรฐานเนื่องจากมีความชื้นสูง และสมบัติทางเคมี พบว่าทุกตัวอย่างมีค่า pH ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุผ่านเกณฑ์เพียงร้อยละ 18 สำหรับปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่าไม่มีตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจนผ่านเกณฑ์ มาตรฐานที่กำหนดไว้ ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมผ่านเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 77 และเมื่อนำผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับ มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์พบว่า ไม่มีตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกรายการ สำหรับการศึกษผลของกระบวนการผลิตแบบปั้นเม็ดต่อสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิต แบบปั้นเม็ด ทำการเก็บตัวอย่างวัตถุุดิบซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ 2 ชนิด และตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละ ขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์แห่งหนึ่งมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทาง เคมี เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า กระบวนการผลิตในแต่ละ ขั้นตอนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์แบบปั้น เม็ด

น้อยมาก แต่ชนิดของวัสดุอินทรีย์ที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตอย่างมาก

หทัยชนก นันทพานิช และคณะ (2551) ได้ศึกษาคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากโครงการหนึ่งอำเภอหนึ่งโรงปุ๋ยเพื่อการรับรองคุณภาพ รายงานว่าการวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากโครงการหนึ่งอำเภอหนึ่งโรงปุ๋ย มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.72 ถึง 8.12 มีค่าการนำไฟฟ้า 4.42 ถึง 4.45 ค่าความชื้น 28.68 ถึง 29.09 เปอร์เซ็นต์ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน 52.34 ถึง 54.81 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 70.43 ถึง 80.62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกินค่ามาตรฐาน มีปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม เท่ากับ 1.86 ถึง 1.96, 0.85 ถึง 0.90 และ 1.70 ถึง 1.78 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ทั้ง 8 พารามิเตอร์พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ภายใต้โครงการ “หนึ่งอำเภอหนึ่งโรงปุ๋ย” พารามิเตอร์ที่ศึกษาได้มาตรฐานตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

วิเชียร ต้นตอชิงมงคล และคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาเรื่องการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลค่างควา พบว่าปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ได้มาตรฐานโดยมีธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน การทดลองปลูกพืชไร่ในภาคสนาม พบว่าอัตราที่เหมาะสมของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลค่างควาที่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดในชุดดินเพชรบูรณ์ดีที่สุดคือ อัตรา 150 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ อัตรา 100 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

Wu, et al. (2009) ได้ศึกษาการควบคุมโรคเหี่ยวของแตงโม โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ พบว่าการใช้ปุ๋ยในการควบคุมโรคเหี่ยวของกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพในอัตรา 0.5 เปอร์เซ็นต์ (ปุ๋ยอินทรีย์ + จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ ได้แก่ *Paenibacillus polymyxa* 3×10^9 CFU ต่อกรัม (colony forming unit: CFU) และเชื้อรา *Trichoderma harzianum* 5×10^7 CFU ต่อกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมมีอัตราการเกิดโรคเหี่ยว หลังจากวันที่ 27 และ 63 วัน ลดลง 84.9 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งในตู้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และในโรงเรือนกระจก มีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ (catalase, dismutase superoxide และ peroxidase) ในใบของแตงโมเพิ่มขึ้น 38.9, 150 และ 250 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในราก ลำต้น และใบ มีปริมาณของเอนไซม์ B-1,3-glucanase (pathogenesis-related proteins) เพิ่มขึ้น 80, 1140 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีเอนไซม์โคติเนสเพิ่มขึ้น 240, 80 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ ปริมาณของ malondialdehyde ลดลง 56.8, 42.1 และ 45.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยสูตรนี้สามารถควบคุมเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* ในแตงโม

Zhao, et al. (2011) ได้ศึกษาการควบคุมโรคเหี่ยวของแตง *Cucumis melo* (แตงไทย) ด้วยชีววิธี โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ (bio-organic fertilizers: BIOs) ที่แตกต่างกัน ซึ่งทำจากปุ๋ยอินทรีย์และจุลินทรีย์ปฏิบัติต่างชนิดกัน BIOs ทำให้การเกิดโรคเหี่ยว (fusarium wilt) ลดลง และผลผลิตของเมล่อนเพิ่มขึ้น การเกิดโรคของกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพสองอย่างผสมกัน (ใช้รหัสแทน คือ BIOII) คือ 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (80 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ BIOII ส่งผลให้น้ำหนักสดของต้นเมล่อนเพิ่มขึ้น 17.4 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ใช้ BIOs สามารถลดจำนวนความหนาแน่นของเชื้อก่อโรค (colony forming units: CFU) ในลำต้น และรากของเมล่อนได้ ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ BIOII เมื่อนำลำต้นและรากมาตรวจ พบว่ามีปริมาณประชากรเชื้อก่อโรคอยู่ประมาณ 2.27×10^5 และ 6.67×10^5 CFU ต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมมีปริมาณประชากรเชื้อก่อโรคในลำต้น และราก อยู่ประมาณ 8.17×10^4 และ 3.67×10^4 CFU ต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ หมายความว่า CFUs ลดลง 97% และ 82% ตามลำดับ ผลผลิตเมล่อนที่สูงที่สุดคือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ BIOII 7,225 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในขณะที่ชุดควบคุมได้ผลผลิตประมาณ 4,447 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

Qiu, et al. (2012) ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่สามารถควบคุมโรคเหี่ยว (fusarium wilt) ในดินบริเวณรากของแตงกวา โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ (BIO) ซึ่งเป็นส่วนผสมของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอกกับจุลินทรีย์ปฏิบัติ และปุ๋ยอินทรีย์ (OF) พบว่า การใช้ BIO สามารถป้องกันการเกิดโรคได้ 83% และลดการสูญเสียผลผลิตเป็น 3 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้ OF การวิเคราะห์กลุ่มจุลินทรีย์ในดินบริเวณรากโดยเทคนิคการวิเคราะห์ลำดับเบสไพโรของยีนหลายชนิดในเวลาเดียวกัน (high-throughput pyrosequencing) แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ซับซ้อนที่อยู่ใน BIO มากกว่า OF ที่ใส่ในดิน อนุกรมของไฟลัมที่โดดเด่นพบในปุ๋ยทั้งคู่ คือ Proteobacteria, Firmicutes, Actinobacteria และ Acidobacteria ในแบคทีเรียและ Ascomycota ในหมู่เชื้อรา ความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียหรือเชื้อราที่มีประโยชน์ที่อยู่ใน BIO เช่น *Trichoderma*, *Hypoxylon*, *Tritirachium*, *Paenibacillus*, *Bacillus*, *Haliangium* และ *Streptomyces* เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ OF และเชื้อก่อโรคในดินที่และเชื้อรา *Fusarium* มีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยรวมผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ BIO เป็นวิธีที่มีประโยชน์และมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราก่อโรคเหี่ยว และวิธี high-throughput 454 pyrosequencing เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการอธิบายลักษณะของกลุ่มจุลินทรีย์ดินบริเวณรากแตงกวา

Huo, et al. (2012) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพ การเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพให้สามารถเก็บรักษาแล้วเกิดการสร้างสปอร์และการอยู่รอดของแบคทีเรีย *Paenibacillus polymyxa* SQR-21 จากผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษา (20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส), ชนิดเชื้อ (สปอร์

บริสุทธิ์, สปอร์ผสมเซลล์พืช และเซลล์พืชบริสุทธิ์) และปริมาณน้ำ (20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์) พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญหลังจากเก็บรักษาไว้ 60 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเทียบกับ 40 องศาเซลเซียส พบว่าประชากรมีอายุการเก็บมากขึ้น 1.48 (จนวนับ) หรือ 1.71 (FISH) และพบว่าปริมาณน้ำไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Paenibacillus polymyxa* SQR-21 (Filion, et al., 2009) พบว่าที่อุณหภูมิสูง 80 องศาเซลเซียส สปอร์ของแบคทีเรียจะถูกทำลายภายในเวลา 15 นาที การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาให้สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณสปอร์ของแบคทีเรียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Jayamanne and Rewari, 2009) พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีผลน้อยมากต่อการลดหรือเพิ่มของจำนวนสปอร์แบคทีเรีย *Paenibacillus polymyxa* SQR-21 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส

Shuang, et al. (2014) รายงานว่า โรคเหี่ยวของแตงโม เป็นหนึ่งในโรคที่เกิดจากดินที่รุนแรงที่สุด เกิดจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* ในการศึกษาประชากรของ *F. oxysporum* ถูกตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วโดย Real-time PCR และ DNA array โรคเหี่ยวของแตงโมในดินที่เกิดเชื้อ ทดสอบด้วย *Paenibacillus polymyxa* SQR21 ในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ (BIO) ที่ปรับปรุงแล้วนำไปทดสอบร่วมกับพืชในโรงเรือน องค์ประกอบชุมชนของเชื้อราได้รับการตรวจสอบโดยวิธีการ molecular cloning และ DGGE techniques ผลของ Real-time PCR แสดงให้เห็นว่าประชากร *F. oxysporum* ในดินบริเวณรากลดลง จาก 8.56×10^4 CFU ต่อกรัม เหลือ 9.41×10^3 CFU ต่อกรัม หลังจากการประยุกต์ใช้ BIO และการตรวจจับสัญญาณ DNA array ของ *F. oxysporum* มีประชากรลดลง ซึ่งข้อมูลที่ได้จาก DGGE ชี้ให้เห็นว่าการใช้ BIO สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างชุมชนเชื้อราในดินบริเวณรากได้ ข้อมูลการโคลนโมเลกุลเปิดเผยว่าการใช้ BIO ติดต่อกันไม่เพียงแต่ทำให้ ascomycota ลดลง และยังเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ในดินบริเวณราก และยังก่อให้เกิดลักษณะของกลุ่มเชื้อราที่ไม่ซ้ำกันซึ่งไม่พบในกรรมวิธีควบคุม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การควบคุมคุณภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา

1. ศึกษาคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

1.1 การเก็บตัวอย่างวัตถุดิบที่นำเข้ามาแต่ละล็อตในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ 1) มูลไก่ 2) มูลสุกร 3) ปุ๋ยหมักผักตบชวา 4) แร่ลีโอนาร์ไดต์ 5) ดินภูเขาไฟ (หินบะซอลต์บดละเอียด) วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomize complete block design) โดยมีกรรมวิธี ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 เก็บวัตถุดิบล็อตในวันที่ 19/06/60 กรรมวิธีที่ 2 เก็บวัตถุดิบล็อตในวันที่ 03/07/60 กรรมวิธีที่ 3 เก็บวัตถุดิบล็อตในวันที่ 28/08/60 กรรมวิธีที่ 4 เก็บวัตถุดิบล็อตในวันที่ 18/09/60 กรรมวิธีที่ 5 เก็บวัตถุดิบล็อตในวันที่ 02/10/60

1.2 เก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการผลิต โดยใช้วิธีการชักตัวอย่างจากสายพานการผลิตของโรงงานได้แก่ 1) ปุ๋ยอินทรีย์หลังผสมวัตถุดิบ 2) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการปั้น 3) ปุ๋ยอินทรีย์หลังอบครั้งแรก และ 4) ปุ๋ยอินทรีย์หลังอบครั้งที่สอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ โดยมีกรรมวิธี ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์รุ่นที่ผลิตในวันที่ 19/06/60 กรรมวิธีที่ 2 ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์รุ่นที่ผลิตในวันที่ 03/07/60 กรรมวิธีที่ 3 ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์รุ่นที่ผลิตในวันที่ 28/08/60 กรรมวิธีที่ 4 ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์รุ่นที่ผลิตในวันที่ 18/09/60 กรรมวิธีที่ 5 ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์รุ่นที่ผลิตในวันที่ 02/10/60 ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา สุ่มเก็บจำนวน 5 รุ่นผลิต ซึ่งแต่ละครั้งจะเข้าไปโดยไม่แจ้งวันเวลาให้ โรงงานทราบล่วงหน้า แล้วนำตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความชื้น (moisture content) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) อินทรีย์วัตถุ (organic matter: OM) และปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P₂O₅) และโพแทสเซียมทั้งหมด (total K₂O)

2. ศึกษาผลกระทบของกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ โดยนำผลวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากการสุ่มทั้ง 5 ครั้ง ในแต่ละขั้นตอนการผลิตมาประเมินความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ โดยการวิเคราะห์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) อินทรีย์วัตถุ (organic matter: OM) ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ฟอสฟอรัสทั้งหมด

(total P₂O₅) และโพแทสเซียมทั้งหมด (total K₂O) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomize design: CRD) กรรมวิธี คือ ขั้นตอนในการผลิต จำนวน 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ปุ๋ยอินทรีย์หลังขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ 2) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านขั้นตอนการบั่นก่อนการอบ 3) ปุ๋ยอินทรีย์หลังขั้นตอนการอบครั้งแรก และ 4) ปุ๋ยอินทรีย์หลังขั้นตอนการอบครั้งที่สอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธี ด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT)

ผลของความเข้มข้นของสารละลายสปอร์และกากน้ำตาลต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา

1. เตรียมเชื้อรา *Trichoderma harzianum* สายพันธุ์ CB-Pin-01 โดยใช้หัวเชื้อจากห้องปฏิบัติการควบคุมโรคพืชโดยชีวภาพ คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นสายพันธุ์การค้าในประเทศไทยในรูปหัวเชื้อบริสุทธิ์ชนิดผง นำมาเลี้ยงในข้าวสุกตามวิธีของจิระเดช แจ่มสว่าง และวรรณวิไล อินทนู (2542) โดยใช้ข้าวสาร หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ด้วยอัตราข้าว 3 ส่วนต่อน้ำ 2 ส่วน ใส่ในถุงพลาสติกทึบร้อนขนาด 8x12 นิ้ว บรรจุ 250 กรัมต่อถุง รอให้ข้าวเย็นจึงใส่หัวเชื้อผงประมาณ 0.5 กรัมต่อถุง เจาะบริเวณปากถุงพลาสติกด้วยเข็ม 15 รู แล้วบ่มเชื้อโดยกระจายข้าวแผ่ให้ทั่วถุงแล้ววางไว้ในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเทเป็นเวลา 7 วัน แล้วจึงนำไปใช้ในการเตรียมสารละลายสปอร์สำหรับการทดลองต่อไป

2. การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายสปอร์เชื้อรา *T. harzianum* และกากน้ำตาลที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ย โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายสปอร์เชื้อรา *T. harzianum* จากเชื้อขยายชนิดสดจำนวน 4 ระดับ ได้แก่ 0 (ไม่ใส่สปอร์), 6.25×10^7 (2 กรัมเชื้อสดต่อน้ำ 1 ลิตร), 6.70×10^8 (10 กรัมเชื้อสดต่อน้ำ 1 ลิตร) และ 1.00×10^9 (20 กรัมเชื้อสดต่อน้ำ 1 ลิตร) สปอร์ต่อมิลลิลิตร (spores/ml) และปัจจัยที่ 2 คือ ระดับความเข้มข้นของกากน้ำตาล (molasses) จำนวน 5 ระดับ ได้แก่ 0, 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 4) โดยจัดปัญหาการทดลองแบบ 4x5 แฟกทอเรียลและวางแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ (4x5 factorial in completely randomized design) จำนวน 20 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ดังตาราง 4

3. การเตรียมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ใช้วัตถุดิบในการผลิตจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ แร่ลีโอไนดาइट ปุ๋ยหมักผักตบชวา ดินภูเขาไฟ มูลสุกร มูลไก่ อัตราส่วนเท่ากับ 3:1:1:3:2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ชัยมงคล ไชยหล้า, 2558) ผสมวัตถุดิบในอัตราส่วนดังกล่าวกับสารละลายของแต่ละกรรมวิธีในข้อ 2 โดยผสมวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยกับสารละลายในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 450 มิลลิลิตร

เมื่อผสมเชื้อกับปุ๋ยอินทรีย์แล้ว ทำการบรรจุลงในถุงพลาสติก และนำไปเก็บรักษาไว้ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง จากนั้นสุ่มตัวอย่างเพื่อบันทึกข้อมูลในวันที่ 0 (หลังผลิต), 3, 7, 11, 15, 19, 23, 27 และ 31 วัน

ตาราง 4 กรรมวิธีการทดลองที่เกิดจากการผสมสารละลายสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มา กับกากน้ำตาลความเข้มข้นต่าง ๆ

ระดับความเข้มข้นของกากน้ำตาล	ความเข้มข้นของสารละลายสปอร์เชื้อรา <i>T. harzianum</i>			
	0	⁷ 6.25x10 ±1.46	⁸ 6.70x10 ±1.26	⁹ 1.00x10 ±0.14
(spores/ml)	(spores/ml)	(spores/ml)	(spores/ml)	(spores/ml)
0%	T1	T6	T11	T16
5%	T2	T7	T12	T17
10%	T3	T8	T13	T18
15%	T4	T9	T14	T19
20%	T5	T10	T15	T20

การบันทึกข้อมูล

1. ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเชื้อรา *T. harzianum* ในเม็ดปุ๋ยอินทรีย์หลังผสมตามแต่ละกรรมวิธี โดยใช้วิธี agar method ดัดแปลงจากวิธีของ Kawasaki and Machado (2013) ซึ่งแต่ละครั้งสุ่มตัวอย่างปุ๋ยจากแต่ละกรรมวิธีมาวางบนอาหาร PDA (potato dextrose agar) จำนวน 10 เม็ด และคำนวณเปอร์เซ็นต์การเกิดเชื้อรา *T. harzianum* บนอาหาร PDA

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเชื้อรา } T. \text{ harzianum} = \left(\frac{\text{จำนวนเม็ดปุ๋ยที่มีเชื้อเจริญ}}{\text{จำนวนเม็ดปุ๋ยทั้งหมด}} \right) \times 100$$

2. ตรวจนับปริมาณเชื้อรา *T. harzianum* ในเมล็ดปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละกรรมวิธี โดยชั่งปุ๋ย 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่หนึ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วย vortex เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปกรองผ่านตะแกรงขนาด 35 ไมครอน นำสารแขวนลอยที่กรองได้ไปตรวจนับโดยใช้ hemacytometer ตรวจนับปริมาณสปอร์

3. วิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ได้แก่ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด

วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ศึกษาความเหมาะสมของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในสายพานการผลิตของโรงงาน

โดยนำส่วนผสม (กรรมวิธี) ที่คัดเลือกได้จากการทดลองที่ 2 คือ ใช้ความเข้มข้นสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ 1×10^9 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เตรียมสารละลาย 100 ลิตร ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาชนิดเชื้อสด 2 กิโลกรัม กากน้ำตาล 10 กิโลกรัม เติมน้ำให้ได้ 100 ลิตร คนให้เข้ากัน จากนั้นนำสายปั้มน้ำลงในถังเพื่อดูดน้ำไปพ่นในขั้นตอนการปั้นเม็ดปุ๋ย ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตเป็นสูตรผสมปุ๋ยอินทรีย์ที่โรงงานใช้ ได้แก่ แร่ลีโอนาร์ไดต์: ดินภูเขาไฟ: ปุ๋ยหมักผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ ในอัตราส่วน 1:1:1:1:1 โดยน้ำหนัก วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ออกมาจากหน้างานปั้น

กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ผ่านการอบครั้งแรก

กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ผ่านการอบครั้งที่สอง

เมื่อเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ผลิตในแต่ละกรรมวิธีแล้ว นำมาใส่ในกระสอบบรรจุปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นสุ่มตัวอย่างเพื่อบันทึกข้อมูลในวันที่ 0 (หลังผลิต), 1 และ 2 สัปดาห์

การบันทึกข้อมูล

1. ตรวจหาเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มาในเม็ดปุ๋ยอินทรีย์โดยการนำเม็ดปุ๋ยแต่ละกรรมวิธี มาวางบนอาหาร PDA จำนวน 10 เม็ด

2. สุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากแต่ละกรรมวิธีมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ รวมถึงปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่

ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ผสมไตรโคเดอร์มาต่อการยับยั้งเชื้อราก่อโรคเหี่ยวในเมล่อน

เตรียมกล้าเมล่อนโดยการปลูกจันต้นกล้ามีอายุประมาณ 2 สัปดาห์ จึงทำการทดสอบด้วยเทคนิค root-dip inoculation method (Freeman et al., 2002) โดยนำต้นกล้ามาล้างเอาดินที่รากออกให้หมดและทำการตัดปลายรากเล็กน้อย แล้วนำต้นกล้าไปแช่ในสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *Fusarium* sp. ที่ความหนาแน่นของสปอร์ 10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำต้นกล้าเมล่อนไปปลูกลงในกระถาง ก่อนนำต้นกล้าลงปลูกทำการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา (OFT) ผสมกับดินก่อนปลูก ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) โดยมี 5 กรรมวิธี ได้แก่ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในอัตรา 25 (8 กรัมต่อกระถาง), 50 (17 กรัมต่อกระถาง), 100 (33 กรัมต่อกระถาง) และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ (67 กรัมต่อกระถาง) โดยให้กรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาให้เป็นชุดควบคุม (control) ประเมินผลจากจำนวนต้นที่แสดงอาการเหี่ยวที่ 3, 5 และ 7 วัน หลังปลูกเชื้อ ซึ่งจะแบ่งอาการเหี่ยวออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 พืชไม่แสดงอาการเหี่ยว ระดับที่ 2 พืชแสดงอาการเหี่ยว และระดับที่ 3 พืชตาย คำนวณหาดัชนีแสดงอาการเหี่ยว (wilt index: WI) จากสมการ $WI = [(1 \times f_1) + (2 \times f_2) + (3 \times f_3)] / (f_1 + f_2 + f_3)$; 1, 2 และ 3 คือ ระดับการเกิดโรค และ f_1 , f_2 และ f_3 คือ จำนวนต้นที่แสดงอาการเหี่ยวแต่ละระดับ โดยดัดแปลงวิธีการจาก Dianese and Dristig (1993)

วัดเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเกิดโรค (percent inhibition) ด้วยสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเกิดโรค (\%)} = \left(\frac{\text{จำนวนต้นที่ปกติ}}{\text{จำนวนต้นทั้งหมด}} \right) \times 100$$

วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมไตรโคเดอร์มาต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของเมล่อน

การเตรียมต้นกล้า โดยเพาะกล้าด้วยพีทมอส เมื่อต้นกล้าอายุ 12 วัน หรือมีใบจริงใบแรก แผ่ขยายเต็มที่จึงนำไปทำการทดลอง

เตรียมวัสดุปลูกโดยใช้ดินร่วน แกลบดำ และปุ๋ยคอก ในอัตราส่วน 3:2:1 ตามลำดับ ใส่ในถุงดำขนาด 8X12 นิ้ว รดน้ำให้ชุ่มก่อนทำการปลูก ทำการปลูกตอนเย็นช่วงเวลา 15.00 น. เป็นต้นไปเพื่อหลีกเลี่ยงแสงแดด และให้ต้นกล้ามีเวลาพักตัว ทำการใส่ปุ๋ยในแต่ละกรรมวิธี ๆ ละ 4 ครั้ง คือ 1) ใส่รองพื้นก่อนปลูก 2) ใส่ปุ๋ยเมื่ออายุ 15 วัน 3) ใส่ปุ๋ยเมื่ออายุ 35 วัน และ 4) ใส่ปุ๋ยเมื่ออายุ 55 วัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) โดยกรรมวิธีการทดลองมีจำนวน 4 กรรมวิธี ๆ ละ 5 ซ้ำ ๆ ละ 3 ต้น ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม (control) ไม่ใส่ปุ๋ยใด ๆ

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 30, 30, 40 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา (อัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่)

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา (สัดส่วนที่ใช้ คือ ปุ๋ยเคมี 1 ส่วน ปุ๋ยอินทรีย์ 4 ส่วน ใช้อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่)

การบันทึกข้อมูลด้านการเจริญเติบโต ได้แก่ ค่าดัชนีความเขียวของใบ จำนวนข้อ ความสูง และผลผลิตของเมล่อน และคุณภาพผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักผลผลิต ขนาดผล ความหนาเนื้อ ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

สถานที่ทำการทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา
2. โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ตำบลแม่ใส อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา

ระยะเวลาการทำการทดลอง

เดือนตุลาคม พ.ศ. 2558–เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การควบคุมคุณภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา

1. ศึกษาคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

1.1 วัสดุอินทรีย์

1.1.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางภาพของวัตถุดิบ โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 5 ชนิด ประกอบด้วย มูลไก่ มูลสุกร ปุ๋ยหมักผักตบชวา แร่ลีโอนาร์ไดต์ และดินภูเขาไฟ ซึ่งวัตถุดิบแต่ละชนิดมีลักษณะผ่านการบดแบบผง ไม่พบหินและกรวด พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ ปะปนอยู่ในตัวอย่างวัสดุอินทรีย์

1.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบ ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่โรงงานใช้ในการผลิตปุ๋ย และนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุอินทรีย์ที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างทั้ง 5 ล็อต พบว่าคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์นั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนี้

แร่ลีโอนาร์ไดต์ ผลการวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างแร่ลีโอนาร์ไดต์จากการเข้าสู่ในล๊อตที่ 2 ถึง 5 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 24.07 ถึง 32.15 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ตัวอย่างแร่ลีโอนาร์ไดต์ที่เข้าสู่ครั้งแรกมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ ซึ่งมีค่า 3.88 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างแร่ลีโอนาร์ไดต์ มีปริมาณค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.04 ถึง 0.76 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของตัวอย่างแร่ลีโอนาร์ไดต์มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.48 ถึง 1.11 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของตัวอย่างแร่ลีโอนาร์ไดต์มีปริมาณอยู่ระหว่าง 1.03 ถึง 2.50 เปอร์เซ็นต์ ค่าวิเคราะห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 5)

ตาราง 5 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของแร่ลิโอนาร์ไคต์จากการเข้าสู่แม่แต่ละล็อต

กรรมวิธี	อินทรีย์วัตถุ (%)	ไนโตรเจน ทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัส ทั้งหมด (%)	โพแทสเซียม ทั้งหมด (%)
1 ล็อตวันที่ 19/06/60	3.88±0.43 ^c	0.04±0.01 ^d	1.11±0.07 ^a	1.03±0.27 ^c
2 ล็อตวันที่ 03/07/60	24.07±2.30 ^b	0.09±0.01 ^{cd}	0.54±0.01 ^b	1.19±0.02 ^c
3 ล็อตวันที่ 28/08/60	29.95±0.79 ^a	0.10±0.01 ^c	0.53±0.03 ^b	1.22±0.00 ^c
4 ล็อตวันที่ 18/09/60	31.15±0.38 ^a	0.65±0.01 ^b	0.48±0.01 ^b	1.86±0.02 ^b
5 ล็อตวันที่ 02/10/60	32.15±0.29 ^a	0.76±0.04 ^a	0.50±0.01 ^b	2.50±0.02 ^a
F-test	**	**	**	**
%CV	4.08	6.30	5.76	8.22

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวิธี DMRT
± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปุ๋ยหมักผักตบชวา ผลการวิเคราะห์ พบว่าค่าวิเคราะห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่น ตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวาจากการเข้าสู่แม่ในล็อตที่ 2, 3 และ 5 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งมีค่า 22.73, 29.18 และ 31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวา ที่เข้าสู่ครั้งที่ 1 และ 4 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ ซึ่งมีค่า 9.95 และ 13.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวา มีปริมาณค่อนข้างต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.15 ถึง 0.92 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวา มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.58 ถึง 2.59 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยหมักผักตบชวา มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.99 ถึง 2.72 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 6)

ดินภูเขาไฟ ผลการวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างดินภูเขาไฟจากการเข้าสู่แม่ 5 ล็อต มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ ซึ่งมีค่า 0.10 ถึง 0.18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างดินภูเขาไฟ มีปริมาณต่ำมากหรือไม่เลย ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของตัวอย่างดินภูเขาไฟ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.62 ถึง 1.13 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของตัวอย่างดินภูเขาไฟ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 1.03 ถึง 1.85 เปอร์เซ็นต์ ค่าวิเคราะห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 7)

ตาราง 6 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักผักตบชวาจากการเข้าสู่เมล็ดแต่ละล็อต

กรรมวิธี	อินทรีย์วัตถุ (%)	ไนโตรเจน ทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัส ทั้งหมด (%)	โพแทสเซียม ทั้งหมด (%)
1 ล็อตวันที่ 19/06/60	9.95±1.42 ^e	0.15±0.01 ^c	2.59±0.32 ^a	0.99±0.14 ^e
2 ล็อตวันที่ 03/07/60	22.73±0.30 ^c	0.29±0.02 ^b	0.58±0.07 ^b	1.59±0.03 ^d
3 ล็อตวันที่ 28/08/60	29.18±0.44 ^b	0.83±0.05 ^a	0.81±0.08 ^b	3.19±0.02 ^a
4 ล็อตวันที่ 18/09/60	13.01±0.50 ^d	0.28±0.01 ^b	0.69±0.05 ^b	2.25±0.02 ^c
5 ล็อตวันที่ 02/10/60	31.0±0.29 ^a	0.92±0.06 ^a	0.71±0.01 ^b	2.72±0.03 ^b
F-test	**	**	**	**
%CV	2.87	7.21	14.28	3.28

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวิธี DMRT
± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 7 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของดินภูเขาไฟจากการเข้าสู่เมล็ดแต่ละล็อต

กรรมวิธี	อินทรีย์วัตถุ (%)	ไนโตรเจน ทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัส ทั้งหมด (%)	โพแทสเซียม ทั้งหมด (%)
1 ล็อตวันที่ 19/06/60	0.09±0.00 ^b	0.00	1.13±0.04 ^a	1.03±0.01 ^c
2 ล็อตวันที่ 03/07/60	0.14±0.01 ^a	0.01	0.62±0.07 ^b	1.85±0.02 ^a
3 ล็อตวันที่ 28/08/60	0.17±0.02 ^a	0.00	0.60±0.01 ^b	1.26±0.04 ^b
4 ล็อตวันที่ 18/09/60	0.16±0.02 ^a	0.00	0.70±0.08 ^b	1.12±0.10 ^c
5 ล็อตวันที่ 02/10/60	0.18±0.02 ^a	0.00	0.68±0.08 ^b	1.13±0.03 ^c
F-test	**	ns	**	**
%CV	10.69	19.67	9.54	3.30

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวิธี DMRT,
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

มูลสุกร ผลการวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างมูลสุกรจากการเข้าสู่หมักทั้ง 5 ลีต มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งมีค่า 20.96 ถึง 45.28 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างมูลสุกร มีปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.68 ถึง 2.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของตัวอย่างมูลสุกร มีปริมาณอยู่ระหว่าง 1.01 ถึง 2.18 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของตัวอย่างมูลสุกร มีปริมาณอยู่ระหว่าง 2.59 ถึง 3.72 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 8)

ตาราง 8 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของมูลสุกรจากการเข้าสู่หมักแต่ละลีต

กรรมวิธี	อินทรีย์วัตถุ (%)	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)
1 ลีตวันที่ 19/06/60	45.28±4.55 ^a	1.86±0.19 ^{ab}	2.18±0.06 ^a	3.72±0.05 ^a
2 ลีตวันที่ 03/07/60	20.96±0.76 ^c	1.68±0.01 ^b	1.02±0.03 ^c	2.59±0.02 ^c
3 ลีตวันที่ 28/08/60	25.64±0.72 ^c	2.25±0.30 ^a	1.20±0.03 ^b	2.80±0.03 ^b
4 ลีตวันที่ 18/09/60	34.83±0.72 ^b	1.86±0.06 ^{ab}	1.05±0.08 ^{bc}	2.63±0.02 ^c
5 ลีตวันที่ 02/10/60	31.38±0.60 ^b	1.93±0.03 ^{ab}	1.01±0.02 ^c	2.78±0.00 ^b
F-test	**	**	**	**
%CV	6.42	9.42	4.47	1.02

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในกลุ่มนี้เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวิธี DMRT
± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

มูลไก่ ผลการวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างมูลไก่จากการเข้าสู่หมักทั้ง 5 ลีต มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งมีค่า 37.62 ถึง 46.02 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างมูลไก่ มีปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.92 ถึง 2.17 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของตัวอย่างมูลไก่ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.91 ถึง 2.46 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของตัวอย่างมูลไก่ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 1.97 ถึง 3.50 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 9)

ตาราง 9 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของมูลไก่จากการเข้าสู่แต่ละลีด

กรรมวิธี	อินทรีย์วัตถุ (%)	ไนโตรเจน ทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัส ทั้งหมด (%)	โพแทสเซียม ทั้งหมด (%)
1 ลีดวันที่ 19/06/60	37.62±3.03 ^c	1.93±0.19 ^b	2.46±0.06 ^a	3.50±0.02 ^a
2 ลีดวันที่ 03/07/60	43.92±0.76 ^a	2.00±0.04 ^{ab}	1.05±0.02 ^b	2.28±0.07 ^b
3 ลีดวันที่ 28/08/60	39.61±0.57 ^{bc}	2.17±0.10 ^a	0.91±0.03 ^c	2.28±0.08 ^b
4 ลีดวันที่ 18/09/60	42.10±1.20 ^{ab}	1.92±0.04 ^b	1.11±0.01 ^b	1.97±0.01 ^c
5 ลีดวันที่ 02/10/60	46.02±0.60 ^a	2.10±0.11 ^{ab}	1.04±0.04 ^b	2.01±0.10 ^c
F-test	**	*	**	**
%CV	3.53	4.23	2.46	2.98

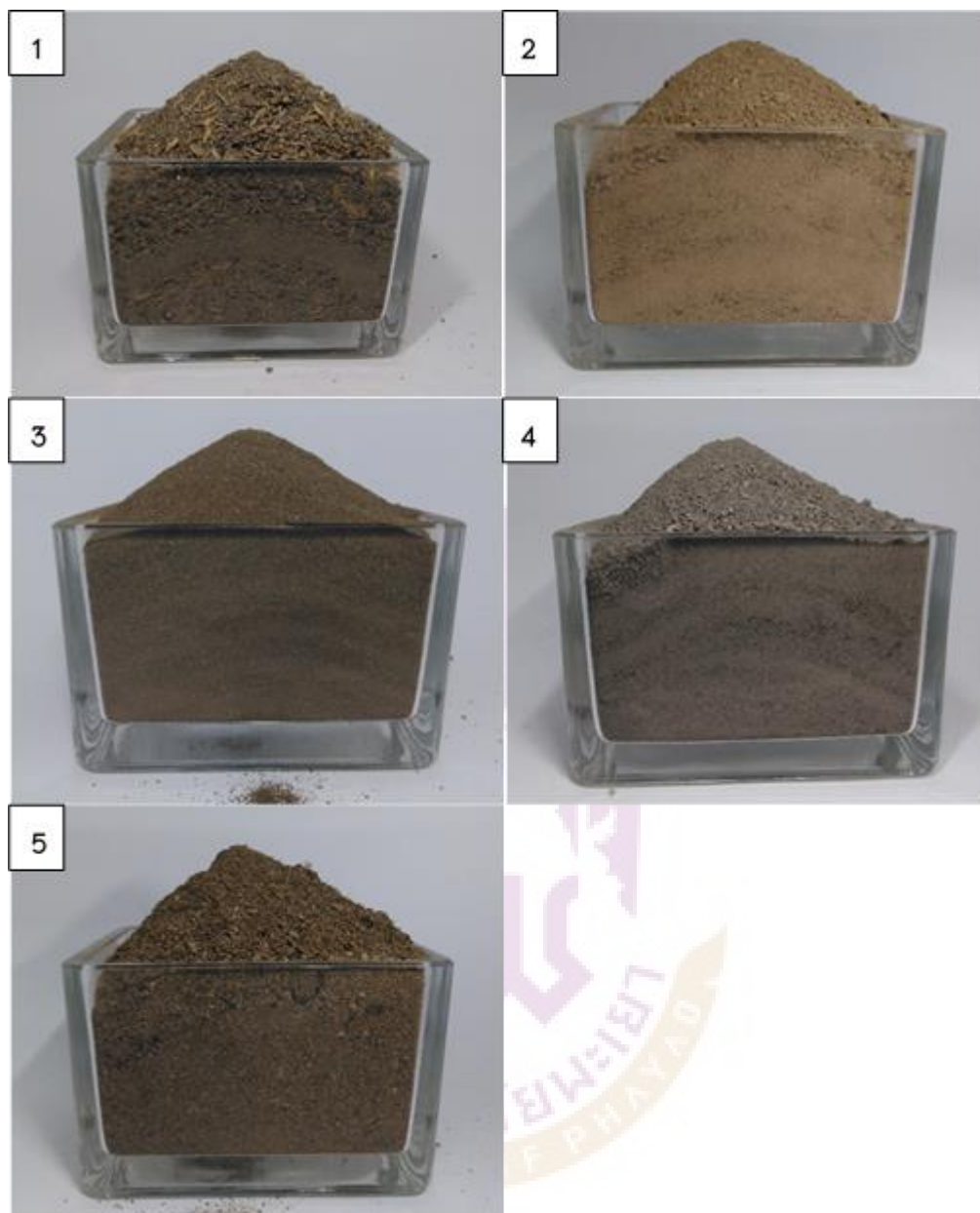
หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน

กัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

* = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญยิ่ง 0.01

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพ 20 วัสดุอินทรีย์ที่โรงงานใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์

หมายเหตุ: 1. มูลไก่ 2. ปุ๋ยหมักผักตบชวา (บดละเอียด) 3. ดินภูเขาไฟ 4. แร่ลีโอนาร์ไดต์
และ 5. มูลสุกร

1.2 คุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนการผลิต ได้แก่ ขั้นตอนหลังผสมวัตถุดิบ ขั้นตอนผ่านการปั่นเม็ด ขั้นตอนหลังผ่านการอบครั้งแรก และ ขั้นตอนหลังผ่านการอบครั้งที่สอง ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ 5 รุ่นผลิต พบว่าคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์มีดังนี้

