ห้องสมุด 1 ก.พ.
11 ก.พ. 2559

รายงานการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขน
The Potentiality Studies of Making Compost from Water Hyacinth and Paragrass.

นิลาวรรณ ธรฤทธิ์
สุชาดา วิใจ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
2557

ใบรับรองการวิจัยสิ่งแวดล้อม

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์)

เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขน
The Potentiality Studies of Making Compost from Water Hyacinth and Paragrass.

ผู้วิจัย นางสาวนิลาวรรณ ธรฤทธิ์ รหัส 534291013
นางสาวสุชาดา วิใจ รหัส 534291037

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(นายกมลนาวิน อินทนูจิตร)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ)

.....กรรมการ
(นางสาวนัดดา โปดำ)

.....กรรมการ
(นางสาวหิรัญวดี สุวิบูรณ์)

.....กรรมการ
(นายกมลนาวิน อินทนูจิตร)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา รับรองแล้ว

.....

(ดร.พิพัฒน์ ลิมปนะพิทยาธร)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เลขทะเบียน 1135980
เลขเรียกหนังสือ ว 631.4 น 357 ก

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาการวิจัยสิ่งแวดล้อม (4064902) รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์ได้ด้วยดีผู้วิจัยต้องขอขอบคุณอาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร ที่ได้ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องระหว่างการทำวิจัยฉบับนี้จนประสบความสำเร็จไปด้วยดี และขอขอบคุณอาจารย์นัดดา โปดำประธานโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญกมล ขุนพิทักษ์ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ และอาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์ ที่ได้ถ่ายทอดความรู้เพิ่มเติม ให้คำแนะนำและข้อคิดต่างๆ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ทำให้วิจัยฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณนายสอแหละ บางูสันเจ้าหน้าที่ประจำโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาทุกท่านที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำวิจัย พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือและให้ข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมรุ่นที่ 12 ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เช่น การติดต่อขอรับเชื้อจุลินทรีย์พด.1 กับทางกรมพัฒนาที่ดิน การเก็บรวบรวมผักตบชวาและหญ้าขน และการเตรียมวัสดุในการหมัก ตลอดจนการให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจในการทำวิจัยฉบับนี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติใกล้ชิดของผู้วิจัย ที่ได้ให้การสนับสนุน ทั้งในด้านทุนทรัพย์ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจในการทำวิจัยฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

นิลาวรรณ ธรฤทธิ์
สุชาดา วิใจ
กุมภาพันธ์2558

ชื่อการวิจัย การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขน
ชื่อผู้วิจัย นางสาวนิลาวรรณ ธรฤทธิ์
นางสาวสุชาดา วิใจ
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
โปรแกรมวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2557
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร

บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขนกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 40 วัน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยกัน3 สูตรได้แก่ สูตรที่ (1) ผักตบชวา สูตรที่ (2) หญ้าขน และสูตรที่ (3) ผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน โดยจะทำการตรวจวิเคราะห์อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) และปริมาณธาตุอาหารหลัก (N-P-K) จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในถังหมักอยู่ในช่วง 30.00 ถึง 33.00 องศาเซลเซียส ซึ่งในช่วงที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปเหมาะแก่การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ส่วนความชื้นถูกควบคุมไว้ในช่วงร้อยละ50.00 ถึง60.00ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) 6 ถึง 8 เหมาะต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ค่า C:N ratio ทั้ง 3 สูตรต่ำกว่า 20:1 ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของปริมาณธาตุอาหารหลัก (N-P-K) ของปุ๋ยหมักอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้มีค่าดังนี้ สูตรที่ (1) ค่าที่ได้เท่ากับ2.37-0.76-3.63 สูตรที่ (2) ค่าที่ได้เท่ากับ 2.52-0.81-4.27 และสูตรที่ (3) ค่าที่ได้เท่ากับ 2.28-0.83-3.85 เมื่อนำปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตรนี้ไปใช้ทดสอบปลูกผักคะน้า พบว่าในน้ำหนักสดที่ได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากผักคะน้าเป็นพืชที่ต้องการไนโตรเจนสูงและปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตรก็มีปริมาณไนโตรเจนที่ใกล้เคียงกัน จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่าปุ๋ยหมักทุกสูตรมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าธาตุอาหารตัวอื่นๆ ดังนั้นจึงควรมีการนำปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ไปใช้ทดสอบความเจริญเติบโตของพืชประเภทหัว ซึ่งพืชประเภทนี้ต้องการโพแทสเซียมสูงในการเจริญเติบโต

คำสำคัญ ปุ๋ยหมัก ผักตบชวา หญ้าขน

Title The Potentiality Studies of Making Compost from Water Hyacinth and Paragrass.

Author Miss.NilavunTrorarit

Miss.SuchadaWijai

Program Bachelor of Science

Major Environmental Science (Environmental Technology)

Academic Year 2014

Advisor Mr.Kamonnawin Inthanuchit

Abstract

Feasibility Study on Composting of Water Hyacinth and Paragrass.The objective isstudy and compare the nutrient contained in the compost from paragrass, water hyacinth and with standard of compost. This process will take 40 days.In this study consists of 3 formulas include (1) Water Hyacinth (2) Paragrass (3) Water Hyacinth with Paragrass. The analysis Temperature, Moisture, Acidity and alkalinity (pH), The ratio of carbon to nitrogen (C: N ratio) and primary macronutrients (N - P - K). The study found that the temperature in the compost bin in the range 30.00 - 33.00 °C.During which the temperature is not too high. Suitable for the growth of microorganisms. Moisture was control at the level of 50.00 - 60.0% which is appropriate for the growth of microorganisms. Acidity and alkalinity (pH) in the range of 6-8. suitable for the survival of microorganisms.The C: N ratio of 3 formulas under 20:1.The value range is as close to perfect compost and which can be utilized. The primary macronutrients that are vital to the growth of farms. Percent of primary macronutrients (N - P - K) of compost. Is on the thre shold acceptable is the following (1) Water Hyacinth is equal to 2.37 - 0.76 - 3.63 (2) Paragrass is equal to. 2.52 - 0.81 - 4.27 and (3) Water Hyacinth with Paragrass is equal to 2.28 - 0.83 - 3.85. When the 3 compost recipe to grow kale test found in similar weight. Due to kale is high nitrogen plants need. The compost 3 formulas was a nitrogen similar.The analysis primary macronutrients of compost 3 formulas.Found compost each formula havehigh potassium. Therefore the compost produced to test the growth of the tubers plant. Because these plants need to high potassium in growth.

Keyword Compost Water Hyacinth Paragrass

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstact	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ตัวแปร	2
1.4 นิยามศัพท์	2
1.5 สมมติฐาน	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผักตบชวาและหญ้าขน	4
2.2 ความหมายของปุ๋ยและปุ๋ยหมัก	6
2.3 วัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก	6
2.4 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการหมัก	7
2.5 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก	8
2.6 กลไกการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน	9
2.7 รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีทางชีวเคมี	9
2.8 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก	10
2.9 ปัจจัยที่มีการควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก	11

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช	15
2.11 การพิจารณาปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้ว	16
2.12 มาตรฐานปุ๋ยหมัก	17
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	
3.1 ขอบเขตการวิจัย	20
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	23
3.3 การเก็บตัวอย่าง	25
3.4 วิธีการวิเคราะห์	25
3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	25
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผลการวิจัย	
4.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ	26
4.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี	36
4.3 ผลของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า	50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	ก-1
ภาคผนวก ข ภาพประกอบการวิจัย	ข-1
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์	ค-1
ภาคผนวก ง ค่าสถิติที่ทดสอบ	ง-1
ภาคผนวก จ แบบเสนอโครงร่างวิจัย	จ-1

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ผักตบชวา	4
2.2	หญ้าขน	5
2.3	รูปแบบของอุณหภูมิและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก	10
3.1	ผักตบชวาสับบดละเอียด	20
3.2	หญ้าขนสับบดละเอียด	20
3.3	ถังพลาสติกที่ใช้หมัก	21
4.1	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการหมักของวันแรก	27
4.2	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการหมัก	31
4.3	การเปลี่ยนแปลงความของชื้นในระหว่างการหมัก	35
4.4	การเปลี่ยนแปลงความของเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระหว่างการหมัก	39
4.5	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ในระหว่างการหมัก	41
4.6	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระหว่างการหมัก	42
4.7	การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมัก	44
4.8	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมัก	46
4.9	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมในระหว่างการหมัก	47
4.10	ลักษณะของปุ๋ยหมัก	49