ขั้นตอนหลังผสมวัตถุดิบ ผลการวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากการเข้าสุ่ม มีปริมาณความชื้น (moisture content) อยู่ระหว่างร้อยละ 6.67 ถึง 8.33 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 7.03 ถึง 7.83 มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) อยู่ระหว่าง 1.62 ถึง 2.16 เดซิซีเมนต่อเมตร ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) มีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์อยู่ระหว่าง 103.67 ถึง 159.33 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ค่อนข้างสูงในการเข้าสุ่มรุ่นผลิตที่ 1, 3, 4 และ 5 ซึ่งมีค่า 24.88, 20.86, 20.96 และ 20.19 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่สุ่มเก็บครั้งที่ 2 มีค่าต่ำ 18.08 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าระหว่าง 12.88 ถึง 24.88 และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 ถึง 0.91 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) ของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.68 ถึง 0.75 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) ของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 2.23 ถึง 3.16 เปอร์เซ็นต์ ค่าวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 10)

ขั้นตอนผ่านการปั่นเม็ด ผลการวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากการเข้าสุ่ม มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 27.07 ถึง 28.23 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.10 ถึง 8.01 มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.55 ถึง 2.21 เดซิซีเมนต่อเมตร ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) มีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์อยู่ระหว่าง 108 ถึง 158 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุจากการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ในการเข้าสุ่มจำนวน 5 รุ่นผลิต มีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำอยู่ระหว่างร้อยละ 11.74 ถึง 17.61 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าระหว่าง 11.64 ถึง 17.70 และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.51 ถึง 0.62 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.52 ถึง 0.63 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 2.45 ถึง 2.97 เปอร์เซ็นต์ ค่าวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 11)

ขั้นตอนหลังผ่านการอบครั้งแรก ผลการวิเคราะห์ พบว่าค่าวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่น ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากการเข้าสู่มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 25.20 ถึง 26.10 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6.83 ถึง 7.90 มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.58 ถึง 2.03 เดซิซีเมนต่อเมตร ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) มีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์อยู่ระหว่าง 109 ถึง 161 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุจากการสุมเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ในการเข้าสู่จำนวน 5 รุ่นผลิต มีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ระหว่างร้อยละ 11.09 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าระหว่าง 11.51 ถึง 17.74 และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.60 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.51 ถึง 0.61 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 2.52 ถึง 2.95 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 12)

ขั้นตอนหลังผ่านการอบครั้งที่สอง ผลการวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากการเข้าสู่มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 21.37 ถึง 21.67 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6.47 ถึง 8.06 มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.49 ถึง 2.02 เดซิซีเมนต่อเมตร ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) มีค่าการย่อยสลายสมบูรณ์อยู่ระหว่าง 109.67 ถึง 162.33 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุจากการสุมเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ในการเข้าสู่จำนวน 5 รุ่นผลิต มีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ระหว่างร้อยละ 11.25 ถึง 14.35 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าระหว่าง 11.90 ถึง 23.65 และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.35 ถึง 0.658 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.53 ถึง 0.60 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณอยู่ระหว่าง 2.50 ถึง 3.09 เปอร์เซ็นต์ ค่าวิเคราะห์ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 13)

ตาราง 10 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในชั้นตอนหลังผสมวัสดุติบ จากการเข้าสู่เมล็ดตัวอย่างแต่ละครั้ง

กรรมวิธี	ความชื้น (%)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS.m ⁻¹)	การย่อยสมบูรณ์ (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)	C/N ratio	ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	โพแทสเซียมทั้งหมด
								(%)	
1 รุ่นผลิตวันที่ 19/06/60	8.33±0.58 ^a	7.03±0.21 ^b	1.92±0.22 ^{ab}	103.67±8.14 ^d	24.88±1.68 ^a	21.02±1.04 ^a	0.69±0.01 ^c	0.70±0.01	3.16±0.02 ^a
2 รุ่นผลิตวันที่ 03/07/60	7.67±0.58 ^{abc}	7.82±0.24 ^a	1.62±0.17 ^b	123.33±4.73 ^{bc}	18.08±1.03 ^b	12.99±0.28 ^c	0.81±0.04 ^b	0.68±0.03	2.33±0.04 ^d
3 รุ่นผลิตวันที่ 28/08/60	8.00±0.00 ^{ab}	7.83±0.08 ^a	1.62±0.07 ^b	112.67±11.37 ^{cd}	20.86±0.83 ^b	16.55±1.04 ^b	0.73±0.04 ^{bc}	0.69±0.08	2.93±0.02 ^b
4 รุ่นผลิตวันที่ 18/09/60	7.00±1.00 ^{cb}	7.16±0.06 ^b	1.92±0.14 ^{ab}	137.33±9.07 ^b	20.96±0.76 ^b	18.48±0.78 ^b	0.66±0.02 ^c	0.75±0.02	2.59±0.04 ^c
5 รุ่นผลิตวันที่ 02/10/60	6.67±0.58 ^b	7.16±0.04 ^b	2.16±0.04 ^a	159.33±7.02 ^a	20.19±0.72 ^b	12.88±0.71 ^c	0.91±0.03 ^a	0.71±0.03	2.23±0.04 ^d
F-test	*	**	**	**	**	**	**	ns	**
% CV	8.22	2.25	6.93	5.11	5.49	5.41	4.06	6.16	1.31

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT

* = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญยิ่ง 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 11 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในชั้นตอนผ่านการบ่มเม็ด จากการเข้าสู่หมักเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง

กรรมวิธี	ความชื้น (%)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS.m ⁻¹)	การย่อยสมบูรณ์ (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)	C/N ratio	ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด
1 รุ่นผลิตวันที่ 19/06/60	27.70±0.50 ^{ab}	7.10±0.30 ^b	1.64±0.27 ^{bc}	108.00±2.0 ^d	17.61±2.04 ^a	17.70±1.58 ^a	0.54±0.01 ^{bc}	0.56±0.10	2.97±0.52
2 รุ่นผลิตวันที่ 03/07/60	27.07±0.76 ^b	8.01±0.12 ^a	1.57±0.16 ^{bc}	119.67±6.03 ^c	13.18±2.23 ^{ab}	15.00±2.86 ^{ab}	0.51±0.01 ^c	0.63±0.15	2.29±0.04
3 รุ่นผลิตวันที่ 28/08/60	27.93±0.57 ^{ab}	7.89±0.06 ^a	1.55±0.14 ^c	116.67±2.08 ^{cd}	11.74±0.65 ^b	13.43±1.04 ^{ab}	0.51±0.02 ^c	0.58±0.04	2.33±0.32
4 รุ่นผลิตวันที่ 18/09/60	27.53±0.45 ^{ab}	7.14±0.05 ^b	2.00±0.11 ^{ab}	136.33±2.52 ^b	15.00±2.59 ^{ab}	14.97±2.54 ^{ab}	0.58±0.01 ^{ab}	0.52±0.01	2.88±0.17
5 รุ่นผลิตวันที่ 02/10/60	28.23±0.15 ^a	7.17±0.03 ^b	2.21±0.32 ^a	158.00±4.0 ^a	12.39±2.59 ^b	11.64±2.21 ^b	0.62±0.01 ^a	0.56±0.03	2.45±0.33
F-test	*	**	*	**	**	**	**	ns	ns
% CV	1.9	2.03	12.38	3.03	11	12.24	3.11	16.08	13.75

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

* = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญยิ่ง 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 12 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในชั้นตอนหลังผ่านการอบครั้งแรก จากการเข้าสู่หมักเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง

กรรมวิธี	ความชื้น (%)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS.m ⁻¹)	การย่อยสมบูรณ์ (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)	C/N ratio	ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด
1 รุ่นผลิตวันที่ 19/06/60	25.63±0.35	6.83±0.23 ^b	1.76±0.32 ^{ab}	109.00±2.0 ^a	15.00±2.67 ^a	17.33±3.38 ^a	0.43±0.04 ^b	0.61±0.06 ^a	2.95±0.18 ^a
2 รุ่นผลิตวันที่ 03/07/60	25.20±0.20	7.90±0.25 ^a	1.61±0.08 ^b	123.33±2.52 ^c	11.68±1.34 ^b	17.74±1.69 ^a	0.38±0.01 ^b	0.56±0.04 ^{ab}	2.58±0.02 ^{ab}
3 รุ่นผลิตวันที่ 28/08/60	26.10±0.70	7.90±0.19 ^a	1.58±0.12 ^b	114.67±1.15 ^d	12.06±0.65 ^{ab}	12.57±0.28 ^b	0.56±0.02 ^a	0.53±0.01 ^{ab}	2.52±0.15 ^b
4 รุ่นผลิตวันที่ 18/09/60	25.43±0.29	7.16±0.03 ^b	2.03±0.12 ^a	136.33±1.53 ^b	11.09±1.42 ^b	12.05±2.48 ^b	0.54±0.04 ^a	0.51±0.01 ^b	2.87±0.11 ^{ab}
5 รุ่นผลิตวันที่ 02/10/60	25.80±0.40	7.20±0.07 ^b	1.72±0.18 ^{ab}	161.33±3.21 ^a	11.96±1.15 ^{ab}	11.51±0.94 ^b	0.60±0.02 ^a	0.58±0.07 ^{ab}	2.68±0.28 ^{ab}
F-test	ns	**	*	**	*	*	**	*	*
% CV	1.73	2.21	9.2	1.6	13.01	15.48	6.19	8.41	6.89

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

* = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญยิ่ง 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 13 แสดงผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในชั้นตอนหลังผ่านการอบครั้งที่สอง จากการเข้าสู่เมล็ดตัวอย่างแต่ละครั้ง

กรรมวิธี	ความชื้น (%)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS.m ⁻¹)	การย่อยสมบูรณ์ (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)	C/N ratio	ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด
1 รุ่นผลิตวันที่ 19/06/60	21.37±0.32	6.47±0.06 ^c	1.65±0.10 ^b	109.67±2.52 ^d	14.35±1.18 ^a	23.65±9.14 ^a	0.46±0.04 ^{bc}	0.58 ±0.05	2.71±0.02 ^{db}
2 รุ่นผลิตวันที่ 03/07/60	21.53±0.23	8.03±0.05 ^a	1.49±0.03 ^b	122.67±4.51 ^c	11.25±1.70 ^b	18.95±3.82 ^{ab}	0.35±0.02 ^c	0.56±0.05	2.50±0.30 ^b
3 รุ่นผลิตวันที่ 28/08/60	21.67±0.31	8.06±0.02 ^a	1.60±0.05 ^b	115.00±2.65 ^{cd}	12.72±0.86 ^{ab}	14.04±0.62 ^b	0.53±0.01 ^{db}	0.53±0.01	2.58±0.19 ^b
4 รุ่นผลิตวันที่ 18/09/60	21.43±0.12	7.28±0.04 ^b	2.02±0.09 ^a	133.00±2.00 ^b	11.96±1.64 ^{ab}	13.61±2.87 ^b	0.52±0.07 ^{ab}	0.60±0.08	3.09±0.47 ^a
5 รุ่นผลิตวันที่ 02/10/60	21.50±0.17	7.23±0.05 ^b	1.99±0.10 ^a	162.33±3.51 ^a	12.83±1.23 ^{ab}	11.90±3.27 ^b	0.65±0.12 ^a	0.59±0.00	2.67±0.24 ^{db}
F-test	ns	**	**	**	*	*	**	ns	*
% CV	1.89	0.57	4.89	2.4	11.95	29.78	11.58	6.44	9.16

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT

* = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญยิ่ง 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. การศึกษาผลกระทบของกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

จากการศึกษาขั้นตอนการผลิตที่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยการเก็บตัวอย่างในแต่ละขั้นตอนในระหว่างการผลิต พบว่า คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ในระหว่างการผลิต มีความแตกต่างกันของค่าวิเคราะห์ แสดงถึงความสม่ำเสมอของกระบวนการผลิตของโรงงาน ดังนี้ (ตาราง 14)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนการผลิตหรือทุกกรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 7.40 ถึง 7.46

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) พบว่า ค่าค่าการนำไฟฟ้า ของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนการผลิตหรือทุกกรรมวิธี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมีค่า อยู่ระหว่าง 1.74 ถึง 1.84 เดซิซีเมนต่อเมตร ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กำหนดให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุรับรองไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนหลังผสมวัตถุดิบ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 20.99 (กรรมวิธีที่ 1) ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุของตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านขั้นตอนการบ่มเม็ด (กรรมวิธีที่ 2) ขั้นตอนการอบครั้งแรก (กรรมวิธีที่ 3) และ ขั้นตอนการอบครั้งที่สอง (กรรมวิธีที่ 4) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ร้อยละ 13.98, 12.35 และ 12.62 ตามลำดับ

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่นำมาศึกษามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำ แต่มีความสม่ำเสมออยู่ในช่วงร้อยละ 0.50 ถึง 0.76 โดยน้ำหนัก จึงทำให้ปุ๋ยอินทรีย์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจะต้องมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5) ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่นำมาศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.55 ถึง 0.70 โดยน้ำหนัก จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ตามมาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดจะต้องไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่นำมาศึกษามีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 2.58 ถึง 2.72 ดังนั้นตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ตามมาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดจะต้องไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 21 กิจกรรมการเข้าสู่เก็บตัวอย่างวัตถุดิบ และปุ๋ยอินทรีย์ของโรงงาน
ปุ๋ยอินทรีย์ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา



ตาราง 14 แสดงผลการศึกษาลักษณะของกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS.m ⁻¹)	อินทรีย์วัตถุ (%)	ไนโตรเจนทั้งหมด	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด
1. ขั้นตอนหลังผสมวัตถุดิบ	7.40±0.39	1.84±0.23	20.99±2.46 ^a	0.76±0.10 ^a	0.70±0.03 ^a	2.64±0.39
2. ขั้นตอนผ่านการปั่นเม็ด	7.46±0.45	1.79±0.30	13.98±2.37 ^b	0.55±0.05 ^b	0.57±0.04 ^b	2.58±0.32
3. ขั้นตอนหลังผ่านการอบครั้งแรก	7.39±0.48	1.74±0.18	12.35±1.52 ^b	0.50±0.09 ^b	0.55±0.04 ^b	2.72±0.18
4. ขั้นตอนหลังผ่านการอบครั้งที่สอง	7.46±0.66	1.75±0.24	12.62±1.16 ^b	0.50±0.11 ^b	0.57±0.03 ^b	2.71±0.23
F-test	ns	ns	**	**	**	ns
%CV	2.12	6.90	7.24	11.26	6.09	8.03

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

** = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญถึง 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลของความเข้มข้นของสารละลายสปอร์และกากน้ำตาลต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา

1. การศึกษาสมบัติทางชีวภาพของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา

1.1 หาเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มาในเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาหลังเก็บนาน 31 วัน พบว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ความเข้มข้น 0 (ไม่ใส่เชื้อราไตรโคเดอร์มา) ร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่พบเชื้อราไตรโคเดอร์มาบนเม็ดปุ๋ยอินทรีย์หลังจากทดสอบบนอาหาร PDA ขณะที่การใช้ความเข้มข้นสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ 6.25×10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร (spores/ml) ร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหลังเก็บนาน 31 วันนั้นมีอัตราการมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มาถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (กรรมวิธี T10) นอกจากนี้การใช้ความเข้มข้นสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มา 6.70×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหลังเก็บนาน 31 วัน มีอัตราการมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มา 100 เปอร์เซ็นต์ เช่นกัน (กรรมวิธี T13 และ T14) ยิ่งไปกว่านั้นความเข้มข้นสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ 1.00×10^9 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหลังเก็บนาน 31 วัน มีอัตราการมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มา 100 เปอร์เซ็นต์ด้วย (กรรมวิธี T18 และ T19) (ตาราง 15)

1.2 ปริมาณสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา

จากการศึกษาหาปริมาณสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาหลังเก็บนานตั้งแต่ 0 (หลังผลิต), 15 และ 31 วัน พบว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ความเข้มข้น 0 (ไม่ใส่เชื้อราไตรโคเดอร์มา) ร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นั้น ไม่พบว่ามีสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาบนเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ขณะที่การใช้ ความเข้มข้นสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ 6.25×10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหลังเก็บนาน 31 วัน มีปริมาณสปอร์ของเชื้อราไตรโคเดอร์มาประมาณ $4.10 \times 10^7 \pm 0.56$ สปอร์ต่อมิลลิลิตร นอกจากนี้ที่ความเข้มข้นสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มา 6.70×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ หลังเก็บนาน 31 วัน พบว่ามีปริมาณสปอร์ของเชื้อราไตรโคเดอร์มาประมาณ $32.33 \times 10^7 \pm 4.51$ สปอร์ต่อมิลลิลิตร และ $19.00 \times 10^7 \pm 1.27$ สปอร์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตาราง 16)

ตาราง 15 แสดงผลการตรวจหาเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มาบน
เม็ดปุ๋ยอินทรีย์

ความเข้มข้น <i>T.</i> <i>harzianum</i> (S)	ความ เข้มข้น กากน้ำตาล (M)	กรรมวิธี	ระยะเวลาเก็บ (เปอร์เซ็นต์)								
			0 วัน	3 วัน	7 วัน	11 วัน	15 วัน	19 วัน	23 วัน	27 วัน	31 วัน
0	0%	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5%	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10%	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15%	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20%	T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25x10 ⁷ (spores/ml)	0%	T6	100	100	90	90	0	0	0	0	0
	5%	T7	100	100	100	90	90	80	0	0	0
	10%	T8	100	100	100	60	46.67	30	16.67	0	0
	15%	T9	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	20%	T10	100	100	100	100	26.67	13.33	0	0	0
6.70x10 ⁸ (spores/ml)	0%	T11	100	100	100	96.67	66.67	40	0	0	0
	5%	T12	100	100	100	100	100	100	100	100	93.33
	10%	T13	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	15%	T14	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	20%	T15	100	100	100	100	83.33	66.67	0	0	0
1x10 ⁹ (spores/ml)	0%	T16	100	100	100	100	96.67	83.33	40	0	0
	5%	T17	100	100	100	100	100	100	70	56.67	46.67
	10%	T18	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	15%	T19	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	20%	T20	100	100	100	100	100	63.33	30	0	0

และการใช้ความเข้มข้นสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ 1.00×10^9 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าหลังเก็บนาน 31 วัน มีปริมาณสปอร์ของเชื้อราไตรโคเดอร์มาประมาณ $42.5 \times 10^7 \pm 3.91$ สปอร์ต่อมิลลิลิตร และ $24.17 \times 10^7 \pm 5.2$ สปอร์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตาราง 16)



ภาพ 22 ผลของการมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มาในผู้ป่วยอินทรีหลังเก็บรักษานาน 30 วัน

ตาราง 16 แสดงผลการตรวจนับปริมาณสปอร์ของเชื้อราไตรโคเดอร์มาจากเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

ความเข้มข้น <i>T. harzianum</i> (S)	ความเข้มข้น กากน้ำตาล (M)	กรรมวิธี	Haemocytometer count (Values are $\times 10^7$ spores/ml)		
			0 วัน	15 วัน	31 วัน
0	0%	T1	0.00 ^f	0.00 ^e	0.00 ^f
	5%	T2	0.00 ^f	0.00 ^e	0.00 ^f
	10%	T3	0.00 ^f	0.00 ^e	0.00 ^f
	15%	T4	0.00 ^f	0.00 ^e	0.00 ^f
	20%	T5	0.00 ^f	0.00 ^e	0.00 ^f
6.25 $\times 10^7$ (spores/ml)	0%	T6	0.013 $\pm 0.00^e$	0.00 ^e	0.00 ^f
	5%	T7	0.013 $\pm 0.00^e$	0.002 $\pm 0.00^d$	0.00 ^f
	10%	T8	0.014 $\pm 0.00^e$	0.035 $\pm 0.00^d$	0.00 ^f
	15%	T9	0.017 $\pm 0.00^e$	1.38 $\pm 0.32^{cd}$	4.10 $\pm 0.56^e$
	20%	T10	0.018 $\pm 0.00^e$	0.006 $\pm 0.00^d$	0.00 ^f
6.70 $\times 10^8$ (spores/ml)	0%	T11	0.21 $\pm 0.12^d$	0.012 $\pm 0.00^d$	0.00 ^f
	5%	T12	0.26 $\pm 0.04^d$	1.42 $\pm 0.38^{cd}$	1.63 $\pm 0.08^e$
	10%	T13	0.37 $\pm 0.03^d$	1.37 $\pm 0.13^{cd}$	32.33 $\pm 4.51^b$
	15%	T14	0.31 $\pm 0.04^d$	1.36 $\pm 0.15^{cd}$	19 $\pm 1.27^d$
	20%	T15	0.33 $\pm 0.10^d$	0.012 $\pm 0.00^d$	0.00 ^f
1 $\times 10^9$ (spores/ml)	0%	T16	1.33 $\pm 0.14^{bc}$	0.035 $\pm 0.00^d$	0.00 ^f
	5%	T17	1.30 $\pm 0.05^{bc}$	1.88 $\pm 0.13^c$	0.63 $\pm 0.12^e$
	10%	T18	1.17 $\pm 0.14^c$	15.27 $\pm 2.68^b$	42.50 $\pm 3.91^d$
	15%	T19	1.47 $\pm 0.25^{db}$	18.33 $\pm 1.76^d$	24.17 $\pm 5.20^c$
	20%	T20	1.57 $\pm 0.08^c$	0.90 $\pm 0.04^{cd}$	0.00 ^f
		S	**	**	**
		M	*	**	**
		SxM	**	**	**
		%CV	4.47	5.87	5.37

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

* = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญยิ่ง 0.01

\pm = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา

เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ผลิตมาวิเคราะห์หาคุณภาพ พบว่าที่ความเข้มข้นของสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มา 0 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นของกากน้ำตาลระดับต่าง ๆ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ระหว่าง 5.96 ถึง 6.68 มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 23.05 ถึง 23.71 มีค่าการนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง 1.24 ถึง 2.59 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ อยู่ระหว่างร้อยละ 30.50 ถึง 35.99 จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก โดยใช้ระยะเวลาการเก็บรักษานาน 31 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ระหว่างร้อยละ 0.69 ถึง 0.80 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 1.08 ถึง 1.25 และมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด อยู่ระหว่างร้อยละ 2.28 ถึง 2.75 (ตาราง 17)

ที่ความเข้มข้นของสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มา 6.25×10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นของกากน้ำตาลระดับต่าง ๆ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ระหว่าง 5.90 ถึง 6.81 มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 22.85 ถึง 23.62 มีค่าการนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง 1.29 ถึง 2.42 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ อยู่ระหว่างร้อยละ 30.40 ถึง 38.95 จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก โดยใช้ระยะเวลาการเก็บรักษานาน 31 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ระหว่างร้อยละ 0.73 ถึง 0.76 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 1.21 ถึง 1.33 และมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด อยู่ระหว่างร้อยละ 2.47 ถึง 2.66 (ตาราง 17)

ที่ความเข้มข้นของสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มา 6.70×10^8 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นของกากน้ำตาลระดับต่าง ๆ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ระหว่าง 6.35 ถึง 6.80 มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 22.45 ถึง 23.63 มีค่าการนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง 1.30 ถึง 2.60 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ อยู่ระหว่างร้อยละ 32.40 ถึง 38.74 จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก โดยใช้ระยะเวลาการเก็บรักษานาน 31 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ระหว่างร้อยละ 0.66 ถึง 0.76 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 1.13 ถึง 1.44 และมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด อยู่ระหว่างร้อยละ 2.02 ถึง 2.61 (ตาราง 17)

ที่ความเข้มข้นของสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มา 1.00×10^9 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นของกากน้ำตาลระดับต่าง ๆ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ระหว่าง 6.01 ถึง 6.71 มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 22.82 ถึง 23.28 มีค่าการนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง 1.34 ถึง 2.86 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ อยู่ระหว่างร้อยละ 31.56 ถึง 39.27 จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก โดยใช้ระยะเวลาการเก็บรักษานาน 31 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ระหว่างร้อยละ 0.66 ถึง

0.82 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 1.17 ถึง 1.39 และมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด อยู่ระหว่างร้อยละ 2.29 ถึง 2.56 (ตาราง 17)

ตาราง 17 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อรา ไตรโคเดอร์มา

ความเข้มข้น <i>T. harzianum</i> (S)	ความเข้มข้น กากน้ำตาล (M)	กรรมวิธี	pH	Moisture (%)	EC (dS·m ⁻¹)	OM (%)
0	0%	T1	6.68 ^{abc}	23.62	1.24 ⁱ	30.50 ^l
	5%	T2	6.54 ^{b-f}	23.71	1.44 ^{ghi}	31.24 ^{kl}
	10%	T3	6.47 ^{c-f}	23.57	1.52 ^{fgh}	35.04 ^f
	15%	T4	6.45 ^{def}	23.55	2.33 ^{cd}	33.88 ^g
	20%	T5	5.96 ⁱ	23.05	2.59 ^b	35.99 ^{de}
6.25x10 ⁷ (spores/ml)	0%	T6	6.81 ^a	22.88	1.29 ⁱ	30.40 ^l
	5%	T7	6.60 ^{a-e}	23.05	1.61 ^{fg}	32.83 ^h
	10%	T8	6.34 ^{fg}	23.62	1.59 ^{fg}	31.87 ^{ijk}
	15%	T9	6.18 ^{gh}	22.85	1.68 ^{ef}	35.36 ^{ef}
	20%	T10	5.90 ⁱ	22.95	2.42 ^{bcd}	38.95 ^{ab}
6.70x10 ⁸ (spores/ml)	0%	T11	6.80 ^a	22.45	1.30 ⁱ	32.40 ^{hij}
	5%	T12	6.64 ^{a-d}	23.63	2.34 ^{cd}	36.94 ^c
	10%	T13	6.65 ^{a-d}	22.66	2.53 ^{bc}	37.16 ^c
	15%	T14	6.38 ^{efg}	22.68	2.21 ^d	36.47 ^{cd}
	20%	T15	6.35 ^{fg}	23.02	2.60 ^b	38.74 ^{ab}
1x10 ⁹ (spores/ml)	0%	T16	6.71 ^{ab}	23.02	1.34 ^{hi}	31.56 ^k
	5%	T17	6.56 ^{b-f}	23.28	1.70 ^{ef}	32.67 ^{hi}
	10%	T18	6.52 ^{b-f}	23.02	1.85 ^e	38.11 ^b
	15%	T19	6.01 ^{hi}	22.82	2.64 ^b	35.57 ^{ef}
	20%	T20	6.07 ^{hi}	23.09	2.86 ^a	39.27 ^a
		S	**	ns	**	**
		M	**	ns	**	**
		SxM	**	ns	**	**
		%CV	1.85	5.21	6.10	6.08

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวิธี DMRT
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตาราง 17 (ต่อ)

ความเข้มข้น <i>T. harzianum</i> (S)	ความเข้มข้น กากน้ำตาล (M)	กรรมวิธี	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)			ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)			โพแทสเซียมทั้งหมด (%)		
			0	15	30	0	15	30	0	15	31
			วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน	วัน
0	0%	T1	1.02 ^k	0.78 ^{cd}	0.80 ^{ab}	0.94 ^k	1.23 ^{fg}	1.19	1.04 ^h	2.22 ^f	2.28 ^e
	5%	T2	1.16 ^e	0.97 ^a	0.74 ^{a-e}	1.11 ^b	1.35 ^{c-f}	1.18	0.96 ^k	2.75 ^a	2.75 ^a
	10%	T3	1.18 ^d	0.85 ^b	0.74 ^{a-e}	0.98 ^h	1.25 ^{efg}	1.17	1.13 ^h	2.59 ^g	2.60 ^{bc}
	15%	T4	1.19 ^c	0.92 ^a	0.69 ^{cde}	0.92 ^j	1.26 ^{efg}	1.08	1.45 ^f	2.39 ^j	2.39 ^{de}
	20%	T5	1.27 ^a	0.83 ^{bc}	0.74 ^{a-e}	0.99 ^g	1.42 ^{bcd}	1.25	1.75 ^c	2.64 ^f	2.63 ^{ab}
6.25×10 ⁷ (spores/ml)	0%	T6	1.15 ^f	0.74 ^{de}	0.75 ^{a-e}	0.97 ⁱ	1.33 ^{d-g}	1.21	2.22 ^a	2.59 ^h	2.59 ^{bc}
	5%	T7	1.16 ^e	0.67 ^{ghi}	0.73 ^{a-e}	1.03 ^f	1.53 ^{ab}	1.32	0.95 ^k	2.66 ^d	2.66 ^{ab}
	10%	T8	1.16 ^e	0.71 ^{efg}	0.73 ^{a-e}	0.94 ^k	1.41 ^{bcd}	1.24	1.34 ^g	2.64 ^e	2.64 ^{ab}
	15%	T9	1.18 ^d	0.69 ^{ghi}	0.73 ^{a-e}	1.05 ^e	1.44 ^{bcd}	1.26	1.73 ^c	2.67 ^c	2.66 ^{ab}
	20%	T10	1.16 ^e	0.72 ^{efg}	0.76 ^{abc}	0.99 ^g	1.41 ^{bcd}	1.33	1.85 ^b	2.46 ^k	2.47 ^{cd}
6.70×10 ⁸ (spores/ml)	0%	T11	1.01 ^l	0.64 ^{hi}	0.66 ^e	0.90 ^m	1.42 ^{bcd}	1.24	1.03 ^j	1.89 ^s	2.02 ^f
	5%	T12	1.09 ^j	0.68 ^{gh}	0.70 ^{cde}	0.94 ^k	1.32 ^{d-g}	1.22	1.09 ^j	2.24 ^q	2.26 ^e
	10%	T13	1.11 ^h	0.68 ^{gh}	0.75 ^{a-e}	0.96 ^j	1.61 ^o	1.44	1.55 ^e	2.37 ^m	2.60 ^{bc}
	15%	T14	1.09 ^j	0.69 ^{gh}	0.69 ^{cde}	1.06 ^d	1.21 ^g	1.13	1.17 ^h	2.52 ^j	2.56 ^{bc}
	20%	T15	1.19 ^c	0.74 ^{def}	0.76 ^{a-d}	1.07 ^c	1.42 ^{bcd}	1.26	1.45 ^f	2.71 ^b	2.61 ^{abc}
1×10 ⁹ (spores/ml)	0%	T16	1.01 ^l	0.67 ^{ghi}	0.66 ^{de}	0.88 ⁿ	1.44 ^{bcd}	1.17	0.95 ^k	2.46 ^k	2.47 ^{cd}
	5%	T17	1.05 ^j	0.67 ^{ghi}	0.68 ^{cde}	0.92 ^k	1.48 ^{bc}	1.29	0.88 ^l	2.25 ^p	2.29 ^e
	10%	T18	1.11 ^h	0.65 ^{hi}	0.70 ^{cde}	0.94 ^k	1.32 ^{d-g}	1.20	0.93 ^k	2.52 ^j	2.53 ^{bc}
	15%	T19	1.13 ^g	0.65 ^{hi}	0.76 ^{a-d}	1.05 ^e	1.62 ^o	1.39	1.07 ^j	2.34 ^q	2.56 ^{bc}
	20%	T20	1.23 ^b	0.62 ⁱ	0.82 ^a	1.20 ^a	1.38 ^{cde}	1.30	1.65 ^d	2.35 ⁿ	2.55 ^{bc}
		S	**	**	ns	**	**	ns	**	**	**
		M	**	**	**	**	ns	ns	**	**	**
		S×M	**	**	**	**	**	ns	**	**	**
		%CV	0.034	3.11	4.99	0.13	3.96	4.40	1.59	0.06	2.36

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวิธี DMRT
ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ศึกษาความเหมาะสมของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในกระบวนการผลิตของโรงงาน

จากการศึกษาความเหมาะสมของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในกระบวนการผลิตของโรงงาน โดยนำกรรมวิธีที่คัดเลือกจากการทดลองที่ 2 คือ ใช้ความเข้มข้นสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ 1.00×10^9 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และสูตรผสมปุ๋ยอินทรีย์ที่โรงงานใช้ ได้แก่ แร่สีโอนาร์โดต์: ดินภูเขาไฟ: ปุ๋ยหมักผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ ในอัตราส่วน 1:1:1:1 โดยน้ำหนัก ผลจากการทดลองผลิตในกระบวนการของโรงงาน เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณธาตุอาหารหลัก และเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มา ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 18 ดังนี้

ปริมาณความชื้น ของปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในกรรมวิธีที่เก็บหน้าจานบ้นมีปริมาณความชื้นอยู่ร้อยละ 28.87 เมื่อเก็บไว้นาน 2 สัปดาห์ ความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 26.67 กรรมวิธีหลังอบด้วยความร้อนครั้งแรกปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มามีปริมาณความชื้นอยู่ร้อยละ 26.57 เมื่อเก็บไว้นาน 2 สัปดาห์ ความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 24.37 ในขณะที่กรรมวิธีหลังอบด้วยความร้อนครั้งที่สองปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มามีปริมาณความชื้นอยู่ร้อยละ 21.9 เมื่อเก็บไว้นาน 2 สัปดาห์ ความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 21.27 เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตพบว่าระดับความชื้นมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในทุก ๆ กรรมวิธีหลังผลิต พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 8.13 ถึง 8.3 และลดลงเล็กน้อยหลังเก็บ 2 สัปดาห์ เหลือค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6.13 ถึง 7.74

ค่าการนำไฟฟ้า ของปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในทุก ๆ กรรมวิธีหลังผลิต พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.83 ถึง 2.41 dS.m^{-1} หลังเก็บ 2 สัปดาห์ มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 2.02 ถึง 2.14 dS.m^{-1}

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ของปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในกรรมวิธีที่เก็บหน้าจานบ้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ร้อยละ 23.26 เมื่อเก็บไว้นาน 2 สัปดาห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงเหลือร้อยละ 21.35 กรรมวิธีหลังอบด้วยความร้อนครั้งแรกปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มามีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ร้อยละ 22.04 เมื่อเก็บไว้นาน 2 สัปดาห์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงเหลือร้อยละ 22.23 ในขณะที่กรรมวิธีหลังอบด้วยความร้อนครั้งที่สองปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์

เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บไว้นาน 2 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์การมีชีวิตรอด เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่พบ เชื้อราไตรโคเดอร์มามีชีวิตรอด

ตาราง 18 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในแต่ละขั้นตอนของการผลิต

ขั้นตอนผลิต (P)	ระยะเวลา		ความชื้น	ความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า	อินทรีย์วัตถุ
	เก็บรักษา (T)	กรรมวิธี				
ปุ๋ยอินทรีย์ที่เก็บหน้างานป่น	หลังผลิต	Tr.1	28.87±0.38 ^a	8.23±0.01 ^a	2.50±0.29 ^a	23.25±4.27
	1 สัปดาห์	Tr.2	27.00±0.72 ^b	8.10±0.30 ^a	2.28±0.29 ^{ab}	25.40±2.32
	2 สัปดาห์	Tr.3	26.67±0.46 ^{bc}	7.65±0.04 ^a	2.14±0.22 ^{ab}	21.36±3.37
ปุ๋ยอินทรีย์ที่เก็บหลังอบครั้งแรก	หลังผลิต	Tr.4	26.57±0.57 ^{bc}	8.30±0.03 ^a	2.30±0.06 ^{ab}	22.05±1.47
	1 สัปดาห์	Tr.5	25.63±0.49 ^c	7.97±0.30 ^a	2.42±0.24 ^a	22.21±0.44
	2 สัปดาห์	Tr.6	24.37±0.60 ^d	7.74±0.01 ^a	2.12±0.22 ^{ab}	22.23±1.95
ปุ๋ยอินทรีย์ที่เก็บหลังอบครั้งที่สอง	หลังผลิต	Tr.7	21.90±0.36 ^e	8.14±0.05 ^a	1.88±0.04 ^b	24.72±1.90
	1 สัปดาห์	Tr.8	21.60±0.53 ^e	7.55±1.19 ^a	1.82±0.07 ^b	24.41±0.44
	2 สัปดาห์	Tr.9	21.27±0.25 ^e	6.13±0.04 ^b	2.02±0.16 ^{ab}	22.13±1.97
		P	**	**	**	ns
		T	**	**	ns	ns
		PxT	*	*	ns	ns
		%CV	2.02	5.45	9.22	10.08

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

* = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

** = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญยิ่ง 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 18 (ต่อ)

ขั้นตอนผลิต (P)	ระยะเวลา		ไนโตรเจน ทั้งหมด	ฟอสฟอรัส ทั้งหมด	โพแทสเซียม ทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์การ มีชีวิตรอด
	เก็บรักษา (T)	กรรมวิธี				
ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อ	หลังผลิต	Tr.1	0.72±0.03 ^{ab}	0.70±0.02 ^b	2.26±0.07 ^b	100.00±0.00 ^a
ราไตรโคเดอร์มาที่	1 สัปดาห์	Tr.2	0.74±0.06 ^{ab}	0.77±0.07 ^{ab}	2.41±0.20 ^{ab}	93.33±5.77 ^{ab}
เก็บหน้าจามัน	2 สัปดาห์	Tr.3	0.81±0.09 ^a	0.74±0.09 ^b	2.32±0.01 ^b	76.67±5.77 ^b
ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อ	หลังผลิต	Tr.4	0.70±0.07 ^{ab}	0.70±0.01 ^b	2.32±0.01 ^b	83.33±5.77 ^{ab}
ราไตรโคเดอร์มาที่	1 สัปดาห์	Tr.5	0.70±0.04 ^{ab}	0.71±0.01 ^b	2.45±0.17 ^{ab}	43.33±15.28 ^c
เก็บหลังอบครั้งแรก	2 สัปดาห์	Tr.6	0.71±0.06 ^{ab}	0.70±0.01 ^b	2.36±0.05 ^b	26.67±11.55 ^{cd}
ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อ	หลังผลิต	Tr.7	0.80±0.09 ^a	0.71±0.01 ^b	2.64±0.00 ^a	33.33±5.77 ^c
ราไตรโคเดอร์มาที่	1 สัปดาห์	Tr.8	0.71±0.04 ^{ab}	0.86±0.05 ^a	2.31±0.03 ^b	13.33±5.77 ^{de}
เก็บหลังอบครั้งที่ สอง	2 สัปดาห์	Tr.9	0.60±0.02 ^b	0.71±0.03 ^b	2.38±0.01 ^b	0.00±0.00 ^e
		P	ns	*	ns	**
		T	ns	**	ns	**
		PxT	**	*	**	**
		%CV	8.30	6.07	3.97	14.74