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	3
3.1	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักในระหว่างการหมักและหลังหมัก	25
4.1	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการหมักของวันแรก	27
4.2	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการหมัก	29
4.3	การเปลี่ยนแปลงของความชื้นในระหว่างการหมัก	33
4.4	การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระหว่างการหมัก	37
4.5	การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ในระหว่างการหมัก	40
4.6	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระหว่างการหมัก	42
4.7	การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมัก	44
4.8	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมัก	45
4.9	ตารางการเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมในระหว่างการหมัก	47
4.10	คุณสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดการหมัก	48
4.11	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) ของคะน้า	50
4.12.1	ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตร	51
4.12.2	การเปรียบเทียบราคาผลผลิตที่ได้จากการใช้ปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตร	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งเป็นแหล่งปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญหลายชนิด แต่ปัจจุบันการปลูกพืชมีต้นทุนสูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยหรือยากำจัดศัตรูพืชซึ่งนับวันยิ่งมีราคาที่สูงขึ้น โดยเฉพาะปุ๋ยจัดเป็นต้นทุนหนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะเป็นอาหารของพืชที่สำคัญมาก โดยเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยเคมีกับต้นพืช จึงทำให้ราคาปุ๋ยเคมีที่จำหน่ายในท้องตลาดมีราคาค่อนข้างสูง จากการสำรวจพบว่าในปี พ.ศ.2556 ที่ผ่านมาประเทศไทยมีการใช้ปุ๋ยเคมีประมาณ 5,638,891 ตัน โดยมีมูลค่าถึง 72,259 ล้านบาท ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี (กรมวิชาการเกษตร, 2557)

การใช้ปุ๋ยหมักแทนปุ๋ยเคมีนั้นถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนการใช้สารเคมีของเกษตรกรได้ กรมพัฒนาที่ดินจึงได้ส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตปุ๋ยหมักใช้เอง ไม่ว่าจะเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จากโรงงานอุตสาหกรรม จากบ้านเรือน หรือวัชพืช เช่น ผักตบชวาก็สามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อใช้ปรับปรุงบำรุงดินให้เกิดประโยชน์ในการเพิ่มผลผลิตของพืชทางเกษตร จากการศึกษาผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีรากฝอยจำนวนมากสามารถดูดเอาแร่ธาตุอาหารพืชที่มาปะปนอยู่กับตะกอนไว้ในส่วนต่างๆ ของลำต้น ดังนั้นเมื่อสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักก็จะให้แร่ธาตุอาหารพืชสูงมากไปด้วย (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533)

วัชพืช นับว่าเป็นศัตรูอย่างหนึ่งของพืชปลูก เนื่องจากวัชพืชเป็นต้นไม้มีชีวิตเช่นเดียวกับพืชปลูก ฉะนั้นย่อมต้องการปุ๋ย น้ำ แสงสว่าง เพื่อการเจริญเติบโตเช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อวัชพืชมาแย่งสิ่งเหล่านี้จากพืชที่ปลูก ย่อมทำให้พืชที่ปลูกได้ปุ๋ยและน้ำน้อยลง ไม่เจริญเติบโต ทำให้ผลผลิตไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้แล้ววัชพืชยังเป็นที่อาศัยของโรคและแมลงอีกด้วย (ดวงพร สุวรรณกุล , 2544) หญ้าขน จัดเป็นวัชพืชชนิดหนึ่งที่สามารถขยายพันธุ์โดยสามารถใช้ส่วนต่างๆ นอกเหนือจากเมล็ด ดังนั้นหญ้าขนจึงมีการขยายพันธุ์และเติบโตได้อย่างรวดเร็วซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง หากนำหญ้าขนเหล่านั้นมาทำเป็นปุ๋ยหมักจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีมาใช้การใช้ปุ๋ยเคมีในจำนวนมากและเป็นเวลาจะทำให้ดินเสื่อมคุณภาพได้ แต่หากมีการใช้ปุ๋ยหมักก็จะช่วยลดปัญหาต่างๆ ได้มาก และเป็นการปรับปรุงดินให้ดีขึ้นได้อีกด้วย (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2547) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจนำผักตบชวาและหญ้าขนมาใช้เป็นวัสดุที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีในปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขนโดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผักตบชวาและหญ้าขนในการผลิตปุ๋ยหมัก

2) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขนกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก

1.3 ตัวแปร

ตัวแปรต้น	ผักตบชวา และหญ้าขน
ตัวแปรตาม	ปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมัก
ตัวแปรควบคุม	ระยะเวลาในการหมักวิธีการหมัก

1.4 นิยามศัพท์

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ทำขึ้นโดยเลียนแบบธรรมชาติในป่า ได้จากเศษพืช มูลสัตว์มากองรวมกันแล้วเกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย มีสีน้ำตาลดำที่เรียกว่า ฮิวมัส มีสมบัติในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินโปร่ง เพิ่มความพรุนให้แก่ดิน ทำให้การระบายน้ำและอากาศในดินดีขึ้น ช่วยให้ดินอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารพืชดีขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช ช่วยทำให้พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโตและส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ได้ดี (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2547)

ผักตบชวา หมายถึง พืชที่ลอยอยู่บนผิวน้ำหรือบนดินชื้นแฉะ มีอายุข้ามปี ลำต้นสั้น ใบแผ่รอบต้น ใบมีลักษณะกลมหรือรูปไข่ ปลายมน ใบอาจจะมีขนาดใหญ่หรือเล็ก และก้านอาจจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับสภาพความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่นั้น ภายในมีลักษณะฟ่ามคล้ายฟองน้ำ แพร่พันธุ์โดยเมล็ดหรือแตกต้นอ่อนใหม่แล้วแยกหลุดจากต้นเดิม เมล็ดจะยังฝังตามดินในหน้าแล้ง เมื่อได้รับความชื้นจะงอกเจริญเติบโตเป็นต้นอีก ผักตบชวาจัดเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วและขยายพันธุ์ได้ทุกฤดูกาล (ดวงพร สุวรรณกุล, 2544)

หญ้าขน หมายถึง เป็นหญ้าสะเทินน้ำสะเทินบกซึ่งมีอายุหลายปี มีเถาเลื้อยลำต้นกลวง ใบเป็นรูปหอกปลายแหลม มีขนขาวๆ ปกคลุมขอบใบและแผ่นหลังใบ มีดอกเป็นช่อขึ้นที่ส่วนยอดเมื่อหญ้าเริ่มแก่ แพร่กระจายด้วยเมล็ดและการแตกไหลออกรากตามข้อ มีการเจริญเติบโตเป็นกอชอบขึ้นตามดินแฉะ ชายตลิ่งหรือที่ริมน้ำ มีไหลเลื้อยทอดไปตามดินหรือน้ำเช่น หนองน้ำ คูร่องสวน บริเวณที่นาและน้ำท่วมขัง (ดวงพร สุวรรณกุล, 2544)

1.5 สมมติฐาน

ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนจะมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่มากกว่าปุ๋ยหมักจากวัสดุอย่างใดอย่างหนึ่งและเหมาะสมตามค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ทราบถึงปริมาณธาตุอาหารหลักจากปุ๋ยหมักที่ทำจากผักตบชวาและหญ้าขนกับค่ามาตรฐาน

2) เป็นทางเลือกในการนำผักตบชวาและหญ้าขนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านเกษตรกรรมและสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร

3) ช่วยลดปัญหาสภาพดินเสื่อมจากการใช้ปุ๋ยเคมีในด้านการเกษตร

1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีระยะเวลาดำเนินการระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 สำหรับแผนการดำเนินการศึกษาแสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ขั้นตอน	2556												2557												2558	
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	ม.ค.	ก.พ.
รวบรวมข้อมูลและตรวจเอกสาร																										
สอบโครงร่างวิจัย				▲																						
ทำการหมักปุ๋ย																										
วิเคราะห์พารามิเตอร์																										
สอบความก้าวหน้า																▲										
สรุปผลการทดลอง																										
สอบจบเล่มวิจัย																									▲	
เขียนและแก้ไขเล่มวิจัย																										

หมายเหตุ ช่วงเดือน *พ.ย. 2556 – ก.พ. 2557 เป็นช่วงของการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผักตบชวาและหญ้าขน

2.1.1 ผักตบชวา

ผักตบชวามีชื่อสามัญว่า water hyacinth จัดอยู่ในวงศ์ Pontederiaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhorniacrasispes* (Hart.) solms มีชื่อสามัญไทยว่า ผักตบชวา บัวลอย ผักบอง มีชื่อสามัญอังกฤษว่า water hyacinth, Java-weed, water orchid, water lily

ผักตบชวา เป็นพืชที่เจริญอยู่บนผิวน้ำจัดเป็นประเภทลอยน้ำ (floating plant) โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้นดินจึงถูกกระแสลมหรือน้ำพัดพาไปได้ไกลแต่ถ้าน้ำตื้นแล้วรากจะหยั่งยึดติดกับพื้นดินได้ ในต้นหนึ่งๆ จะมีใบตั้งแต่สองใบขึ้นไปที่โคนก้านใบจะมีกาบใบและจะเชื่อมติดต่อกันโดยมีไหล (stolon) ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำช่วยในการขยายตัวของผักตบชวาให้เพิ่มขึ้น (ใบ) เป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) ประกอบด้วยแผ่นใบและก้านใบ มักมีความกว้างมากกว่ายาวหรือเกือบจะเท่าๆกัน ก้านใบมักจะพองออกเป็นทุ่นลอยน้ำ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า buoyancy leaf แต่ถ้าผักตบชวาเจริญอยู่ในที่เบียดชิดกันมากโดยเฉพาะในน้ำนิ่งก้านใบจะไม่พอง นอกจากนั้นก้านใบยังยาวมาก (ดอก) ผักตบชวามีดอกสีฟ้าสวยงามมาก ดอกออกเป็นช่อไม่มีก้านดอก (spike) ในช่อหนึ่งๆ จะมีจำนวนดอกแตกต่างกันไป ถ้าช่อดอกเล็กก็จะมีดอกประมาณ 4-5 ดอก ถ้าช่อดอกใหญ่อาจจะมีจำนวนดอกเพิ่มขึ้นจนถึง 60 ดอก นอกจากนี้ยังมีเกสรตัวผู้ (stamen) 6 อัน สั้น 3 ยาว 3 ติดอยู่ที่ตอนล่างของกลีบดอก เกสรตัวผู้ (anther) มีสีเหลืองส่วนเกสรตัวเมีย (pistil) มีส่วนตรงปลายเรียกว่า stigma มีสีม่วงอ่อนอยู่บนก้านต่อมากจากรังไข่ซึ่งอยู่เหนือจากกลีบดอก

รูปที่ 2.1ผักตบชวา

2.1.2 หญ้าขน

หญ้าขน เป็นหญ้าที่แพร่หลายในเขตร้อนทั่วโลก เช่น อเมริกากลาง อเมริกาใต้ บราซิล ออสเตรเลีย ฟีจิ ฟิลิปปินส์ อัฟริกาตะวันตก รวมทั้งประเทศไทยนำเข้ามาจากประเทศมาเลเซียในปี พ.ศ. 2472 หญ้าขนมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า*Brachiariamutica* (Frossk.) Stapf ชื่อสามัญภาษาอังกฤษนั้นมีหลายชื่อ เช่น Scotch grass, Water grass, Para grass, Dutch grass, Mauritius grass, Mountain grass, Numidian grass, Panicum grass, Greater brachiaria และชื่อสามัญในภาษาไทยว่า หญ้าขน หญ้าปล้องขน

หญ้าขน เป็นหญ้าสะเทินน้ำสะเทินบก มีอายุข้ามปี (perennial) มีไหลและขนตามข้อ (ลำต้น) มีลำต้น ชูขึ้นหรือบางครั้งโน้มลงพื้น สูง 1.5 เมตร ลำตัวมีขน โดยตามข้อและกาบใบ จะมีขนยาวฟูเห็นได้ชัดเจน (ใบ) เป็นใบเดี่ยว ออกสลับข้างกัน แผ่นใบรียาว 10-30 เซนติเมตร กว้าง1-1.5 เซนติเมตร เรียบหรือมีขนบางๆ ที่รอยต่อระหว่างแผ่นใบและกาบใบจะมีขน กาบใบติดกับต้นอย่างหลวมๆ (ดอก) ออกเป็นช่อแบบช่อแยกแขนง (panicle) แยกออกจากกันห่างๆ เป็นช่อเล็กๆ ปลายช่อจะโน้มดิน ช่อดอกยาว 10-20 เซนติเมตร ช่อดอกย่อยจะออกเป็นคู่ก้านช่อดอกย่อยสั้น ช่อดอกย่อยยาว 3-5 มิลลิเมตร มีกาบ 2 อันที่ด้านล่าง กาบล่าง มีลายเส้น 1-5 เส้น กาบบนมีลายเส้น 5 เส้น กาบล่างยาวเท่าๆกับ กาบบนช่อดอกมีสีเขียวคล้ำ (ผล) แบบผลธัญพืช (caryopsis) เป็นแบบ 1 ผล 1 เมล็ด ลำต้นลำของหญ้าขนที่ลักษณะการเจริญเติบโตแบบกึ่งเลื่อยกึ่งตั้ง (Semi erect type) ในกรณีที่มีพื้นที่ว่างมากๆ จะเลื่อยและมีไหล (stolen) เกิดขึ้นมากมายจึงอาจจัดว่าเป็นพวก stoloniferous type ไหลอาจเจริญเลื่อย (Creeping) ยาวมากกว่า 4 เมตร (ลำต้น) ซึ่งเกิดจากข้อของไหลสูงประมาณ 50-90 เซนติเมตร จะทอดไปตามดินและมีรากเกิดขึ้นตามข้ออย่างรวดเร็วทำให้สามารถคุมหน้าดินได้อย่างหนาแน่นขยายพันธุ์ได้ทั้งเมล็ดและโดยอาศัยไหลมีการเจริญเติบโตเป็นกอชอบขึ้นตามดินแฉะ ชายตลิ่งหรือที่ริมน้ำ แล้วเจริญงอกงามแผ่ลงน้ำ มีไหลเลื้อยทอดไปตามดินหรือน้ำ เช่นหนองน้ำ คูระบายน้ำ คูร่องสวนบริเวณที่นาและน้ำท่วมขัง พบได้ทั่วประเทศไทยในปัจจุบันนี้ หญ้าขนเป็นที่รู้จักกันในแง่ของพืชอาหารสัตว์และในแง่ของวัชพืชและแพร่หลายไปทั่วประเทศโดยเฉพาะในเขตที่ลุ่ม (ดวงพร สุวรรณกุล, 2544)

รูปที่ 2.2 หญ้าขน

2.2 ความหมายของปุ๋ยและปุ๋ยหมัก

2.2.1 ปุ๋ย

ปุ๋ย (Fertilizer) หมายถึง วัตถุหรือสารที่ใส่ลงไปในดิน โดยมีความประสงค์จะให้ธาตุ อาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมแก่พืชเพื่อให้ได้รับธาตุอาหารดังกล่าวในปริมาณที่เพียงพอและสมดุลกันตามที่ต้องการและให้ผลผลิตสูงขึ้นส่วนปุ๋ยตามความหมายในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 คือ สารอินทรีย์ อินทรีย์สังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2547)

2.2.2 ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก (Compost) หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ทำโดยเลียนแบบธรรมชาติในป่า ได้จากเศษพืช มูลสัตว์มากองรวมกันแล้วเกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย มีสีน้ำตาลปนดำ ที่เรียกว่า ฮิวมัส มีสมบัติในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินโปร่งเพิ่มความพรุนให้แก่ดิน ทำให้เกิดการระบายน้ำและอากาศในดินดีขึ้น ช่วยให้ดินอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารพืชดีขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพช่วยทำให้พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโตและส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ได้ดีขึ้น (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2547)

2.3 วัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

1) วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม วัสดุเหลือทิ้งจากไร่นาหรือทางการเกษตรจึงมีอยู่ทั่วไป เช่น ฟางข้าว ใบพืช ต้นข้าวโพด และกาก เป็นต้น

2) วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม การแปรรูปของวัตถุดิบทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การขยายตัวด้านอุตสาหกรรมก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรไม้ กากตะกอนน้ำเสีย เปลือกและกากผลไม้จากโรงงานบรรจุผลไม้กระป๋อง เป็นต้น วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิดสามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นแนวทางในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว

3) วัสดุเหลือทิ้งจากบ้านเรือน ในเขตชุมชนที่มีประชากรอยู่รวมกันมากจะมีปัญหาในด้านการกำจัดขยะ แนวทางที่สามารถนำขยะเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ได้คือการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งมักเรียกกันว่า ปุ๋ยอินทรีย์

4) วัสดุอื่นๆ และวัชพืช วัชพืชบกและวัชพืชน้ำหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักตบชวา เป็นวัชพืชที่เจริญได้อย่างรวดเร็วก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ มากมาย การนำผักตบชวามาทำเป็นปุ๋ยหมักจึงเป็นแนวทางหนึ่งโดยเปลี่ยนให้เป็นปุ๋ยหมักที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงดิน และยังช่วยทำลายแหล่งของศัตรูพืชได้เป็นอย่างดี (ธงชัย มาลา, 2546)

2.4 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการหมัก

2.4.1 เศษวัสดุ

เศษซากพืชที่รวบรวมมาได้นั้นบางครั้งจะมีขนาดใหญ่และมีความยาวมากเกินไป ควรทำการหั่นหรือสับเพื่อกองปุ๋ยหมักจะได้ไม่เกิดช่องว่างภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจะทำให้กองปุ๋ยจะสูญเสียความชื้นและความร้อนในกองได้ง่าย ทำให้การย่อยสลายเป็นไปได้ช้าทำให้การย่อยสลายจะเป็นไปได้ช้า การหั่นเศษพืชนั้นยิ่งเป็นชิ้นเล็กมากเท่าใดการย่อยสลายก็เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว เพราะกองปุ๋ยหมักมีที่ว่างภายในน้อยจึงเก็บความชื้นได้ดีการอัดตัวของเศษพืชจะทำให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น เป็นการกระตุ้นให้จุลินทรีย์กระทำกิจกรรมได้ดีขึ้น