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่าง

กัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

* = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

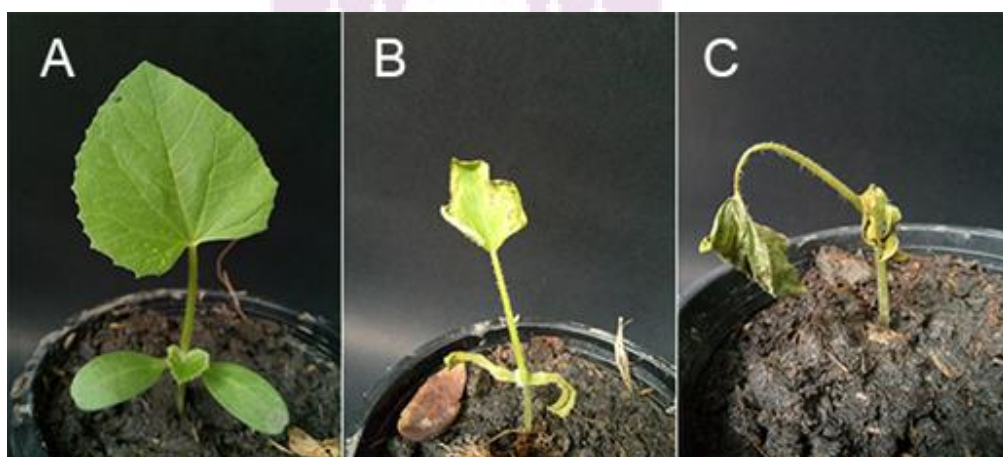
** = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญยิ่ง 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์ผสมไตรโคเดอร์มาต่อการยับยั้งเชื้อราก่อโรคเหี่ยวในเมล่อน

จากการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในการควบคุม เชื้อรา *Fusarium* sp. สาเหตุโรคเหี่ยว (Fusarium wilt) ของเมล่อน ด้วยเทคนิค root dip เพื่อหาอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่สามารถควบคุมเชื้อราโรคเหี่ยว โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวผสมดินในอัตรา 25, 50, 100 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนนำกล้าของเมล่อนที่จุ่มรากในสารละลายสปอร์เชื้อรา *Fusarium* sp. (10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร) นาน 30 นาที ย้ายปลูกลงดินในกระถาง หลังการทดสอบเป็นเวลา 7 วัน พบว่า ต้นเมล่อนแสดงอาการเหี่ยวในระดับที่ต่างกัน ในกรรมวิธีควบคุม มีค่า WI มากที่สุด เท่ากับ 2.63 ± 0.74 รองลงมา คือ 2.37 ± 0.91 จากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ โดยค่า WI ยิ่งสูงแสดงถึงพืชแสดงอาการเหี่ยวจำนวนมาก ส่วนกรรมวิธีที่มีค่า WI ต่ำสุด เท่ากับ 1 คือ กรรมวิธีใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่อัตราการใช้ 200 กิโลกรัมต่อไร่ (ตาราง 19, ภาพ 23)



ภาพ 23 แสดงระดับการให้คะแนนของโรคที่ใช้ในการประเมินการควบคุมโรค *Fusarium wilt* ของเมล่อน

- หมายเหตุ: ระดับ 1 = ต้นปกติ (A)
 ระดับ 2 = แสดงอาการเหี่ยว (B)
 ระดับ 3 = ตาย (C)

ตาราง 19 แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งโรคเหี่ยว และดัชนีการเกิดโรคเหี่ยว

กรรมวิธี	เปอร์เซ็นต์ยับยั้งโรคเหี่ยว			ดัชนีการเกิดโรคเหี่ยว (WI)		
	3 วัน	5 วัน	7 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
1. ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย)	75±28.87	25±17.8 ^b	12.5±10.46 ^b	1.25±0.46	2.5±0.46 ^a	2.63±0.74 ^a
2. ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา 25 กิโลกรัม/ไร่	87.5±25	25±17.8 ^b	25±17.8 ^b	1.13±0.35	2.5±0.46 ^a	2.37±0.91 ^a
3. ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา 50 กิโลกรัม/ไร่	87.5±25	75±28.87 ^a	50±35.36 ^{ab}	1.13±0.35	1.25±0.46 ^{ab}	1.75±0.88 ^{ab}
4. ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา 100 กิโลกรัม/ไร่	100±0	75±28.87 ^a	62.5±33.79 ^{ab}	1±0	1.25±0.46 ^{ab}	1.63±0.91 ^{ab}
5. ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา 200 กิโลกรัม/ไร่	100±0	100±0 ^a	100±0 ^a	1±0	1±0 ^b	1±0 ^b
F-test	ns	**	**	ns	**	**
CV (%)	22.68	35.74	47.43	26.89	29.57	41.43

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากเปอร์เซ็นต์ยับยั้งโรคเหี่ยว พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่อัตราการใช้ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ในการเตรียมพื้นที่ก่อนปลูก มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเจริญของเชื้อราโรคเหี่ยวในเมล่อนได้ดีที่สุด เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการใช้ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราโรคเหี่ยวรองลงมา ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่อัตราการใช้ 100 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ เท่ากับ 62.50 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 19)

ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมไตรโคเดอร์มาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตเมล่อน

จากการทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมไตรโคเดอร์มาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตในเมล่อน ได้ข้อมูลจากการทดลองดังนี้

การเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตของเมล่อนในระดับโรงเรือน ต้นเมล่อนในแต่ละกรรมวิธีมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อต้นเมล่อนมีอายุ 5 สัปดาห์ พบว่าต้นเมล่อนที่ใส่ปุ๋ยเคมี และต้นเมล่อนที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา มีการเจริญเติบโตมากที่สุด คือ 216.13 และ 215 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือ ต้นเมล่อนที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา 195.67 เซนติเมตร และ การเจริญเติบโตต่ำที่สุด คือชุดควบคุม มีความสูงประมาณ 129.67 เซนติเมตร (ตาราง 20)

ค่าดัชนีความเขียวของใบ เมื่อเมล่อนมีอายุ 5 สัปดาห์ พบว่าในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าดัชนีความเขียวของใบมากที่สุดมีค่า 51.43 SPAD Unit รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา มีค่าดัชนีความเขียวของใบประมาณ 48.82 และ 40.96 SPAD Unit ตามลำดับ ขณะที่ค่าดัชนีความเขียวของใบในกรรมวิธีควบคุมต่ำที่สุด มีค่า 30.23 SPAD Unit (ตาราง 21)

จำนวนข้อต่อต้น จากการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องของเมล่อนจนอายุ 5 สัปดาห์ พบว่าจำนวนข้อต่อต้นในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีจำนวนข้อต่อประมาณ 26.40 และ 26.73 ข้อ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มานั้น ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุม โดยมีจำนวนข้อต่อต้นประมาณ 24.8 และ 24.6 ข้อ ตามลำดับ (ตาราง 22)



ภาพ 24 การเจริญเติบโตของเมล่อนในระดับโรงเรือนในแต่ละกรรมวิธี

- หมายเหตุ: 1. ชูดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย)
 2. ใส่ปุ๋ยเคมี
 3. ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา
 4. ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา (1:4)

ตาราง 20 แสดงความสูงของต้นเมล่อนในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	ความสูง (เซนติเมตร)				
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
1. ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย)	20.4±1.30 ^b	61.00±10.08 ^b	85.07±9.77 ^b	119.73±9.24 ^b	129.67±6.69 ^c
2. ใส่ปุ๋ยเคมี	23.33±0.62 ^a	66.87±6.07 ^{ab}	104.4±3.77 ^a	168.87±11.18 ^a	216.13±5.40 ^a
3. ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา	21.87±1.26 ^{ab}	70.07±5.22 ^{ab}	112.6±7.51 ^a	171.87±2.17 ^a	195.67±2.22 ^b
4. ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา	23.6±1.09 ^a	75.33±3.21 ^a	112.7±7.99 ^a	181.93±8.98 ^a	215.00±4.11 ^a
F-test	**	**	**	**	**
%CV	4.93	9.70	7.33	5.35	2.58

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวิธี DMRT

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 21 แสดงค่าดัชนีความเขียวของใบเมล่อนในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	ค่าดัชนีความเขียวของใบ (SPAD unit)				
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย)	30.00±2.69 ^b	35.73±1.95 ^c	34.18±3.45 ^c	31.13±1.28 ^c	30.23±1.04 ^d
2 ใส่ปุ๋ยเคมี	38.70±0.75 ^a	52.10±3.16 ^a	49.60±2.80 ^a	49.81±2.01 ^a	51.43±1.12 ^a
3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา	30.79±1.77 ^b	44.01±2.23 ^b	44.26±1.01 ^b	40.15±1.16 ^b	40.96±0.78 ^c
4 ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา	37.01±1.95 ^a	48.05±1.73 ^{ab}	47.89±1.54 ^{ab}	48.96±2.18 ^a	48.82±1.43 ^b
F-test	**	**	**	**	**
%CV	5.61	5.18	5.46	4.05	2.60

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวิธี DMRT

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 22 แสดงจำนวนข้อต่อต้นของเมล็ดอ่อนในระดับโรงเรือน

กรรมวิธี	จำนวนข้อต่อต้น (ข้อ)				
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5
1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย)	4.40±0.44 ^b	8.60±0.72 ^c	15.06±0.36 ^b	22.40±1.94	24.60±1.66 ^b
2 ใส่ปุ๋ยเคมี	6.93±0.28 ^a	12.80±0.5 ^a	16.53±0.69 ^a	23.86±0.87	26.40±0.6 ^a
3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา	5.13±0.69 ^b	8.70±0.76 ^c	17.00±0.47 ^a	23.53±0.45	24.80±0.56 ^b
4 ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา	6.06±0.43 ^a	10.40±0.44 ^b	16.93±0.72 ^a	23.53±1.43	26.73±1.16 ^a
F-test	**	**	**	ns	*
%CV	8.57	6.13	3.55	5.62	4.25

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT

** = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญยิ่ง 0.01,

* = มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง 23 แสดงน้ำหนักผลผลิต ขนาดผล ความหนาเนื้อ ความแน่นเนื้อและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเมล่อนในระดับ
โรงเรือน

กรรมวิธี	น้ำหนัก ผลผลิต (กิโลกรัม)	ขนาดผล (เซนติเมตร)	ความหนาเนื้อ (เซนติเมตร)	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ ละลายน้ำได้ (Brix: °Bx)
1. ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย)	0.35±0.01 ^d	8.40±0.36 ^b	1.97±0.30 ^b	2.33±0.12 ^b	11.67±1.15
2. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.78±0.02 ^a	11.46±0.19 ^a	3.08±0.49 ^a	2.97±0.15 ^a	10.67±0.58
3. ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา	0.57±0.05 ^c	10.37±0.76 ^a	2.30±0.26 ^{ab}	2.67±0.12 ^{ab}	11.33±0.58
4. ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อรา ไตรโคเดอร์มา	0.69±0.04 ^b	11.33±0.55 ^a	2.43±0.06 ^{ab}	2.77±0.15 ^a	10.00±10
F-test	**	**	**	**	ns
%CV	5.32	4.90	12.97	5.04	7.93

หมายเหตุ: ตัวตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยวิธี DMRT

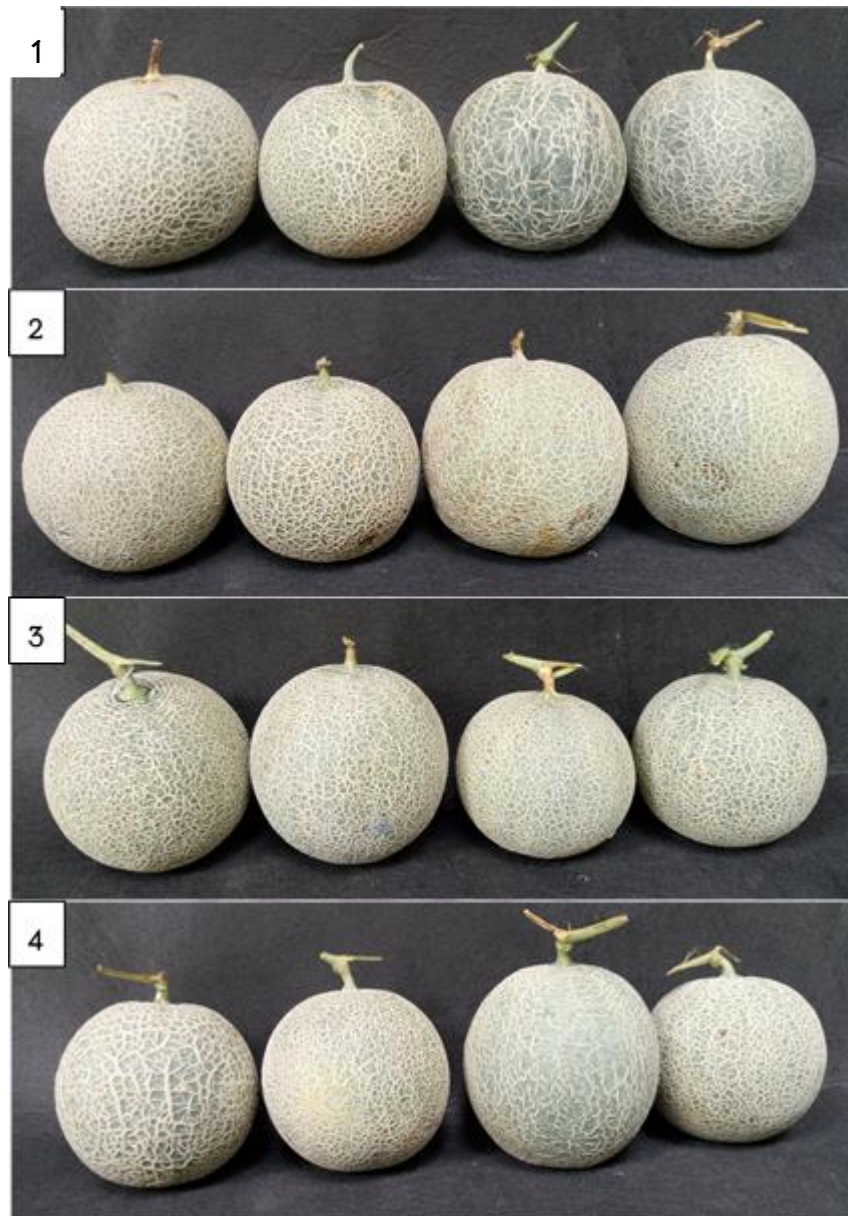
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

± = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

คุณภาพผลผลิต

ด้านคุณภาพผลผลิตของเมล็ดอินในระดับโรงเรือน พบว่า ต้นเมล็ดอินที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีคุณภาพดีที่สุด ได้แก่ น้ำหนักผลผลิต ขนาดผล ความหนาเนื้อ ความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.78 กิโลกรัม, 11.46 เซนติเมตร, 3.08 เซนติเมตร, 2.97 นิวตัน และ 10.67 °Bx ตามลำดับ รองลงมา คือ กรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา มีค่าเท่ากับ 0.69 กิโลกรัม, 11.33 เซนติเมตร, 2.43 เซนติเมตร, 2.77 นิวตัน และ 10 °Bx ตามลำดับ และกรรมวิธีใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มามีค่าเท่ากับ 0.57 กิโลกรัม, 10.37 เซนติเมตร, 2.30 เซนติเมตร, 2.67 นิวตัน และ 11.33 °Bx ตามลำดับ ขณะที่ชุดควบคุมมีคุณภาพผลผลิตน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 0.35 กิโลกรัม, 8.40 เซนติเมตร, 1.97 เซนติเมตร, 2.33 นิวตัน และ 11.67 °Bx ตามลำดับ (ตาราง 23)





ภาพ 25 ผลผลิตของเมล่อนในระดับโรงเรียนในแต่ละกรรมวิธี

- หมายเหตุ: 1. ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) น้ำหนักเฉลี่ย 0.35 กิโลกรัมต่อผล
 2. ใส่ปุ๋ยเคมี น้ำหนักเฉลี่ย 0.78 กิโลกรัมต่อผล
 3. ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา น้ำหนักเฉลี่ย 0.57 กิโลกรัมต่อผล
 4. ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา น้ำหนักเฉลี่ย 0.69 กิโลกรัมต่อผล

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การควบคุมคุณภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา

1. ศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ และปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

คุณภาพของวัตถุดิบ และปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์สรุปได้ว่าคุณภาพวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยมี 5 ชนิด ซึ่งในแต่ละชนิดมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอในแต่ละรุ่นที่นำมาผลิต แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาผลิตเป็นปุ๋ยกลับพบว่าได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2. ศึกษาผลกระทบของกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่ากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในขั้นตอนต่าง ๆ ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ ยกเว้นขั้นตอนการปั้นเม็ดปุ๋ย เนื่องจากการจับตัวของเม็ดปุ๋ยขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามปุ๋ยที่ผลิตจากโรงงานยังมีปัญหาในเรื่องปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ที่ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายสปอร์และกากน้ำตาลต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา

ความเข้มข้นสปอร์ของเชื้อรา *T. harzianum* และเปอร์เซ็นต์ของสารละลายกากน้ำตาลต่ออัตราการมีชีวิตรอด และปริมาณสปอร์ของเชื้อราไตรโคเดอร์มาในปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด พบว่ากากน้ำตาลมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา และปัจจัยความเข้มข้นของเชื้อมีความสำคัญต่อความสำเร็จในการผลิตปุ๋ย โดยการใช้สารละลายสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาความเข้มข้นที่ 1.00×10^9 สปอร์ต่อมิลลิลิตร และกากน้ำตาล ระดับความเข้มข้นที่ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการทำให้เกิดปริมาณสปอร์ และอัตราการมีชีวิตรอดของเชื้อดีที่สุด

ทดสอบการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในกระบวนการผลิตของโรงงาน

กระบวนการผลิตปุ๋ยของโรงงานไม่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา เนื่องจากการลดความชื้นทำให้เชื้อราไตรโคเดอร์มามีอัตราการมีชีวิตรอดต่ำ ส่วนวิธีการที่เหมาะสมนั้นจำเป็นต้องดึงปุ๋ยจากขั้นตอนการปั้น ออกมาผึ่งให้แห้งหรือใช้กระบวนการลดความชื้นแบบอื่นที่ไม่ต้องใช้ความร้อนสูง และบรรจุลงกระสอบหรือบรรจุภัณฑ์อื่นที่เหมาะสม

ทดสอบปุ๋ยอินทรีย์ผสมไตรโคเดอร์มาต่อการยับยั้งเชื้อราก่อโรคเหี่ยวของเมล่อนในระดับห้องปฏิบัติการ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ด้วยอัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมดินก่อนปลูก สามารถยับยั้งเชื้อราก่อโรคเหี่ยวในเมล่อนได้ดีที่สุด

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมไตรโคเดอร์มาต่อการเจริญเติบโตของเมล่อนในระดับโรงเรือน

การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต เทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และให้ผลผลิตดีกว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีได้มาก

อภิปรายผลการวิจัย

การตรวจสอบคุณภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา

1. ศึกษาคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบทุกชนิดที่โรงงานใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์นั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทุกรายการ จากการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งแสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอในวัตถุดิบแต่ละชนิด เช่น ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของแร่ลิโอนาร์ไคต์ ในการเก็บตัวอย่างครั้งแรก พบว่าแร่ลิโอนาร์ไคต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ อยู่ประมาณร้อยละ 3.88 ซึ่งมีค่าต่ำมาก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด อยู่ประมาณร้อยละ 0.04, 1.11 และ 1.03 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างแร่ลิโอนาร์ไคต์ที่เก็บครั้งที่ 4 และครั้งที่ 5 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่