2.4.2 มูลสัตว์

การใส่มูลสัตว์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นมูลวัว มูลหมู มูลเป็ด มูลไก่ ฯลฯ ผสมคลุกเคล้าลงไปด้วยกัน กองปุ๋ยจะร้อนขึ้นได้รวดเร็วและย่อยสลายได้เร็วกว่าการใช้เศษพืชเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะมูลสัตว์ต่างๆ ประกอบด้วยแร่ธาตุที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์อยู่มากมายหลายชนิด การใส่มูลสัตว์จึงเป็นการเร่งให้จุลินทรีย์ทำการย่อยเศษพืชกลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วขึ้น

2.4.3 ปุ๋ยยูเรีย

การใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปในกองปุ๋ยหมักจะช่วยให้เศษพืชสลายตัวได้อย่างเร็วขึ้น สำหรับวัสดุที่สลายตัวได้ยากจะมีแร่ธาตุอาหารอยู่น้อย จึงควรมีการเติมปุ๋ยยูเรียลงไปเพื่อเพิ่มธาตุอาหารลงไปในกองปุ๋ยหมัก ส่วนวัสดุที่สลายตัวง่ายใส่ในปริมาณเล็กน้อยเพียงแค่เป็นอาหารเสริมช่วยกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์เท่านั้น

2.4.4 สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พด.-1

สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พด.-1 ประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีประโยชน์เป็นเชื้อจุลินทรีย์ประเภทรา บักเตรี และแอคติโมมัยซีส ซึ่งสามารถย่อยสลายเศษพืชให้เป็นปุ๋ยหมักได้อย่างรวดเร็ว การทำปุ๋ยหมักด้วยการใช้เชื้อจุลินทรีย์นี้จะสามารถช่วยลดระยะเวลาหมักจากประมาณ 3-4 เดือนเหลือเพียงประมาณ 1-2 เดือน เท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเศษวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก นอกจากนั้นแล้วยังทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดที่ผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์เป็นพวกที่ทำการย่อยสลายเศษพืชได้ดีในสภาพที่กองปุ๋ยมีความร้อนสูงสภาพดังกล่าวจะช่วยทำลายเมล็ดวัชพืชหรือเชื้อโรคที่ปะปนอยู่ในกองปุ๋ยได้ (ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2531)

2.5 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก

กระบวนการทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีตามธรรมชาติที่อาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุส่วนที่ย่อยสลายได้ให้เป็นแร่ธาตุที่ค่อนข้างจะคงรูป และมีคุณค่าในทางเป็นปุ๋ยสำหรับบำรุงดินเป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนั้นเศษวัสดุที่หมักได้ที่แล้วปริมาตรจะลดลงประมาณร้อยละ 30-60 และยังสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่เกิดโรคได้อีกด้วยการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระยะแรกๆ ที่มีออกซิเจนปนอยู่จะเกิดการย่อยสลายแบบแอโรบิค (Aerobic) สามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่อออกซิเจนถูกใช้ไปจนหมด การย่อยสลายจะกลายเป็นแบบแอนแอโรบิค (Anaerobic) ซึ่งเป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุค่อนข้างช้า ทำให้เกิดกรดและก๊าซ จึงมีกลิ่นอันไม่พึงปรารถนาขึ้น เป็นเหตุให้เกิดความรำคาญ และอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนด้วย ซึ่งกระบวนการทำปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีดังนี้

2.5.1. การหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic decomposition)

การหมักแบบใช้ออกซิเจน เป็นการย่อยสลายวัสดุที่ย่อยสลายได้โดยใช้ออกซิเจน ซึ่งใช้เวลาในการย่อยสลายเร็วมาก และปล่อยพลังงานในรูปของความร้อนจำนวนมากจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบอินทรียวัตถุไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการหมักวิธีนี้จะมีข้อดีคือไม่มีกลิ่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักนั้นค่อนข้างสูงพอที่จะฆ่าเชื้อโรคที่อาจทำให้เกิดอันตรายต่อคนและให้ผลผลิตสุดท้ายที่เสถียร ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$\text{Organic matter} + O_2 \xrightarrow{\text{Aerobic bacteria}} CO_2 + NH_3 + \text{Other end-product} + \text{Energy}$$

การเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ได้นั้นต้องมีสภาวะที่เหมาะสมเช่น ปริมาณออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิ ความชื้นพอเหมาะ ดังนั้นการหมักปุ๋ยแบบแอโรบิควัตถุดิบต้องไม่อัดแน่นจนเกินไป ต้องมีรุพรุนอยู่บ้าง จึงจะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายดีขึ้น นอกจากนี้การทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุต่างๆ ยังสามารถเพิ่มวัสดุอื่นลงไปได้ด้วย เช่น มูลสัตว์และสารเคมีบางชนิดการย่อยสลายโดยวิธีนี้เป็นไปได้เร็ว

2.5.2 การหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic decomposition)

การหมักแบบไร้อากาศ เป็นการย่อยสลายสารอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนในอากาศ ซึ่งของเสียที่นำมาใช้ในการหมักจะอยู่ในลักษณะกึ่งของเหลว (Slurry) การย่อยสลายแบบไร้อากาศนั้นอุณหภูมิจะต่ำและมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นโดยมีอัตราการสลายตัวอย่างช้าๆ และใช้เวลานานแต่มีข้อดีคือไม่ต้องดูแลมาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

$$\text{Organic matter} \xrightarrow{\text{Aerobic bacteria}} CO_2 + H_2S + NH_3 + CH_4 + \text{Other end-product} + \text{Energy}$$

การศึกษากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปุ๋ยหมักทั้งแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic) และแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) พบว่าการหมักแบบใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพมากกว่าการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพราะว่าสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าส่วนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องใช้เวลาในการหมักนาน มีกลิ่นรบกวนและอาจมีเชื้อโรคปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก

2.6 กลไกการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน

ประกอบด้วยกลไกที่สำคัญ 2 ขั้นตอน ได้แก่

1) การย่อยสลายอย่างเข้มข้น (Intensive Rotting Phase) การย่อยสลายอย่างเข้มข้นเกิดขึ้นใน 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก อุณหภูมิของการหมักจะสูงถึง 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียประเภท Mesophilic หลังจาก 24 ชั่วโมง อุณหภูมิของสารหมักจะสูงขึ้นจนถึงประมาณ 75 องศาเซลเซียส ช่วงนี้การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียประเภท Thermophilic และอุณหภูมิที่สูงระดับนี้จะทำให้เชื้อโรคที่อยู่ในวัสดุหมักส่วนใหญ่ตายได้ ระยะเวลาประมาณ 3-6 สัปดาห์ หรือตั้งแต่ 1-5 วัน ขึ้นอยู่กับวิธีการหมักและองค์ประกอบของวัสดุหมัก

2) การย่อยสลายขั้นสุดท้าย (Final Rotting Phase) หลังจากที่เกิดการย่อยสลายเข้มข้นเสร็จสิ้นแล้วอุณหภูมิของสารหมักจะค่อยๆลดลงจนเหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส อินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น พวกเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายในขั้นนี้ กลไกการย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป

2.7 รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมี

รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักสามารถทราบได้จากลักษณะของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังต่อไปนี้ (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547)

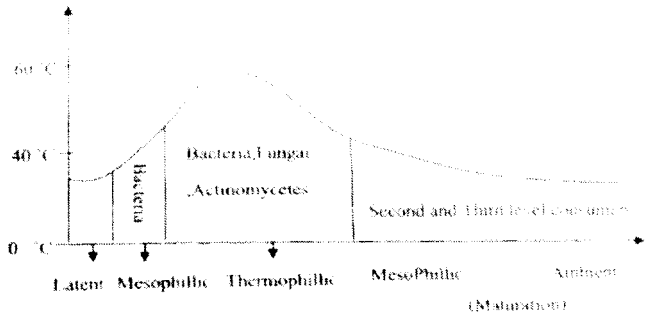
1) Latent Phase คือช่วงเวลาสำหรับจุลินทรีย์ปรับตัวสร้างความเคยชินให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ เพื่อสร้างเซลล์และเพิ่มจำนวน

2) Growth Phase เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิถึงระดับ Mesophile ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยที่อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 15-40องศาเซลเซียส

3) Thermophilic Phase ในขั้นตอนนี้มีการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง โดนอุณหภูมิสูงจนทำให้เกิดความร้อนสะสมในกองปุ๋ยหมัก ในระยะนี้อินทรีย์วัตถุได้ถูกเปลี่ยนให้มีความคงตัว และมีการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ

4) Maturation Phase คือระยะเวลาที่อุณหภูมิลดลงอยู่ในระดับ Mesophile และลดลงเรื่อยๆ จนอยู่ในระดับอุณหภูมิบรรยากาศทั่วไป การหมักขั้นที่ 2 จะเกิดขึ้นแต่

เกิดอย่างช้าๆ และมีการสร้างฮิวมัส โดยการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์เชิงซ้อนบางอย่างให้อยู่รูปของฮิวมัสที่อยู่ในรูปของคอลลลอยด์ (Humic colloids) ซึ่งจับตัวอยู่กับแร่ธาตุต่างๆ เช่น เหล็ก แคลเซียม โซเดียม เป็นต้น และในที่สุดกลายเป็นฮิวมัส ช่วงนี้เป็นระยะใกล้เสร็จสิ้นของการย่อยสลายแล้ว



รูปที่ 2.3 รูปแบบของอุณหภูมิและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

2.8 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายเศษวัสดุในกองปุ๋ยหมักเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง จนกระทั่งเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ความร้อน และสารประกอบฮิวมัส เมื่อกระบวนการย่อยสลายเสร็จสมบรูณ์ได้สารประกอบที่มีความคงทน ที่เรียกว่าปุ๋ยหมัก (Compost) กระบวนการย่อยสลายดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกัน และเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักเปลี่ยนแปลงไปตามขั้นตอน โดยระดับอุณหภูมิเปลี่ยนไปทำให้ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์โดดเด่นแตกต่างกันออกไป

จากผลการวิจัยพบว่าในช่วงแรกซึ่งเป็นระยะสั้นๆ ประมาณ 1-2 วัน กระบวนการย่อยสลายเศษพืชในกองปุ๋ยหมักเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ย่อยสลายง่าย หรือสารประกอบที่ละลายน้ำได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงเพิ่มขึ้นเกินว่า 40 องศาเซลเซียส มีผลทำให้จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลางเริ่มลดปริมาณลง เนื่องจากไม่สามารถเจริญเติบโตและดำรงชีวิตอยู่ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงเริ่มเจริญและเพิ่มปริมาณมากขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์พวกนี้ยังคงดำเนินกิจกรรมการสลายอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะสารประกอบที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น ไขแลน เซลลูโลส และลิกนิน ในช่วงนี้สามารถตรวจพบเสมอว่าจุลินทรีย์ดำรงชีพได้ในสภาพนี้มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสและลิกนินได้ดี เมื่อความร้อนสะสมในกองปุ๋ยหมักมากเกินกว่า 65 องศาเซลเซียส มีผลทำให้จุลินทรีย์หลายชนิดตายลง และมีผลทำให้อัตราการย่อยสลายลดลง ส่งผลทำให้จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักลดลงด้วย เมื่ออุณหภูมิลดลงถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง

สามารถเจริญและดำเนินการย่อยได้อีกทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอีก ลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักช่วงนี้อยู่ในช่วงประมาณ 45-56 องศาเซลเซียส และค่อนข้างคงที่ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้ จนกระทั่งสภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักไม่เหมาะสม หรือวัสดุในกองปุ๋ยหมักถูกย่อยสลายไปจนใกล้สมบูรณ์ อุณหภูมิลดลง ในช่วงที่เกิดจากการย่อยสลายอย่างต่อเนื่องควรที่จะปรับสภาพในกองปุ๋ยหมักให้เหมาะสม ได้แก่ การระบายอากาศและการควบคุมความชื้น ซึ่งทำให้อัตราการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงดำเนินได้อย่างต่อเนื่องและส่งผลให้เกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วจนทำให้ระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักสิ้นสุดลง(ภานุพงศ์ บางรักษ์, 2548)

2.9 ปัจจัยที่มีการควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

การสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ทำปุ๋ยหมักนั้น นอกจากเชื้อจุลินทรีย์จะมีบทบาทสำคัญอย่างมากแล้ว ปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ก็มีส่วนสำคัญที่ช่วยให้การสลายตัวเป็นไปในอัตราที่เร็วหรือช้าด้วย ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

1) ชนิดและขนาดของวัสดุที่ใช้หมัก

วัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักส่วนใหญ่แล้วจะได้มาจากพืชมากกว่าที่จะได้จากสัตว์ โดยธรรมชาติแล้วเศษพืชชนิดต่างๆ ย่อมมีการย่อยสลายได้ช้าหรือเร็วแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเศษพืชนั้นๆ ว่ามีส่วนที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นอาหารได้ยากหรือง่ายและมีแร่ธาตุอาหารเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์หรือไม่ ดังนั้นอาจแบ่งเศษที่ใช้ทำปุ๋ยได้เป็นสองพวกด้วยกัน คือเศษพืชพวกสลายตัวง่าย เช่น พืชตระกูลถั่วผักตบชวา เศษพืชที่เป็นพืชอวบน้ำ อีกพวกหนึ่งก็คือเศษพืชที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น ฟางข้าง แกลบ ขุยมะพร้าว ปกติแล้วเศษพืชพวกหลังนี้จะมีธาตุอาหารอยู่น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลลินทรีย์และนอกจากนี้พืชที่มีอายุน้อยย่อมจะมีการย่อยสลายได้ง่ายกว่าเศษที่มีอายุมากขนาดของเศษพืชก็เป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญหากเศษที่นำมาหมักนั้นมีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้เกิดช่องว่างภายในกองปุ๋ยมาก กองปุ๋ยหมักจะเสียความชื้นได้ง่าย ทำให้เศษพืชแห้งไม่เหมาะสมที่จะให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต การทำกิจกรรมการย่อยก็ช้าลงไปด้วยเช่นกัน (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533) ดังนั้นผู้ทำปุ๋ยหมักพยายามสับหรือหั่นเศษพืชให้เป็นชิ้นเล็กลงมากเท่าไหร่ก็ยิ่งดี เพราะจะทำให้การหมักเร็วขึ้นและเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของเศษวัสดุที่จะสัมผัสกับอากาศการตัดหรือบดวัสดุเศษเหลือให้มีขนาดประมาณ 2.3-5.0 เซนติเมตร หรือ 0.1-1.5 นิ้ว จะทำให้วัสดุสัมผัสกับอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544)

2) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย และเป็นปัจจัยควบคุมอัตราเร่งของปฏิกิริยาด้วย สภาพภูมิอากาศก็มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย โดยทั่วไปพบว่าหลังจากการหมักนาน 2-4 วัน อุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็วจนถึง 50-60 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนย่อยสลาย และคุณสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ค่อยแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมักการที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นดังกล่าวทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุยหมักเปลี่ยนไป ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็เปลี่ยนแปลงไปเช่นกันในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่พวกที่ทนต่ออุณหภูมิสูง(Thermoduric) และพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophilic) จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic) สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้นระดับของอุณหภูมิในกองปุ๋ยจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของวัสดุเหลือทิ้ง และขนาดของกองปุ๋ยหมักด้วย ในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปประมาณ 70 องศาเซลเซียส จะมีผลไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลงและกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลงตามไปด้วย ทำให้อุณหภูมิค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับที่เหมาะสม จุลินทรีย์ที่เหลือรอดอยู่เริ่มกิจกรรมในการย่อยสลายต่อไป

การเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิตามที่ได้กล่าวมาแล้วนี้เป็นลักษณะพิเศษที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก ทำให้สภาพแวดล้อมและชนิดของจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงไปด้วย มีนักวิจัยสนใจและศึกษาระบบนิเวศน์ในกองปุ๋ยหมักกันมาก จุดที่สำคัญอย่างหนึ่งคือความร้อนที่สะสมในกองปุ๋ยเป็นระยะเวลานานนี้ มีผลต่อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคคนหรือพืชด้วย พบว่าอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักที่ทำจากขยะเทศบาลมีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในระบบลำไส้ของคน สำหรับปุ๋ยหมักที่ทำจากเศษพืชที่เป็นใบไหม้ของข้าวโพดและแอนแทรกโนสของถั่วเหลือง พบว่าการนำเศษพืชที่เป็นโรคดังกล่าวมาทำเป็นปุ๋ยหมักแล้วตรวจสอบเชื้อโรคเป็นระยะๆ พบว่าการทำปุ๋ยหมักเป็นเวลา 30 วัน ตรวจไม่พบเชื้อโรคพืชในกองปุ๋ยหมัก ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคดังกล่าวลดน้อยลง คือ ระดับของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547)

3) ความชื้น

ความชื้น เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากปฏิกิริยาในระบบเมตาบอลิซึมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์และการปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์จุลินทรีย์ย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกำหนดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนพื้นผิวของวัสดุหมัก เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหารและก๊าซออกซิเจนจากวัสดุหมักและอากาศไปยัง

จุลินทรีย์และยังเป็นตัวกลางในการส่งเอนไซม์เข้าย่อยสลายวัสดุหมักด้วย นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นตัวกำหนดปริมาณก๊าซในวัสดุหมักด้วย

โดยปกติภายในกองปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิสูง ทำให้น้ำระเหยออกจากกองปุ๋ยหมักตลอดเวลา ถึงแม้ว่าอินทรียวัตถุจะมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดีก็ตาม ดังนั้นจึงต้องเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งความชื้นที่พอดีของกองปุ๋ยหมักควรอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 ซึ่งมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ถ้าความชื้นมากเกินกว่าร้อยละ 80 จะทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป การระบายอากาศไม่ดีจนทำให้เกิดสภาพไร้อากาศ กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ช้าเช่นกัน เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการอากาศหรือต้องการออกซิเจนในการสร้างพลังงาน นอกจากความชื้นมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต และกิจกรรมของจุลินทรีย์ยังมีผลทางอ้อมต่อการระบายอากาศด้วย กล่าวคือถ้าความชื้นมีมากเกินไปการแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักเกิดได้ยากจนทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจน และมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวแล้ว ยังทำให้เกิดการหมักแบบสภาพไม่มีอากาศ เกิดกลิ่นเหม็นในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ระเหยจำพวก มีเทน ฟอสฟีน และไฮโดรซัลไฟด์ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ และมีผลทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารจากวัสดุเศษพืชในระหว่างการทำปุ๋ยหมักด้วย เช่น ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย เป็นต้น (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547) การตรวจสอบความชื้นของกองปุ๋ย สามารถทำได้โดยการบีบเศษวัสดุจากกองปุ๋ยหมัก ถ้าเศษวัสดุเป็นก้อนมีน้ำไหลออกมาเล็กน้อยแสดงว่าความชื้นเหมาะสม แต่ถ้าเศษวัสดุแห้งแตกเป็นชิ้นควรรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2543)

4) การระบายอากาศ

การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมัก เป็นสิ่งที่จำเป็นอีกประการหนึ่งในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอนในกระบวนการหายใจภายในเซลล์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายอากาศเพื่อปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอต่อการเจริญและต่อการย่อยสลายเศษวัสดุต่างๆ ซึ่งในระบบหายใจของจุลินทรีย์นั้นออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นในสภาพที่ออกซิเจนเพียงพอ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองพืชจะมีประสิทธิภาพดี ได้พลังงานจำนวนมากที่เซลล์จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในระบบเมตาโบลิซึม เพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ในการเจริญและดำรงชีพของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์พวกที่ใช้อากาศต้องการออกซิเจนประมาณร้อยละ 5-10 และจุลินทรีย์พวก Mesophilic ต้องการออกซิเจนเพื่อการเจริญเติบโตประมาณร้อยละ 5 การให้ออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักมีหลายปัจจัย เช่น ระยะเวลาของกระบวนการทำปุ๋ยหมัก อุณหภูมิ จำนวนครั้งที่ให้อากาศ ส่วนประกอบของปุ๋ยหมักขนาดของวัสดุและความชื้น (นิสากร วิเวกวินย์, 2546)

การระบายอากาศหรือการเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ย อาจทำได้โดยการพลิกกลับกองปุ๋ย นอกจากมีผลดีในเรื่องการระบายอากาศแล้วยังช่วยคลุกเคล้าเศษวัสดุต่างๆ ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ การกลับกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม ทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและเป็นวิธีการที่ไม่ต้องลงทุนแต่ต้องใช้แรงงานเพิ่ม และพบว่าการกลับกองปุ๋ยหมักอย่างต่อเนื่อง ช่วยเสริมกระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักและทำให้เป็นปุ๋ยเร็วขึ้น นอกจากนั้นการทำช่องระบายอากาศก็เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ย (เอมอร ประจวบมอญ, 2541)

5) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่า pH คือค่าที่บอกถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (H^+) ซึ่งแสดงถึงสภาพความเป็นกรดหรือเป็นด่างของสาร ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์ที่เป็นตัวการในการก่อให้เกิดกิจกรรมเน่าสลายในกองปุ๋ยหมักมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดเจริญเติบโตหรือมีกิจกรรมได้ดีในสภาพเป็นนกรดเป็นด่างต่างๆ กัน โดยทั่วไปจะทำงานได้ดีในสภาพที่เป็นกลางหรือเป็นกรดหรือเป็นเบสเล็กน้อย ถ้าในระหว่าหมัก pH ลดลงแสดงว่ามีปฏิกิริยา Anaerobic เกิดขึ้น ซึ่งเมื่อใดที่กองปุ๋ยหมักเกิดปฏิกิริยา Anaerobic แล้ว การทำให้ปฏิกิริยากลับเป็นแบบ Aaerobic เป็นไปได้ยาก เช่น แบคทีเรียเจริญได้ดีที่พีเอช 6.0-8.0 ส่วนแอนติโนมัยซีสและเชื้อราเจริญได้ดีเมื่อมีสภาพค่อนข้างเป็นกรดพีเอช 4.0-6.0 ซึ่งพีเอชของกองปุ๋ยควรอยู่ตั้งแต่ช่วงที่เป็นกรดอ่อนๆ คือ ระหว่าง 5.5-8.0 หากสูงหรือต่ำกว่านี้การย่อยสลายจะช้าลง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเศษวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักจะมีปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อยไปจนถึงด่างเล็กน้อย ฉะนั้นไม่จำเป็นต้องปรับระดับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษพืชก็สามารถเกิดขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ดีเศษพืชหรือวัสดุที่ผ่านขบวนการของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งอาจจะมีความเป็นกรดเป็นด่างค่อนข้างจัด ควรปรับปฏิกิริยาให้อยู่ในระดับเป็นกลางเสียก่อน (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533)

6) อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุ

เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกความยากหรือง่ายต่อการย่อยสลาย และการใช้เป็นตัวกำหนดระดับการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบรูณ์ กล่าวคือ ถ้าวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมากๆ อัตราการย่อยสลายจะเกิดช้า เนื่องจากความไม่สมดุลของสารประกอบคาร์บอนกับไนโตรเจน ในสภาพเช่นนี้จุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนในรูปแบบต่างๆ เป็นแหล่งของพลังงานและแหล่งของคาร์บอนในการเจริญ ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็ต้องใช้สารประกอบไนโตรเจนด้วย แต่สารประกอบไนโตรเจนมีปริมาณน้อยจึงเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้กิจกรรมในการย่อยสลายเกิดช้า ความสมดุลของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเซลล์จุลินทรีย์อยู่ในช่วงประมาณ 10 ต่อ 1 ถ้าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน เนื่องจากกระบวนการระเหย (ammonia volatilization) การใช้วัสดุมีค่า

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 25 ต่อ 1 ค่อนข้างเหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ใช้เป็นตัวกำหนดการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบรูณ์ คือ 20 ต่อ 1 ซึ่งปุ๋ยหมักดังกล่าวนำไปใส่ในดินจะไม่เกิดผลเสียต่อดินและพืช (เอมอร ประจวบมอญ, 2541) หากกองปุ๋ยหมักมีไนโตรเจนน้อยเกินไปความร้อนจะเกิดขึ้นการสลายตัวจะช้าตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นหลัก เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต หรือปุ๋ยยูเรีย เป็นต้น (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533)

2.10 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช

1) **ธาตุอาหารหลัก** ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการมากที่สุดเพื่อจะนำไปสร้างแป้ง ไขมันและน้ำตาลในต้นพืช พืชไม่เคยขาดธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิดนี้ เพราะพืชสารมารถได้จากน้ำและอากาศ ซึ่งมีธาตุทั้ง 3 นี้เป็นองค์ประกอบธาตุอาหารหลักอีกพวกหนึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซึ่งหน้าที่ของธาตุหลักมีดังนี้

- **ไนโตรเจน** มีหน้าที่เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของโปรตีน คลอโรฟิลล์และสารอื่นอีก โปรตีนสำหรับการแบ่งเซลล์ขยายยืดออกไปขยายใบกิ่งก้านสาขา คลอโรฟิลล์ เป็นสารสีเขียวในใบที่รวมแสงสว่างมาใช้ในการสังเคราะห์แป้งและน้ำตาล ดังนั้นไนโตรเจนซึ่งมีส่วนสร้างน้ำหนักแห้งหรือการเจริญเติบโตของกิ่งก้านสาขาแก่พืช ทำให้พืชไม่ยอมแก่ติดดอกผล ถ้าขาดไนโตรเจนพืชจะแสดงอาการผิดปกติตั้งแต่การทรงต้นจะผอมเกร็ง ไม่อวบอ้วนใบ โดยเฉพาะใบล่างจะเหลืองซีดถ้าขาดมากๆ ทั้งใบบนและใบล่างจะเหลืองซีดเพราะขาดคลอโรฟิลล์ ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไปก้านจะอวบอ้วน ใบสีเขียวจัดใบใหญ่ไม่ยอมแก่ ต้นอาจจะล้มได้ง่ายเพราะน้ำหนักมากและปล้องเปราะ