ประมาณร้อยละ 31.15 และ 32.15 ตามลำดับ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.63 และ 0.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.53 และ 0.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.86 และ 2.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ อนุรักษ์ สมจันทร์ และอรรธรณ ฉัตรสีรุ่ง (2557) พบว่า สมบัติทางเคมีของแร่ลิโอนาร์ไคต์จากเหมืองแร่ถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 30.80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.54 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.04 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 1.66 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ต้องพิจารณาถึงความจำเป็นของวัตถุดิบดังกล่าวในการนำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ว่าเหมาะสมกับต้นทุนการผลิตหรือไม่ ส่วนวัตถุดิบที่มีคุณภาพสูงและค่อนข้างมีความสม่ำเสมอ ของปริมาณอินทรีย์วัตถุ ที่อยู่ระหว่าง 37.62 ถึง 46.02 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 1.68 ถึง 2.25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.91 ถึง 2.46 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 1.97 ถึง 3.5 เปอร์เซ็นต์ คือ มูลไก่ รองลงมา คือ มูลสุกร

ศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละรุ่นของการผลิตนั้นคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ และโรงงานยังไม่สามารถผลิตให้ผ่านมาตรฐานได้ในบางรุ่น ในด้านการจัดซื้อแนวทางการแก้ไขเบื้องต้น คือ ต้องตรวจคุณภาพของวัตถุดิบก่อนจัดซื้อ เป็นต้น

2. การศึกษาผลกระทบของกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

ศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนการผลิต เพื่อนำมาประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมื่อผ่านขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) 2550 จากการที่โรงงานใช้วัตถุดิบ คือ แร่ลิโอนาร์ไคต์: ดินภูเขาไฟ: ปุ๋ยหมักผักตบชวา: มูลสุกร: มูลไก่ ในอัตราส่วน 1:1:1:1 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุเมื่อผ่านขั้นตอนการบ่มเม็ดไปแล้วมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 12.35 ถึง 13.98 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.50 ถึง 0.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้ ให้มีปริมาณของอินทรีย์วัตถุ และปริมาณไนโตรเจน ไม่ต่ำกว่า 20 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2551) จากผลการทดลองจึงสันนิษฐานได้ว่า อาจเกิดจาก 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 สัดส่วนของวัตถุดิบ ยังไม่มีความเหมาะสม จึงทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่ามาตรฐาน และกรณีที่ 2 คือ คุณภาพวัตถุดิบที่ใช้นั้น ยังไม่มีความเหมาะสมหรือเพียงพอกับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้มีความสม่ำเสมอของคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ ควรทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร และสมบัติทางเคมีของ

วัตถุประสงค์แต่ละชนิด เพื่อจะได้ทราบถึงคุณภาพของวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมและควรปรับสัดส่วนวัตถุประสงค์ทุกครั้งที่ทำให้การจัดซื้อวัตถุประสงค์รุ่นใหม่ ๆ เข้ามา

ผลของความเข้มข้นของสารละลายสปอร์และกากน้ำตาลต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา

จากผลการทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา แสดงให้เห็นว่ากากน้ำตาลมีความจำเป็นต่ออัตราการมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มาบนเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เมื่อต้องใช้เวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น การใช้สารละลายสปอร์เชื้อราไตรโคเดอร์มาที่มีความเข้มข้น 1×10^9 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ร่วมกับกากน้ำตาลความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จึงเหมาะสมต่อการนำมาผลิตของโรงงาน เนื่องจากทำให้ปุ๋ยมีความชื้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร อย่างไรก็ตามการผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ลงไปในเม็ดปุ๋ยนั้นอาจเกิดปัญหาการลดลงของไนโตรเจนได้เล็กน้อย ดัง Danielson and Davey (1973a) ได้อธิบายว่า เชื้อรา *T. harzianum* สามารถใช้แหล่งไนโตรเจน (nitrogen source) ในการใช้ผลิตเอนไซม์ ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ในรูปของ KNO_3 , urea, casamino acids, L-alanine, L-aspartic acid, L-glutamic acid, L-cysteine, L-leucine, D-aspartic acid, L-histidine, D-alanine แหล่งไนโตรเจนในรูป $(\text{NH}_4)^+ -\text{N}$ และ เชื้อรา *T. harzianum* จะใช้แหล่งไนโตรเจนได้ดีในรูปของ $(\text{NO}_3)^- -\text{N}$ อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ลดลง ดังนั้นการผสมปุ๋ยชนิดดังกล่าวนั้นจำเป็นต้องทำให้มีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับสูงกว่าปกติ เพื่อป้องกันการสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากการเก็บรักษาต่อไป

ศึกษาความเหมาะสมของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในกระบวนการผลิตของโรงงาน

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในขั้นตอนการผลิตของโรงงาน แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ของโรงงาน โดยเฉพาะขั้นตอนการอบลดความชื้นในขั้นตอนสุดท้ายมีผลการทบอย่างมากต่ออัตราการมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มาในเม็ดปุ๋ย ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีการลดลงเกือบ 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่เก็บจากหน้าจานปั่น และเมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา จากทั้ง 3 ขั้นตอน มาเก็บไว้นาน 2 สัปดาห์ พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่เก็บจากหน้าจานปั่นมีอัตราการมีชีวิตรอด 76.67 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปุ๋ยที่ผ่านความร้อนครั้งแรก มีอัตราการมีชีวิตรอดเพียง 26.67 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปุ๋ยที่เก็บหลังผ่านการอบลดความชื้นด้วยความร้อนครั้งที่สองนั้นไม่พบอัตราการมีชีวิตรอดของเชื้อราไตรโคเดอร์มาเลย พบเพียงแต่เชื้อราประเภทย่อยสลายอย่างเช่น เชื้อรา *Rhizopus* sp. หรือ เชื้อรา *Mucor* sp. สามารถ

เจริญได้ดีในปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ การที่เชื้อราไตรโคเดอร์มาใช้อัตราการมีชีวิตรอดลดลงอาจสันนิษฐานได้ว่า สภาพภายในถุงบรรจุหรือบรรจุภัณฑ์ที่วางซ้อนทับกันในระหว่างเก็บรักษาไม่เหมาะต่อการเจริญของเชื้อราไตรโคเดอร์มา Danielson and Davey (1973b) ได้กล่าวว่า การตอบสนองของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง การตอบสนองต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างส่วนใหญ่ที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่า 7.5 ดีกว่า เมื่อเทียบกับกรดที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 4.4 เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อราไตรโคเดอร์มาลดลงเมื่อ substrate มีสภาพกรด และเพิ่มขึ้นเมื่อปมใน CO₂ ที่ substrate มีความเป็นด่าง pH ที่เหมาะสมสำหรับเชื้อราไตรโคเดอร์มาอยู่ระหว่าง 3.7 ถึง 4.7 อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของ CO₂ เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10 การเจริญเติบโตค่อนข้างดีที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.5

ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์ผสมไตรโคเดอร์มาต่อการยับยั้งเชื้อราก่อโรคเหี่ยวในเมล่อน

การทดสอบปุ๋ยอินทรีย์ผสมไตรโคเดอร์มาในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคเหี่ยวในเมล่อน พบว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ที่อัตราการใช้ 200 กิโลกรัมต่อไร่ มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราโรคเหี่ยวในเมล่อนได้ดีที่สุด เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการใช้รองลงมา เท่ากับ 100 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีประสิทธิภาพในการควบคุมที่ 62.5 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราโรคเหี่ยวมากกว่าชุดควบคุม ครองใจ ไสเมรัพย์ และอังคณา เทียนกล้า (2559) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มาชนิดสดในการควบคุมโรคราสนิมขาวของผักบุ้ง ที่เกิดจากเชื้อรา *Albugo ipomoeae-aquaticae* ผลการทดลองพบว่า การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาชนิดสดสามารถควบคุมโรคราสนิมขาวในผักบุ้งได้ โดยพบร้อยละการเกิดโรคราสนิมขาว ร้อยละ 5 ในแปลงที่ปลูกโดยการใส่ปุ๋ยหมักผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาก่อนปลูก ส่วนแปลงที่ไม่ใช้ เชื้อราไตรโคเดอร์มา (ควบคุม) พบร้อยละการเกิดโรคราสนิมขาวมากที่สุดคือ ร้อยละ 16.25 และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) นอกจากนี้การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาทุกวิธีมีผลต่อความสูงและผลผลิตของผักบุ้ง เมื่อครบ 35 วันหลังปลูก พบว่าการพ่นเชื้อราไตรโคเดอร์มาช่วยให้ต้นผักบุ้งมีความสูงที่สุด คือ 31.9 เซนติเมตร โดยผักบุ้งที่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาให้ผลผลิตระหว่าง 2.47 ถึง 2.67 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ส่วนที่เริ่มต้นที่ไม่ใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาให้ผลผลิต 2.37 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาที่อัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ จะสามารถยับยั้งเชื้อราก่อโรคเหี่ยวได้ แต่ในทางตรงกันข้ามก็ต้องพิจารณาถึงความจำเป็นหรือวัตถุประสงค์ของการใช้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาเพื่อ

เพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน อัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวอาจจะใช้ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาอย่างสม่ำเสมอก็สามารถช่วยยับยั้งหรือลดการเกิดเชื้อก่อโรคพืชได้

ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมไตรโคเดอร์มาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตในเมล่อน

จากการทดลองพบว่า ต้นเมล่อนในกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมไตรโคเดอร์มาเพียงอย่างเดียว ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมไตรโคเดอร์มา ในอัตรา 1:4 สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของเมล่อน เทียบเท่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ทำให้ความสูงของต้นเมล่อนในสัปดาห์ที่ 5 มีความสูงเฉลี่ย 215 เซนติเมตร มีจำนวนข้อต่อต้นเฉลี่ย 26.73 ข้อต่อต้น มีค่าดัชนีความเขียวของใบเฉลี่ย 48.82 SPAD unit และมีน้ำหนักผลเฉลี่ย 0.69 กิโลกรัม ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ผสมไตรโคเดอร์มาเพียงอย่างเดียวไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นได้ สอดคล้องกับศิริภาณี วงศ์กระจ่าง (2557) ได้ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตพืชในชุดดินบ้านทอน พบว่า ชุดควบคุมมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด โดยมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 45 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยมูลไก่อ่วมกับปุ๋ยเคมีมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุดคือ 115 เซนติเมตร น้ำหนักสด เท่ากับ 167.81 กรัม และน้ำหนักแห้งเท่ากับ 38.48 กรัม ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี นอกจากจะทำให้ได้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวแล้ว ยังทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2559)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. จากการศึกษาถึงคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ควรมีการสุ่มเก็บตัวอย่างวัตถุดิบแต่ละชนิดมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีทุกครั้ง ก่อนที่มีการนำวัตถุดิบเข้ามาใช้ผลิตในโรงงาน และในอนาคตต้องมีการเปรียบเทียบคุณภาพวัตถุดิบที่ซื้อมาในแต่ละแหล่ง เพื่อให้ได้วัสดุอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ให้ได้ผลดีที่สุด

2. ควรมีการควบคุมการชั่งตวงน้ำหนักของวัตถุดิบใส่กระสอบ ให้มีน้ำหนักตามที่ได้ระบุไว้อย่างเคร่งครัด เพื่อให้ได้คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ มีค่าสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กฎหมายกำหนด และมีความสม่ำเสมอทุกครั้งที่ผลิต

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรพิจารณาวัตถุดิบบางชนิด ที่มีคุณภาพต่ำกว่าเหมาะสมหรือจำเป็นในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์หรือไม่ และมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใดที่จะสามารถหาวัตถุดิบชนิดอื่นที่มีคุณภาพสูงกว่ามาทดแทน

2. ควรเลือกหาวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ และทำการวิเคราะห์ถึงคุณภาพของวัตถุดิบมาใช้ทดแทนวัตถุดิบที่อาจจะขาดแคลนในอนาคต เพื่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ต่อเนื่อง

3. ควรมีการหาวิธีการหมักผักตบชวา หรือวิธีการเติมสารอินทรีย์อื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ให้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ข้อดีของปุ๋ยเคมีคือ มีธาตุอาหารหลักที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในปริมาณมากและทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่ปัญหาที่ตามมาคือ คุณภาพของดินที่ใช้ปลูกพืชจะเสื่อมโทรมได้ง่าย ในขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์แม้จะมีธาตุอาหารที่ชอยอยู่ในปริมาณน้อยแต่มีส่วนสำคัญในการทำให้คุณภาพของดินดีขึ้น จากประโยชน์และความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์ที่มีต่อดิน และพืช ดังกล่าวทำให้มีการใช้และผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นอยู่ที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ในปี 2557 มีปริมาณการนำเข้าปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศมีปริมาณลดลง และมีการส่งออกเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่ส่งออกไปยังกลุ่มประเทศ ASEAN ที่มีแนวโน้มความต้องการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการผลิตพืชนั้นได้เติบโตไปพร้อมกับความต้องการบริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ที่มีมากขึ้น และคาดว่าความต้องการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีประมาณ 580,000 ตันต่อปี (สมาคมการค้าผู้ผลิตปุ๋ยไทย, 2559) แต่อย่างไรก็ตามปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตและขึ้นทะเบียนการค้าที่พบในตลาดส่วนใหญ่นั้นจะอยู่ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ด ซึ่งเป็นรูปแบบที่เกษตรกรนิยมใช้ เนื่องจากมีความสะดวกต่อการใช้ โดยการหว่านด้วยมือหรือเครื่องพ่นปุ๋ย แม้กระทั่งใช้กับเครื่องหว่านปุ๋ยติดท้ายรถแทรกเตอร์

ปัญหาที่สำคัญของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด คือ คุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอหรือบางครั้งพบว่ามีความต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2551) มีรายงานว่าจากการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ 19 โรงงาน พบว่าสมบัติทางกายภาพของปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาดมีปุ๋ยถึงร้อยละ 95.50 ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน และร้อยละ 4.50 ไม่ผ่านมาตรฐานเนื่องจากมีความชื้นสูง ส่วนสมบัติทางเคมีพบว่า มีปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุผ่านเกณฑ์เพียงร้อยละ 18 ที่สำคัญปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่าไม่มีตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจนผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมนั้นมีปุ๋ยที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 77 และเมื่อนำผลวิเคราะห์ของสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าไม่มีตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกรายการ (กัญจนวัชชัย ฤทธิเรืองเดช, 2554) ปัญหาดังกล่าวมักมีสาเหตุมาจากคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เช่น มูลสัตว์ (มูลสุกร ไก่ มูลค้างคาว เป็นต้น) ปุ๋ยหมัก และแร่ต่าง ๆ เช่น หินภูเขาไฟ หินบะซอลต์ แร่ลิโอนาร์ไดต์ (นิยมนำมาใช้เป็นต้น)

เรียกว่า ฮิวม์สลับปี) ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าว จะมีปริมาณธาตุอาหารที่ไม่คงที่และไม่สม่ำเสมอ เมื่อนำมาผสมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดแล้วทำให้ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพแตกต่างกันไปในแต่ละรุ่นที่ทำการผลิต ยิ่งไปกว่านั้นผู้ผลิตส่วนใหญ่ใช้วิธีการลดความชื้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการบ่มเม็ด ด้วยความร้อนหรือเปลวไฟ ซึ่งวิธีใช้ความร้อนอาจมีผลต่อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยได้ด้วยเช่นกัน

จังหวัดพะเยา ให้ความสำคัญในด้านการทำเกษตรแบบปลอดภัย โดยชูประเด็นพะเยาเมืองแห่งความปลอดภัย เป็นยุทธศาสตร์จังหวัด เป้าหมายที่จะเป็นตัวชี้วัดถึงความสำเร็จของนโยบายดังกล่าว คือ ภาคการเกษตร ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตอาหารปลอดภัยตามนโยบายข้างต้น พืชเศรษฐกิจที่ขึ้นชื่อในจังหวัดพะเยามีหลายชนิด ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลำไย ลิ้นจี่ รวมถึง แคนตาลูปและเมล่อน ในอำเภอแม่ใจ ซึ่งปัญหาสำคัญอีกประการหนึ่งของการปลูกแคนตาลูปและเมล่อนในพื้นที่ดังกล่าว คือ การระบาดของโรคที่เกิดจากเชื้อ *Fusarium oxysporum* เป็นเชื้อราสาเหตุโรคเหี่ยว ปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ปลูกแคนตาลูปในพื้นที่ โดยเฉพาะกลุ่มผู้ปลูกที่เน้นการผลิตแบบปลอดภัย

เป็นที่ทราบกันดีว่าเชื้อราไตรโคเดอร์มาเป็นเชื้อปฏิปักษ์ที่สามารถควบคุมการเกิดโรคเหี่ยวได้ เพื่อให้มีรูปแบบที่ง่ายและสะดวกในการใช้ จึงมีแนวคิดของการผสมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่มีเชื้อไตรโคเดอร์มาเป็นส่วนผสมในระดับอุตสาหกรรมรวมถึงการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยดังกล่าวต่อการปลูกเมล่อนในระดับโรงเรือน เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจร่วมกับผู้ประกอบการที่ร่วมให้ทุนสนับสนุนการวิจัยร่วมกับทุนพัฒนานักวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม

ดังนั้นจึงทำการศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ โดยศึกษากระบวนการผลิต และปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตโดยโรงงาน และหาแนวทางการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือก เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาของเกษตรกร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา
2. เพื่อควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตโดยองค์การบริหารส่วนจังหวัด

พะเยา

ขอบเขตของการวิจัย

1. การควบคุมคุณภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา
2. ผลของความเข้มข้นของสารละลายสปอร์และกากน้ำตาลต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา
3. ศึกษาความเหมาะสมของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาในกระบวนการผลิตของโรงงาน
4. การทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์ผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มาต่อการยับยั้งเชื้อราก่อโรคเหี่ยวในเมล่อน
5. ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมไตรโคเดอร์มาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตในเมล่อน

ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย

1. สามารถวางแผนการปรับปรุงปัจจัยหลักที่ส่งผลด้านคุณภาพในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ขององค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา ให้มีคุณภาพมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร
2. ส่งเสริมให้เกษตรกรมีการใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยชีววิธีให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาที่ดิน.(2545). การผลิตและใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำเพื่อการปรับปรุงดิน. กรุงเทพฯ:
กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2546). คู่มือการผลิตและการใช้ประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. กรุงเทพฯ:
กลุ่มอินทรีย์วัตถุและเศษวัสดุเหลือใช้.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2560). คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่ขุดลอกจากแหล่งน้ำ. กรุงเทพฯ:
กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. (2548). ปุ๋ยอินทรีย์ การผลิต การใช้ มาตรฐานและคุณภาพ. กรุงเทพฯ:
สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- กรมวิชาการเกษตร. (2551). คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. (2559). การลดต้นทุนการผลิตพืชสวน (เพื่ออุตสาหกรรม) เพื่อเพิ่มขีด
ความสามารถให้แก่เกษตรกรไทย. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.
- กัญจนวลัย ฤทธิเรืองเดช. (2554). การประเมินลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์
ที่จำหน่ายในเขตภาคกลางและผลของกระบวนการผลิตแบบปั้นเม็ดต่อคุณสมบัติ
ของปุ๋ยอินทรีย์. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เกษม สร้อยทอง. (2532). การควบคุมเชื้อโรคพืชโดยชีววิธี. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยี
การผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง.
- ครองใจ ไสร์รักษ์ และอังคณา เทียนกล้า. (2559). ประสิทธิภาพของเชื้อราไตรโคเดอร์มาชนิดสดใน
การควบคุมโรคราสนิมขาวของผักบุ้ง ที่เกิดจากเชื้อรา *Albugo ipomoeae-aquaticae*.
วารสารเกษตรพระวรุณ, 13, 26–33.
- ดิทเช่นเอาร์ทเลท. (ม.ป.ป.). เครื่องบด แบบมือหมุน. สืบค้นเมื่อ 6 มีนาคม 2561, จาก <http://kitchenoutlet.tarad.com>
- จิระเดช แจ่มสว่าง และวรรณวิไล อินทนู. (2542). การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาควบคุมโรคพืช.
กรุงเทพฯ: ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชญา แมชชินเนอร์. (ม.ป.ป.). เครื่องจักรทางการเกษตร. สืบค้นเมื่อ 6 มีนาคม 2561, จาก
<http://cym1.igetweb.com>

- ชัยมงคล ใจห้าว. (2558). **การปรับปรุงกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตราคว้านพะเยาให้ได้มาตรฐานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.
- ชัยสิทธิ์ ทองจูน, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, อัญธิชา พรหมเมืองคุก และ ชงชัย มาลา. (2551). **การพัฒนาระบบการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์เชิงการค้า**. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.
- เชาว์วัช หนูทอง. (2550). **เคล็ดลับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ปั้นเม็ดคุณภาพสูง**. **วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ**, 9, 64-68.
- ณรรต สมจันทร์ และอรรวรรณ. ฉัตรสีรุ่ง. (2557). **การปรับปรุงคุณภาพฟอสโฟไรต์ได้สำหรับเป็นวัสดุปรับปรุงดิน**. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.**, 37, 33-43.
- ชงชัย มาลา. (2546). **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นุชนารถ จงเลขา. (2535). **ราวิทยา**. เชียงใหม่: ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัย.
- พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. (3 เมษายน 2551). **ราชกิจจานุเบกษา** 122(109 ง). หน้า 11.
- ไพโรจน์ จ่างพานิชย์. 2525. **หลักวิชาโรคพืช**. กรุงเทพฯ: สารมวลชน.
- มงคล ต๊ะอุ้น, เชาว์วัช หนูทอง, สมบูรณ์ ประภาพรรณพงศ์ และณัฐภูมิ สุดแก้ว. (2551). **คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด-ปั้นเม็ด**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกษตรธรรมชาติ.
- ยงยุทธ โอสธสกา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ชงประยูร. (2556). **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไลออนวัน. (ม.ป.ป.). **ท่ออบเม็ดปุ๋ย**. สืบค้นเมื่อ 6 มีนาคม 2561, จาก <http://www.lion-one.com>
- วิเชียร ตันตืออิมงคล, สุดใจ เกตุเดชา, โอบาส เกตุเดชา และสมควร บุญแสวง. (2547). **การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลค้างคาว ตำบลโคกสะอาด อำเภอศรีเทพ จังหวัดเพชรบูรณ์**. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- วิวัฒน์ ไตริกรกุล, พลยุทธ ศุขสมิติ และจินดารัตน์ โตกมลธรรม. (2552). **การเตรียมสารประกอบเกลืออิวเมตจากดินปนถ่านหินจากเหมืองลิกไนต์แม่เกาะ จังหวัดลำปาง**. กาญจนบุรี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี.
- วีรศักดิ์ คักดีศิริรัตน์. (2544). **การควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี**. ใน **โรคพืช มข.ปริทรรศน์** (หน้า 41-63). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- ศศิธร วุฒิวณิชย์. (2545). **โรคของผักและการควบคุมโรค**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริภาณี วงศ์กระจ่าง. (2557). ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตพืชในชุดดินบ้านทอน. **KHON KAEN AGR. J.**, 42(2), 359–362.
- ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดนครราชสีมา (พืชสวน). (2553). **ประโยชน์ของมูลสัตว์**. นครราชสีมา: ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดนครราชสีมา (พืชสวน).
- สมาคมการค้าผู้ผลิตปุ๋ยไทย, (4 พฤษภาคม 2559). สถานการณ์ปุ๋ยอินทรีย์. **มติชน**. สืบค้นเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2561, จาก https://www.technologychaoban.com/news_detail.php?tnid=3051
- สหจักรกล. (ม.ป.ป.). **เครื่องจักรกลการเกษตร**. สืบค้นเมื่อ 6 มีนาคม 2561, จาก <https://smpkgroup.wordpress.com>
- สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- หทัยชนก นันทพานิช, ภาสกร นันทพานิช, ครรชิต พรหมศร, อ้อต ศรีมะณี และจินตนา คุณนุช. (2551). **การศึกษาคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากโครงการหนึ่งอำเภอหนึ่งโรงปุ๋ยเพื่อการรับรองคุณภาพ**. รายงานการวิจัยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). ปีงบประมาณ 2551. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ, อุบลราชธานี.
- อานัฐ ตันโซ. (2549). **เกษตรธรรมชาติประยุกต์ แนวคิด หลักการ เทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย**. ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- Ahmed, A. S., Sánchez, C. P. and Candela, M. E. (2000). Evaluation of induction of systemic resistance in pepper plants (*Capsicum annuum*) to *Phytophthora capsici* using *Trichoderma harzianum* and its relation with capsidiol accumulation. **European Journal of Plant Pathology**, 106(9), 817–824.
- Almeida, F. B. D. R., Cerqueira, F. M., Silva, R. D. N., Ulhoa, C. J. and Lima, A. L. (2007). Mycoparasitism studies of *Trichoderma harzianum* strains against *Rhizoctonia solani*: Evaluation of coiling and hydrolytic enzyme production. **Biotechnology Letters**, 29(8), 1189–1193.

- Appel, D. J. and Gordon, T. R. (1994). Local and regional variation in populations of *Fusarium oxysporum* from agricultural field soils. **Phytopathology**, 84(8), 786–791.
- Beagle–Ristaino, J. E. and Papavizas, G. C. (1985). Survival and proliferation of propagules of *Trichoderma* sp. and *Gliocladium virens* in soil and in plant rhizospheres. **Phytopathology**, 75(6), 729–732.
- Bertin, M. J., Zimba, P. V., He, H. and Moeller, P. D. (2016). Structure revision of trichotoxin, a chlorinated polyketide isolated from a *Trichodesmium thiebautii* bloom. **Tetrahedron Letters**, 57(52), 5864–5867.
- Bilai, V. I. (1963). Antibiotic–producing microscopic fungi. In W. Schwartz (Ed.), **Journal of Basic Microbiology** (Vol. 5, p. 254). New York: Elsevier Publishing Company.
- Bissett, J., Gams, W., Jaklitsch, W. and Samuels, G. J. (2015). Accepted *Trichoderma* names in the year 2015. **IMA fungus**, 6(2), 263–295.
- Brady, N. C. and Weil, R. R. (2002). The nature and properties of soils, 13th. Pearson education (Singapore) Pte. Ltd. **Indian Branch**, 482, 621–624.
- Burdick, E. M. (1965). Commercial humates for agriculture and the fertilizer industry. **The Society for Economic Botany**, 19(2), 152–156.
- Danielson, R. M. and Davey, C. B. (1973a). Carbon and nitrogen nutrition of *Trichoderma*. **Soil Biol. Biochem**, 5(5), 505–515.
- Danielson, R. M. and Davey, C. B. (1973b). Non nutritional factors affecting the growth of *Trichoderma* in culture. **Soil Biology and Biochemistry**, 5(5), 495–504.
- Dianese, J. C. and Dristig, M. C. G. (1993). Screening Eucalyptus selections for resistance to bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. In **ACIAR PROCEEDINGS** (pp. 206–206). Australia: australian centre for international agricultural research.
- Filion, G., Laflamme, C., Turgeon, N., Ho, J. and Duchaine, C. (2009). Permeabilization and hybridization protocols for rapid detection of *Bacillus* spores using fluorescence in situ hybridization. **J. Microbiol. Meth**, 77, 29–36.
- Freeman, P. G. (1969). The use of lignite products as plant growth stimulants technology and use of lignite. **Journal of the society for the bibliography of natural**, 5(3), 150–164.

- Freeman, S., Zveibil, A., Vintal, H. and Maymon, M. (2002). Isolation of nonpathogenic mutants of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* for biological control of *Fusarium* wilt in cucurbits. **Phytopathology**, 92(2), 164–168.
- Ghisalberti, E. L. and Sivasithamparam, K. (1991). Antifungal antibiotics produced by *Trichoderma* spp. **Soil Biology and Biochemistry**, 23(11), 1011–1020.
- Gordon, T. R., Okamoto, D. and Jacobson, D. J. (1989). Colonization of muskmelon and nonsusceptible crops by *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* and other species of *Fusarium*. **Phytopathology**, 79(10), 1095–1100.
- Hofmann, A. W. (2003). Sampling mantle heterogeneity through oceanic basalts: isotopes and trace elements. **Treatise on geochemistry**, 2, 568.
- Huo, Z., Zhang, N., Xu, Z., Li, S., Zhang, Q., Qiu, M., et al. (2012). Optimization of survival and spore formation of *Paenibacillus polymyxa* SQR-21 during bioorganic fertilizer storage. **Bioresource Technology**, 108, 190–195.
- Jaklitsch, W. M. (2009). European species of Hypocreata Part I. The green-spored species. **Studies in mycology**, 63, 1–91.
- Jaklitsch, W. M. and Voglmayr, H. (2015). Biodiversity of Trichoderma (Hypocreaceae) in Southern Europe and Macaronesia. **Studies in mycology**, 80, 1–87.
- Jayamanne, V.S. and Adams, M.R. (2009). Modelling the effects of pH, storage temperature and redox potential (E_h) on the survival of bifidobacteria in fermented milk. **Int. J. Food Sci. Tech**, 44, 1131–1138.
- Kawasaki, V. H. and Machado, C. (2013). Establishment of a semi-selective method for the detection of *Sclerotinia sclerotiorum* in dry bean and soybean seeds 1. **Journal of Seed Science**, 35(4), 435–442.
- Montoya, Q. V., Meirelles, L. A., Chaverri, P. and Rodrigues, A. (2016). Unraveling *Trichoderma* species in the attine ant environment: description of three new taxa. **Antonie van Leeuwenhoek**, 109(5), 633–651.
- Mousa, W. K. and Raizada, M. N. (2013). The diversity of anti-microbial secondary metabolites produced by fungal endophytes: an interdisciplinary perspective. **Frontiers in microbiology**, 4, 65.

- Nanagarden. (ม.ป.ป.). **เครื่องจักรกลการเกษตร**. สืบค้นเมื่อ 6 มีนาคม 2561, จาก <https://www.nanagarden.com/product/277433>
- Ortiz-García, C. F., Bautista-Muñoz, C., Ramírez-Pool, J. A., Ávalos-Contreras, N., Cappello-García, S. and la Cruz-Pérez, D. (2015). Diversidad de *Trichoderma* en el agroecosistema cacao del estado de Tabasco, México. **Revista mexicana de biodiversidad**, 86(4), 947–961.
- Panizel, I., Yarden, O., Ilan, M. and Carmeli, S. (2013). Eight new peptaibols from sponge-associated *Trichoderma atroviride*. **Marine drugs**, 11(12), 4937–4960.
- Pisi, A., Cesari, A., Zakrisson, E., Filippini, G., Roberti, R. and Mantovani, W. (2006). SEM Investigation about Hyphal Relationships between Some Antagonistic Fungi against *Fusarium* spp. Foot Rot Pathogen of Wheat. **Phytopathologia Mediterranea**, 40(1), 37–44.
- Pruksakorn, P., Arai, M., Kotoku, N., Vilchère, C., Baughn, A. D., Moodley, P., et al. (2010). Trichoderins, novel aminolipopeptides from a marine sponge-derived *Trichoderma* sp., are active against dormant mycobacteria. **Bioorganic and medicinal chemistry letters**, 20(12), 3658–3663.
- Qiu, M., Zhang, R., Xue, C., Zhang, S., Li, S., Zhang, N., et al. (2012). Application of bio-organic fertilizer can control *Fusarium* wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil. **Biology and Fertility of Soils**, 48(7), 807–816.
- Rifai, M. (1969). A revision of the genus *Trichoderma*. **Mycological Papers**, 116(1), 1–56.
- Senn, T. L. and Kingman, A. R. (1973). **A review of humus and humic acids**. Horticulture Department Research Series No. 145. South Carolina Agricultural Experiment Station: Clemson University.
- Shuang, Z., Dongyang, L., Ning, L., Fadi, C., Weimin, F. and Qirong, S. (2014). Bio-organic fertilizer application significantly reduces the *Fusarium oxysporum* population and alters the composition of fungi communities of watermelon *Fusarium* wilt rhizosphere soil. **Biology and Fertility of Soils**, 50(5), 765–774.
- Wu, H. S., Yang, X. N., Fan, J. Q., Miao, W. G., Ling, N., Xu, Y. C., et al. (2009). Suppression of *Fusarium* wilt of watermelon by a bio-organic fertilizer containing combinations of antagonistic microorganisms. **BioControl**, 54(2), 287–300.

Zhao, Q., Dong, C., Yang, X., Mei, X., Ran, W., Shen, Q., et al. (2011). Biocontrol of *Fusarium* wilt disease for *Cucumis melo* melon using bio-organic fertilizer. **Applied Soil Ecology**, 47(1), 67–75.

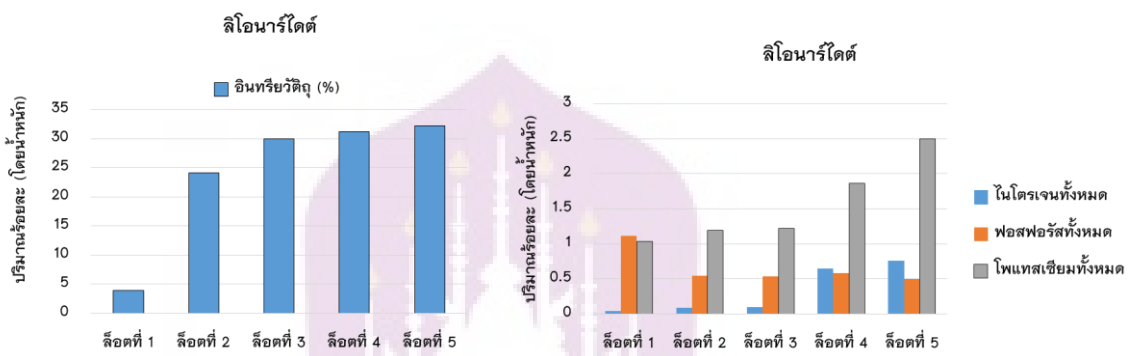




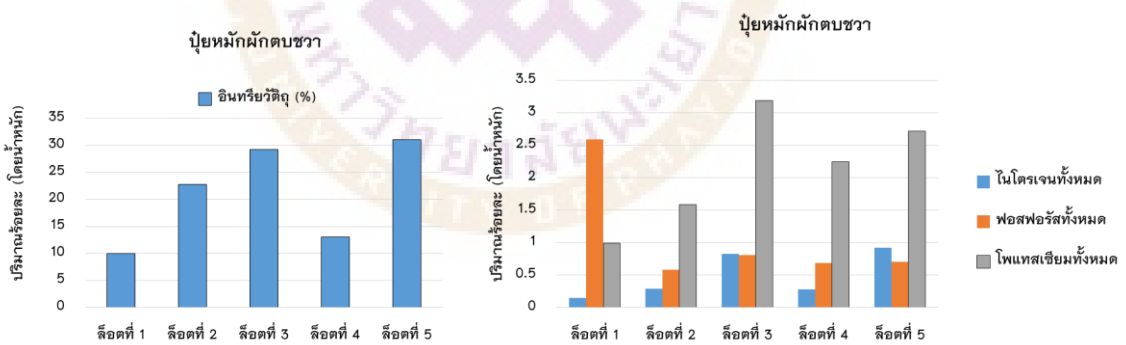
ภาคผนวก ก ภาพผลการทดลอง

การควบคุมคุณภาพการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา

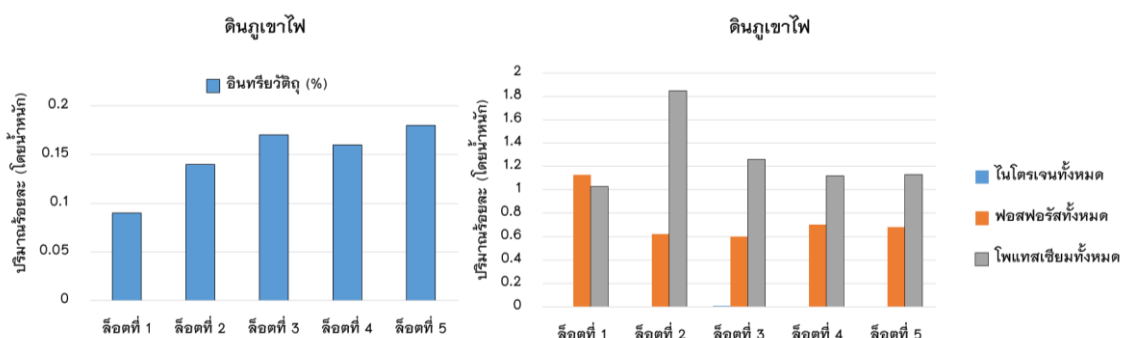
1. ศึกษาคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์



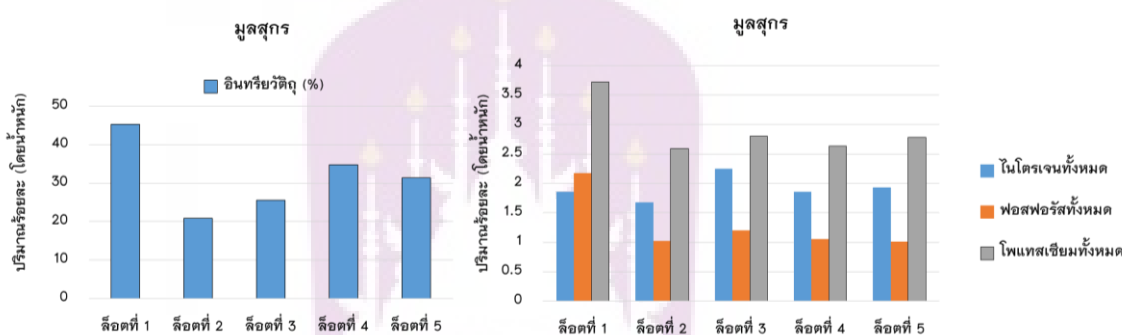
ภาพ 26 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแร่ลิโอนาร์ได์ตจากการเข้าสู่แต่ละล็อต



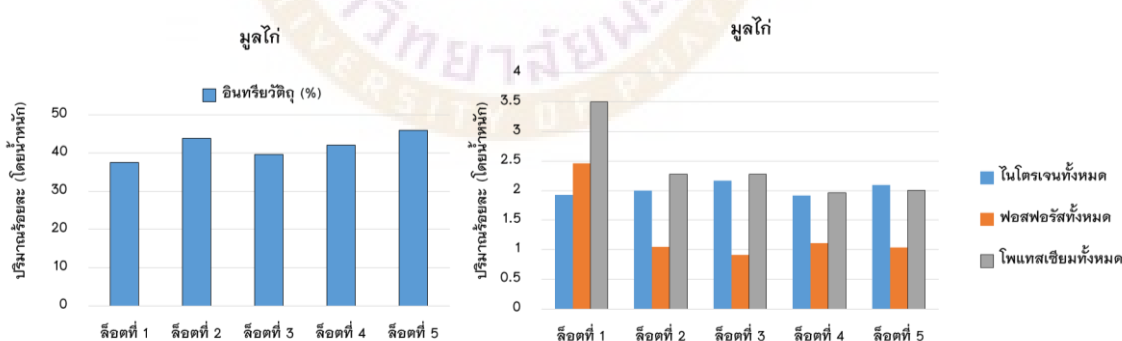
ภาพ 27 เปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยหมักผักตบชวาจากการเข้าสู่แต่ละล็อต



ภาพ 28 เปรียบเทียบคุณสมบัติของดินภูเขาไฟจากการเข้าสู่แต่ละลึอด

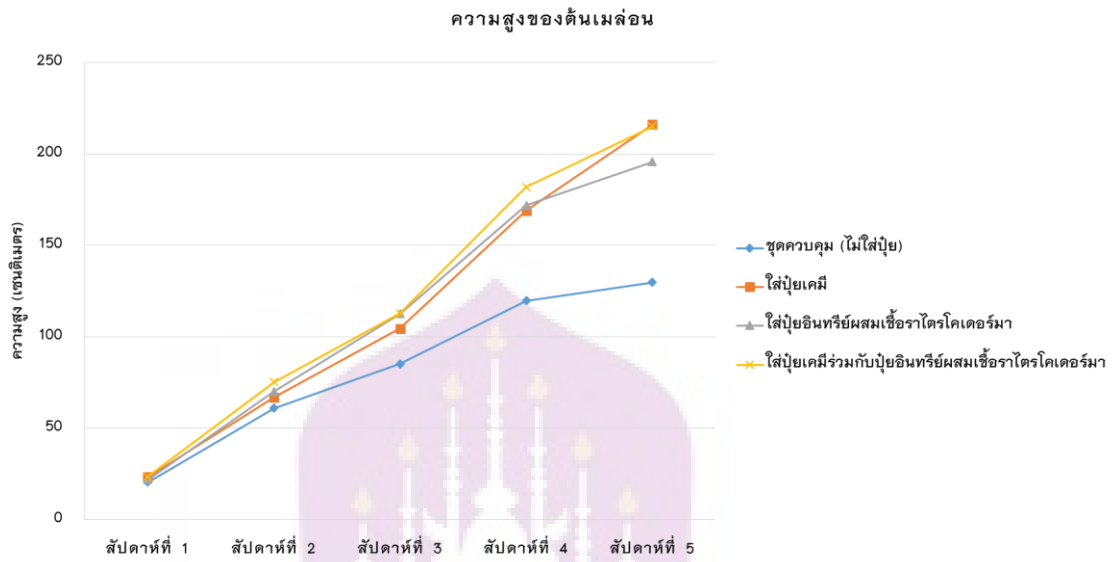


ภาพ 29 เปรียบเทียบคุณสมบัติของมูลสุกรจากการเข้าสู่แต่ละลึอด

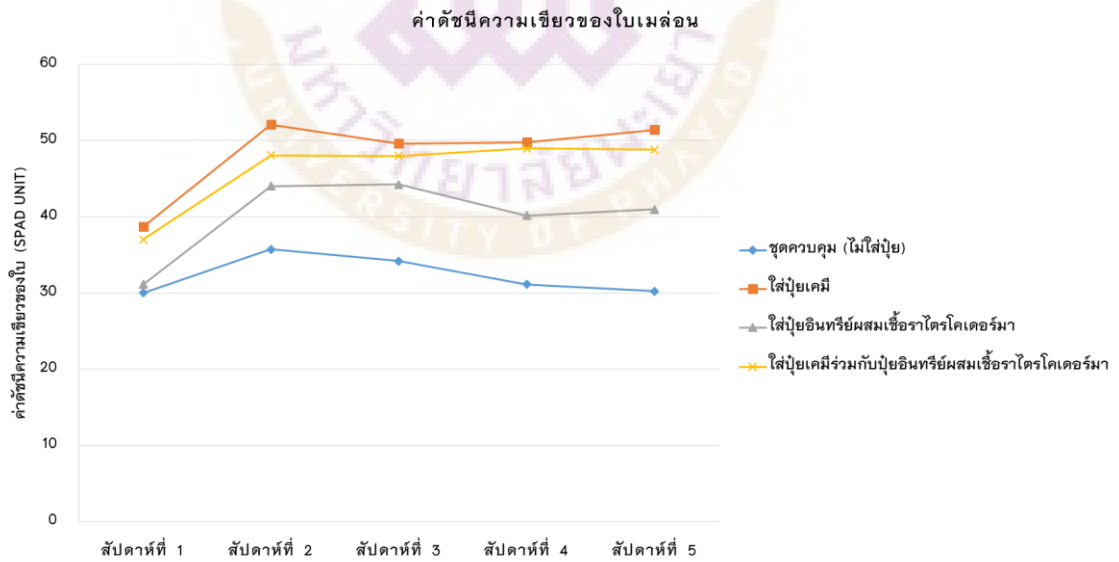


ภาพ 30 เปรียบเทียบคุณสมบัติของมูลไก่จากการเข้าสู่แต่ละลึอด

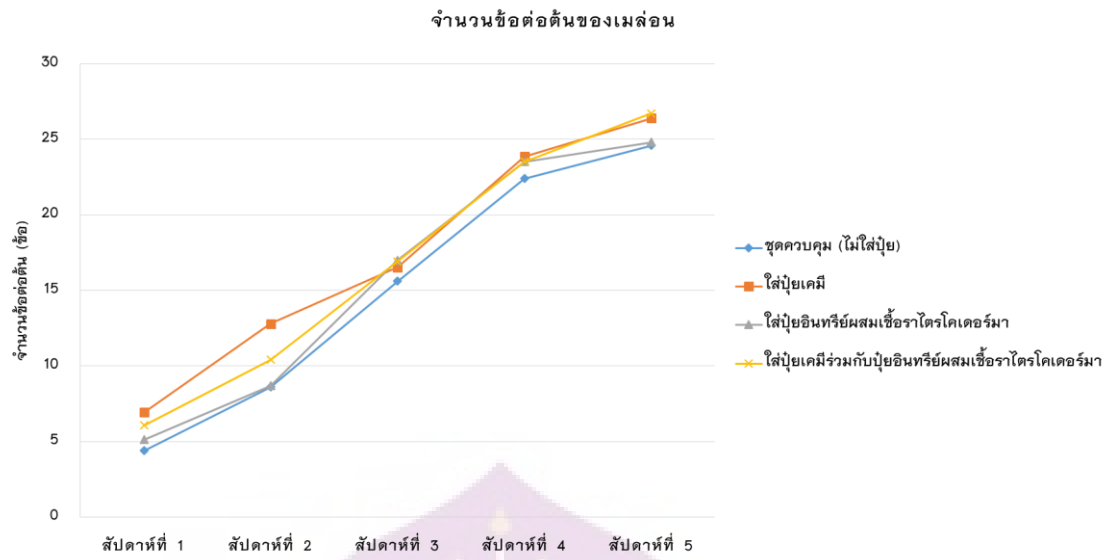
ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมไตรโคเดอร์มาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตเมล่อน



ภาพ 31 เปรียบเทียบความสูงของต้นเมล่อนที่ปลูกในโรงเรือน



ภาพ 32 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเขียวของใบเมล่อนที่ปลูกในโรงเรือน



ภาพ 33 เปรียบเทียบจำนวนข้อต่อต้นของเมล่อนที่ปลูกในโรงเรือน



ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

1. วิธีตรวจสอบพลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ

นำตัวอย่างปุ๋ยประมาณ 1 กิโลกรัม มาทำการตรวจพินิจ พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น บันทึกผล โดยรายงาน “พบ” หรือ “ไม่พบ”

2. วิธีวิเคราะห์ความชื้น

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

วิธีคำนวณ

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

3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณหิน และกรวดในปุ๋ยอินทรีย์

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

วิธีคำนวณ

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

4. วิธีวิเคราะห์ขนาดของปุ๋ยอินทรีย์

ชั่งน้ำหนักปุ๋ย 100.xx กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 500 มิลลิลิตร เทปุ๋ยลงในตะแกรงมาตรฐาน ขนาดรูเปิด 12.5 มิลลิเมตร ซึ่งรองรับด้วยจานรองรับตัวอย่างอยู่ด้านล่าง ปิดฝาเขย่าจน

ตัวอย่างปุ๋ยที่ค้างบนตะแกรงไม่ผ่านไปยังจานรองรับ ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ค้างบนตะแกรง บันทึกผล

วิธีคำนวณ

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

5. วิธีวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน

5.1 วิธีการเตรียม Reagent

สารละลาย Potassium dichromate (Oxidizing agent) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ซึ่ง Potassium dichromate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 49.0247 กรัม ใส่ในปิกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร คนให้ละลายหมด ถ่าย และล้างใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

สารละลาย Ferrous sulfate (Reducing agent) ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ซึ่ง Ferrous sulfate จำนวน 139.0085 กรัม (หรือใช้ Ferrous Ammonium Sulfate) จำนวน 196.07 กรัม ใส่ในปิกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ถ่ายและล้างใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำ 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

สารละลาย O-phenanthroline ferrous sulfate indicator ซึ่ง O-phenanthroline จำนวน 0.74 กรัม และ Ferrous sulfate จำนวน 0.35 กรัม ใส่ปิกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนจนละลายหมด

สารละลาย Silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ซึ่ง Silver sulfate จำนวน 15 กรัม ใส่ในปิกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร เติมน้ำ 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน

5.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่างปุ๋ยจำนวน 0.1xxx กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดเตต สารละลาย Potassium dichromate ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมน้ำลงในตัวอย่างปุ๋ย เติมน้ำ 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid หรือสารละลาย Silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างปุ๋ยอย่างช้า ๆ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน 16 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำสารละลาย O-phenanthroline ferrous sulphate ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร

5.3 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรต ด้วยสารละลาย Ferrous sulfate จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง แสดงว่าถึงจุดยุติ บันทึกผล

หมายเหตุ ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างปุ๋ย เตรียม และวิเคราะห์ เช่นเดียวกับตัวอย่างปุ๋ย

5.4 วิธีคำนวณ

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

B = ปริมาณของ Potassium dichromate ที่เติมลงไป ในตัวอย่าง และ Blank (มิลลิลิตร)

C = ปริมาตรของ Ferrous sulfate ที่ไทเทรตพอดีกับ Potassium dichromate ใน Blank

D = ปริมาตรของ Ferrous sulfate ที่ไทเทรตพอดีกับ Potassium dichromate ในตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายมาตรฐาน

เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ = เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน \times 1.7241

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน = เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน/ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

6. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรดต่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ 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 เนื่องจากตัวอย่างคุดน้ำมาก ให้ใช้อัตราส่วน ปุ๋ย: น้ำ=1:10 และระบุไว้ในรายงานผลวิเคราะห์

7. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 5 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1 ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดสภาพนำไฟฟ้าด้วย Conductivity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส บันทึกข้อมูล

8. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ชั่งตัวอย่างปฏิกิริยา จำนวน 0.3xxx กรัม ใส่ในหลอดย่อยขนาด 800 มิลลิลิตร เติม Salicylic Acid จำนวน 2 กรัม เติม 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 40 มิลลิลิตร และ Sodium Thiosulfate Pentahydrate จำนวน 5 กรัม นำไปตั้งบนเตาย่อยตัวอย่าง ทำการย่อยตัวอย่าง โดยใช้ไฟปานกลาง จนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำตาล ปิดไฟ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติม Mixed catalyst จำนวน 10 กรัม แล้วทำการย่อยอีกครั้งจนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดไฟ ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย Sodium hydroxide ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และ Zinc granular จำนวน 5 กรัม นำหลอดย่อยต่อกับเครื่องกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และสารละลาย Mixed indicator ปริมาณ 4-5 หยด ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลายในขวดปรับปริมาตร ปริมาณ 350 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรตกับสารละลาย Hydrochloric acid มาตรฐาน 0.2 นอร์มัล บันทึกผล ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

วิธีคำนวณ

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{N \text{ of Hydrochloric acid} \times [\text{มิลลิลิตร (Hydrochloric acid)} - \text{มิลลิลิตร (Blank)}] \times 1.40067}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

9. วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

9.1 การเตรียม Reagent

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

9.2 Molybdovanadate reagent

ชั่ง Ammonium molybdate tetrahydrate จำนวน 40 กรัม ใส่ในปิកเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันทิ้งไว้ให้เย็น ชั่ง Ammonium metavanadate ปริมาณ 2 กรัม ใส่ปิกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม 69-70 เปอร์เซ็นต์ Perchloric acid ปริมาณ 450 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็น ค่อย ๆ รินผสมสารละลาย Ammonium molybdate tetrahydrate ลงในสารละลาย Ammonium metavanadate ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เขย่าให้เข้ากัน และถ่ายเก็บไว้ในขวดสีชา

9.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 ppm ซึ่ง Potassium dihydrogen Phosphate ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.0984 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ละลาย และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

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

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

9.4 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

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

9.5 วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง ปริมาณ 5 มิลลิลิตร หรือตามความเหมาะสม ปริมาณความเข้มข้นของตัวอย่าง ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เต็ม Molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:10 ของปริมาตรขวดปรับปริมาตร) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายมาตรฐาน 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm เต็ม Molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐานไปวัดความเข้มของสี ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) หรือค่าร้อยละของแสงที่ส่องผ่านสารตัวอย่างที่วัด (Transmittance) หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่างกับกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และค่าการ

ดูดกลืนแสงหรือค่าร้อยละของสัณฐานที่แสงส่องผ่านสารตัวอย่างที่วัด ของสารละลายมาตรฐาน ฟอสฟอรัส (กราฟมาตรฐาน)

9.6 วิธีคำนวณ

ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)

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

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)

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

10. วิธีวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

10.1 การเตรียม Reagent

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

10.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียม 1,000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับ ปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

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

10.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 1.0000 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดผสม Nitric acid: Perchloric acid จำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน Hot plate หรือ Digestion block ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือสารละลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จากนั้นยกออกจาก Hot plate หรือ Digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดปรับ

ปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็นสารละลายมีตะกอนขุ่น นำไปผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

10.4 วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 0-15 ppm ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Suppressor 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm เติมสารละลาย Suppressor 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายไปวัดค่า Intensive of emission ด้วย Flame photometer หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่างกับกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโพแทสเซียม กับค่า Intensive of emission ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (กราฟมาตรฐาน)

10.5 วิธีคำนวณ

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

11. การคำนวณหาความเข้มข้นสปอร์ของเชื้อรา โดย Hemacytometer

นำเชื้อรามาเลี้ยงเพื่อเพิ่มปริมาณในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร PDA ในจานเลี้ยงเชื้อซึ่งบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ประมาณ 7 วันจากนั้นนำเชื้อรา มาล้างด้วย tween 80 ความเข้มข้น 0.1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำกลั่นที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้วใช้ไมโครปิเปตดูดผิวหน้าให้สปอร์แขวนลอยในน้ำนำไปใส่ในหลอดทดลอง กรองสปอร์ของเชื้อราด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร เพื่อให้สปอร์ของเชื้อราแขวนลอยในน้ำนำสารแขวนลอยโคโคนีเดียที่ได้ไปตรวจนับปรับระดับความเข้มข้นให้ได้ 1×10^5 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ด้วย tween 80 ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้วเพื่อนำไปทดสอบต่อไป

การคำนวณหาความเข้มข้นของเชื้อรา โดยนำสปอร์ของเชื้อราที่เตรียม มาคำนวณหาความเข้มข้นโดยดูดสารแขวนลอยของโคโคนีเดียจาก Stock ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่บรรจุ tween 80 ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาตร 900 ไมโครลิตร (หลอดที่ 1 เจือจาง 10 เท่า) จากนั้นดูดสารแขวนลอยสปอร์จากหลอดที่ 1 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่บรรจุ tween 80 ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในปริมาตร 900 ไมโครลิตร (หลอดที่ 2 เจือจาง 100 เท่า) จากนั้นนำสารแขวนลอยสปอร์ของเชื้อราที่เจือจาง 100 เท่าไปนับจำนวนสปอร์โดยใช้เครื่องมือนับจำนวนสปอร์ Hemacytometer โดยจะทำการนับภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย

100X ทั้ง 2 ด้าน โดยบริเวณที่ใช้สำหรับนับให้นับตรงกลางในแต่ละด้าน นับจำนวน 5 ช่อง แต่ละช่องมี 16 ช่องเล็ก ส่วนการนับโคโรนาของเชื้อรา จะนับในแบบแนวทแยงหรือในช่องที่ 1 5 13 21 และ 25 แล้วนำค่าที่ได้จากนับทั้ง 2 ด้าน มาหาค่าเฉลี่ย และนำมาคำนวณหาความเข้มข้นของเชื้อราจากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของเชื้อรา} = \text{ค่าเฉลี่ยของจำนวนสปอร์} \times \text{ค่าคงที่ } 2.5 \times 10^5 \times \text{ระดับการเจือจางที่ใช้ นับ}$$

$$\text{ตัวอย่าง นับจำนวนสปอร์ได้} = (33+39+29+25+36+40+39+31+28+25)/10 = 32.5$$

$$\text{โดยนับที่ระดับความเข้มข้น } 10 \text{ ความเข้มข้นของเชื้อรา} = 32.5 \times 2.5 \times 10^5 \times 10^2$$

$$= 81.25 \times 10^7$$

$$= 8.13 \times 10^8 \text{ สปอร์ต่อมิลลิลิตร}$$



ประวัติผู้วิจัย



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	พลฤทธิ์ ทองคลี
วัน เดือน ปี เกิด	23 พฤศจิกายน 2535
ที่อยู่ปัจจุบัน	44/3 หมู่ 1 ตำบลเขาบางแกรก อำเภอหนองฉาง จังหวัดอุทัยธานี
ที่ทำงานปัจจุบัน	-
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	-
ประสบการณ์การทำงาน	-
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2557	วท.บ (เกษตรศาสตร์), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ผลงานตีพิมพ์	
ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์	
พลฤทธิ์ ทองคลี (ผู้บรรยาย) (1-2 สิงหาคม 2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา. ใน การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 5 (หน้า 126-135). กรุงเทพฯ: โรงแรมเซ็นทรา บาย เซ็นทารา แจ้งวัฒนะ.	
ผลงานตีพิมพ์อื่น ๆ	-