- **ฟอสฟอรัส** มีหน้าที่สำคัญในส่วนที่มีชีวิตของพืชคือเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่สำคัญในพันธุกรรมของพืช และจุดชีวิตของเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนสำคัญของสารให้พลังงานต่างๆ ในพืชและน้ำย่อย (Enzyme) หลายชนิด สารเหล่านี้แม้ต้องมีอยู่ในปริมาณที่ไม่มากนักมีตามจุดยอดของพืชหรือส่วนที่มีชีวิตที่กำลังเจริญเติบโตทันที โดยเฉพาะการสร้างเมล็ด การติดดอกออกผล ต้องการฟอสฟอรัสมากกว่าปกติ พลังงานในพืชเกิดจากสารเคมีที่พืชสังเคราะห์ขึ้น และสารเหล่านี้ต้องมีฟอสฟอรัสอยู่เสมอ พลังงานจำเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการเพื่อดำรงชีพของพืช เช่น สังเคราะห์สารต่างๆ การขนส่ง การสะสม การขยายเซลล์ การสืบพันธุ์ดังนั้นพืชจะขาดฟอสฟอรัสไม่ได้ไม่ว่าเวลาใดก็ตาม ถ้าพืชมีชีวิตอยู่ ถ้าหากพืชได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ ต้นพืชจะแคระแกน ใบเล็ก บางทีอาจมีสีผิดปกติ บางชนิดมีสีม่วง บางชนิดมีสีเขียว สีของใบไม่ค่อยแน่นอนต่างกันไปตามชนิดของพืช ถ้าหากพืชได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไปไม่เกิดปัญหาใดๆ ต่อการเจริญเติบโต

- **โพแทสเซียม ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของสารใดเลยในพืช แต่ทำหน้าที่เป็นประจุบวกที่กระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยหลายชนิด โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง น้ำตาล และโปรตีน การขนย้ายแป้งและน้ำตาล และทำหน้าที่เดียวกับประจุบวกธาตุอื่นๆ ในการดึงน้ำให้มาสู่พืชมากยิ่งขึ้นและลดความเป็นกรดของกรดอินทรีย์ที่พืชผลิตขึ้นมาถ้าพืชขาดโพแทสเซียม ต้นพืชจะ** แคระแกน แต่แตกกอหรือกิ่งก้านสาขามากต้นล้มง่าย ใบแก่มักมีสีน้ำตาลไหม้หรือไหม้ตามขอบใบ ใบมักจะม้วนจากปลายใบหรือขอบใบก่อนโดยเฉพาะใบล่าง ต้นอ้อยมีไส้กลวงไม่ค่อยแน่นไม่ค่อยมีน้ำตาลสะสมในอ้อย พืชหัวในหัวไม่มีแป้ง แต่ถ้าพืชได้รับโพแทสเซียมมากเกินพอจะไม่เกิดอันตรายต่อผลผลิตหรือคุณภาพของพืช แต่เสียโพแทสเซียมโดยเปล่าประโยชน์เพราะตัดออกไปกับส่วนของพืชที่นำออกไป

2) **ธาตุอาหารรอง** ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เป็นธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณที่ค่อนข้างมาก แต่พืชไม่ค่อยแสดงอาการออกให้เห็นเนื่องจากดินมีปริมาณมากพอและดินมักได้สารอาหารเหล่านี้จากปูนที่ใส่ลงไปสำหรับปรับความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่เสมอ

3) **ธาตุอาหารเสริมหรือจุลธาตุ** ได้แก่ เหล็ก ทองแดง สังกะสี โบรอน แมงกานีส คลอรีน และโมลิบดีนัม เป็นธาตุอาหารเสริมสำหรับพืช ซึ่งพืชต้องการในปริมาณที่น้อย แต่พืชไม่ค่อยแสดงอาการขาดเพราะพืชดูดกลืนไปใช้ในปริมาณน้อย ในดินที่มีอินทรียวัตถุมากขาดธาตุอาหารเหล่านี้แต่ดินที่ปลูกไปนานๆ ก็อาจขาดธาตุนี้ได้เช่นกัน

2.11 การพิจารณาปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้ว

หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้ว ให้สังเกตดังนี้

1) สีของปุ๋ยหมัก มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มหรือดำหากปุ๋ยหมักเป็นสีออกเทาหรือเหลืองจะเป็นปุ๋ยที่มีลักษณะไม่ดีมีธาตุอาหารน้อย

2) ลักษณะโครงสร้างมีโครงสร้างหยาบปานกลางไม่อัดแน่น แต่จะมีลักษณะยุ่ยละเอียดแยกขาดออกจากกันได้ง่าย

3) กลิ่น ไม่มีกลิ่นเหม็นแต่มีกลิ่นคล้ายดินธรรมชาติ แต่ถ้าหากปุ๋ยมีกลิ่นฉุนหรือมีกลิ่นของเศษวัสดุหมักอยู่แสดงว่าการหมักปุ๋ยยังไม่สมบรูณ์

4) ความร้อนในกองปุ๋ยจะลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ

5) การเจริญของพืชบนกองปุ๋ยเมล็ดพืชงอกและเจริญเติบโตบนกองปุ๋ยได้แสดงถึงปุ๋ยหมักสลายตัวอย่างเต็มที่แล้วและสามารถนำไปใช้โดยไม่เป็นอันตรายต่อพืช

6) การวิเคราะห์เคมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักควรเท่ากับหรือน้อยกว่า 20 ต่อ 1 ความชื้นไม่เกิน 35% ปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าอยู่ระหว่าง 30-60% โดยน้ำหนักแห้ง

2.12 มาตรฐานปุ๋ยหมัก

ธาตุอาหารในปุ๋ยหมักจะแปรผันไปตามกระบวนการหมักและความแตกต่างของวัสดุที่ใช้ในการหมักแต่ละครั้ง จึงมีการกำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมัก ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

1) ปริมาณอินทรียวัตถุ อยู่ระหว่าง 25-50 เปอร์เซ็นโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

2) อัตราส่วนสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ต้องไม่มากกว่า 20:1

3) ระดับการนำไฟฟ้า ต้องไม่เกิน 3.5เดซิซีเมน/เมตร

4) ความเป็นกรดด่าง (pH) ประมาณ 5.5-8.5

5) ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ต้องไม่น้อยกว่า 1.0 - 0.5 - 0.5 เปอร์เซ็นโดยน้ำหนักตามลำดับ

6) ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ ของต้องไม่เกิน 35% เปอร์เซ็นโดยน้ำหนัก

7) ต้องมีขนาดผ่านตะแกรงร่อนช่วงสี่เหลี่ยมขนาด 12.5x12.5 มิลลิเมตรได้หมด

8) เศษวัสดุอื่นๆที่ไม่ต้องการ ได้แก่ หิน ดิน ทราย เศษพลาสติก ฯลฯ ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

9) ต้องไม่มีวัสดุอันตรายเช่นเศษแก้ววัสดุแหลมคมและโลหะอื่นๆ ที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้เจือปน

10) ต้องปลอดภัยจากธาตุโลหะหนักและสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม

12.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำขยะอินทรีย์และใบไม้แห้งมาทำเป็นปุ๋ยหมักตามกระบวนการหมักแบบ Aerobic composting โดยวิธีการหมักแบบต่อเชื้อ ซึ่งขยะอินทรีย์ที่นำมาหมักเป็นพวกเศษผักและเศษอาหารในบริเวณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แบ่งการหมักออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ผสมใบไม้แห้งไม้สับและปุ๋ยหมักที่ใช้เป็นต้นเชื้อ ชุดที่ 2 ขยะผสมใบไม้แห้งและปุ๋ยหมัก โดยทำการวิเคราะห์ผลการหมักที่ระยะเวลาหมัก 120 วันและ 150 วัน ทั้ง 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะทำการผลิกกลับกลับทุกๆ 7 วัน 15 วัน และได้ผลิกกลับในระหว่างการหมักจะทำการวัดอุณหภูมิ ออกซิเจน pH และความชื้น จากการศึกษาว่าอุณหภูมิ ในถังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คือ อยู่ในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6-8 เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ความชื้นถูกควบคุมไว้ที่ระดับ 50-60% ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ

จุลินทรีย์เปอร์เซ็นของธาตุอาหารหลัก (NPK) ของปุ๋ยหมักอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (วุทธินันท์ ศิริพงค์, 2540)

ส่วนการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยการใช้เชื้อปุ๋ยหมักเป็นตัวเร่ง มีส่วนผสมระหว่างกากปาล์มกับวัสดุเศษเลือกอื่นๆ โดยการควบคุมความชื้นระหว่าง 60-80 % ทำการวัด pH อุณหภูมิ และความชื้นทุกๆ 3 วันและเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 วัน เพื่อวัดค่าไนโตรเจน คาร์บอน C:N ratio พบว่าหลังการหมัก 50 วัน ปุ๋ยทุกกองสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยค่า C:N ration ต่ำกว่า 20 (ค่ามาตรฐาน) ปุ๋ยหมักที่ได้มีค่า C:N ration ต่ำสุดถึงสูงสุด คือ กากปาล์มอย่างเดียว กากปาล์มผสมน้ำนึ่งปลาทูน่า กากปาล์มผสมปุ๋ยยูเรีย กากปาล์มกับหญ้าขน กากปาล์มกับอ้อย และกากปาล์มกับผักตบชวาโดยได้ค่า C:N ration 10.5 10.6 11.6 12.4 12.5 และ 13.59 ตามลำดับ ปุ๋ยหมักที่ได้มีความชื้นอยู่ระหว่าง 50-70% โดยใช้ระยะเวลาในการหมักสั้น (50วัน) และค่า C:Nration ต่ำกว่าในระดับมาตรฐานและปุ๋ยที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดคือ ปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยกากปาล์มผสมหญ้าขน (บรรเจิด จีนบุญ และมนตรี อินทรมณี, 2542)

และศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเศษวัสดุมาทำเป็นปุ๋ยหมักของกระบวนการหมักตามกระบวนการหมักแบบ Aerobiccompost การหมักแบ่งออกเป็นสองชุด คือ ชุดที่ 1ใบยางพารา+ปุ๋ยคอก+จุลินทรีย์พด.-1+ปุ๋ยยูเรีย ชุดที่ 2 ผักตบชวา+ปุ๋ยคอก+จุลินทรีย์พด.-1+ปุ๋ยยูเรีย โดยทำการวิเคราะห์ผลการหมักเมื่อสิ้นสุดการหมัก หมัก 40 วัน ซึ่งแต่ละชุดจะทำการพลิกกลับทุกๆ 2 วัน ในสัปดาห์แรกจะทำการพลิกกลับทุกๆ 5 วัน ในสัปดาห์ต่อมาในระหว่างการหมักจะทำการวัดอุณหภูมิ ความชื้น pH และ c:n ration จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในการหมักอยู่ในที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คือ อยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้นถูกควบคุมไว้ที่ระดับ 50-60 % ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 5.5-8 เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ **เปอร์เซ็นต์ของธาตุอาหารหลัก (NPK) ของปุ๋ยหมักอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับให้มีค่าดังนี้ ชุดที่ 1 มีค่า 1.87 - 3.25 - 0.35 และชุดที่ 2 มีค่า 2.13 - 4.47- 0.84 (นูรีชา หะแว และคณะ, 2545)**

การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ เศษผัก ผักตบชวาและฟางข้าว พบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 90 วัน พบว่าเศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 44.43 42.85 และ 40.02 ตามลำดับ อุณหภูมิในทุกชุดการทดลองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ความเป็นกรด-ด่างในกองปุ๋ยหมักในช่วง 20 วันแรกของการหมักมีค่าลดลงอยู่ที่ 4.3-5.3 โดยในวันที่ 90 ของการหมักความเป็นกรด-ด่างมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยฟางข้าว ผักตบชวา และเศษผักมีค่าอยู่ในช่วง 7.25-7.56 7.11-7.20 และ 6.75-7.07 ส่วนปริมาณคาร์บอนมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงตลอดระยะเวลาของการหมัก โดยในวันที่ 90 ของการหมักปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วงร้อยละ 30.50-31.15 ปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้น

โดยผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 2.07-3.28 ส่วนเศษผักและฟางข้าวมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 1.64-2.35 และ 0.11-1.77 ตามลำดับ อัตราส่วน C:N ในเวลาของการหมักมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 90 ของการหมัก อัตราส่วน C:N ของผักตบชวามีค่าต่ำที่สุด คือ 11.53 ส่วนฟางข้าวและเศษผักมีอัตราส่วน C:N เท่ากับ 17.57 และ 13.94 ตามลำดับ ปริมาณฟอสเฟตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยเศษผักมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.06-0.08 ส่วนฟางข้าวและผักตบชวามีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.01-0.03 และ 0.01-0.02 ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยฟางข้าวมีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดคืออยู่ในช่วง 0.22-0.53 ส่วนผักตบชวาและเศษผักมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18-0.48 และ 0.17-0.28 ตามลำดับ (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547)

ส่วนการศึกษาผลของอัตราส่วนของเส้นใยปาล์มกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ (1:1, 3:1 และ 5:1) ในการทำปุ๋ยหมักโดยใช้หัวเชื้อพด.1 ปรับความชื้นให้ได้ 50-70 เปอร์เซ็นต์และพีเอชปรับเป็น 7-8 โดยใช้ขี้เถ้าปาล์ม พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของเส้นใยปาล์มและกากตะกอนดีแคนเตอร์เท่ากับ 1:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมและใช้ระยะเวลาในการหมักน้อยที่สุด (40-45 วัน) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงจาก 37.88 เหลือ 17.53:1 อุณหภูมิสูงสุดระหว่างการหมัก 67.5 องศาเซลเซียส ปุ๋ยหมักที่ได้มีความชื้นร้อยละ 48.87 ค่าพีเอช 7.61 และค่า N-P_2O_5-K_2O เท่ากับร้อยละ 2.26-0.86-1.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมัก 60 วัน อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเท่ากับ 26.50 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก (ภานุพงษ์ บางรักษ์ , 2548)

ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกข้าวโพด แกลบ หญ้าแห้ง เพื่อเป็นการนำเศษพืชและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน ใช้วิธีการหมักแบบ Aerobic composting แบบใช้เชื้อจุลินทรีย์ โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุด ถังที่ 1 ผักตบชวา (สูตรควบคุม) ถังที่ 2 ผักตบชวาร่วมกับเปลือกข้าวโพด ถังที่ 3 ผักตบชวาร่วมกับแกลบ ถังที่ 4 ผักตบชวาร่วมกับหญ้าแห้ง โดยทำการวิเคราะห์ผลเมื่อสิ้นสุดการหมัก 35 วัน ในระหว่างการหมักจะทำการตรวจวัด อุณหภูมิ ความชื้น pH และ C:N ratio จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิในถังหมักอยู่ในช่วง 25-35 องศา ซึ่งในช่วงที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปเหมาะแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ความชื้นถูกควบคุมไว้ที่ระดับ 50-60 % ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 5.5-9อยู่ในช่วงที่สามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักได้ C:N ratio ควรมีค่าเท่าหรือต่ำกว่า 20:1 ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แร่ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่เปอร์เซ็นต์ N-P-K ของปุ๋ยหมักอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สูตรที่ (1) 1.40-1.10-0.43 สูตรที่ (2) 1.47 - 1.29-0.63 สูตรที่ (3) 1.89 - 1.08 - 0.10 และสูตรที่ (4) 1.82-1.32-0.78 (นูรีซัน ยีแลมะ และมะสือนี อาบู, 2550)

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 ขอบเขตการวิจัย

3.1.1 การเตรียมวัสดุ

1) ผักตบชวา

ผักตบชวาที่ใช้เก็บจากบริเวณสระน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา โดยทำการเก็บผักตบชวาแล้วนำไปตากแดดเป็นเวลา 7 วัน เพื่อลดความชื้น จากนั้นนำผักตบชวาแห้งที่ได้รวบรวมไว้ไปบดด้วยเครื่องสับบดละเอียด ได้ผักตบชวาที่มีลักษณะดัง**รูปที่ 3.1**

รูปที่ 3.1 ผักตบชวาสับบดละเอียด

2) หญ้าขน

หญ้าขนที่ใช้เก็บจากริมขอบสระในมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาโดยการตัดแล้วนำไปตากแดดเป็นเวลา 7 วันเพื่อลดความชื้น จากนั้นนำหญ้าขนแห้งที่ได้รวบรวมไว้ไปบดด้วยเครื่องสับบดละเอียด ได้หญ้าขนที่มีลักษณะดัง**รูปที่ 3.2**

รูปที่ 3.2 หญ้าขนสับบดละเอียด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

3) ถังหมัก

ถังหมักที่ใช้มีลักษณะเป็นถังพลาสติกที่มีฝาปิดโดยคำนึงข้อจำเป็นดังต่อไปนี้

- ป้องกันกลิ่นได้ดี
- ป้องกันแมลงรบกวนได้ดี
- สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและพลิกกลับกองปุ๋ย

ดังนั้นจึงเลือกให้ถังพลาสติกที่มีฝาปิดขนาด 20 ลิตรโดยนำถังมาเจาะรูให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร รอบถัง เพื่อเป็นช่องให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับปุ๋ยหมักได้ และใช้ตาข่ายไนลอนปิดทับรูระบายอากาศที่เจาะไว้โดยรอบ เพื่อป้องกันแมลงรบกวน (นูรีซัน แลมะ และมะสือนี อาบู) แสดงดัง**รูปที่ 3.3**

รูปที่ 3.3 ถังพลาสติกที่ใช้หมัก

4) มูลไก่

ใช้มูลไก่ที่ไม่มีส่วนผสมของแกลบ เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารและเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายให้แก่กองปุ๋ยหมัก

5) ปุ๋ยยูเรีย

การใส่ปุ๋ยยูเรียจะช่วยให้เศษพืชย่อยสลายตัวได้เร็วขึ้นสำหรับวัสดุที่ย่อยสลายตัวได้ยาก

6) สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์

สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเชื้อจุลินทรีย์ประเภทสารเร่ง พด.-1 ซึ่งผลิตโดยกรมพัฒนาที่ดิน โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสารเร่งนี้จะสามารถช่วยลดระยะเวลาหมักจากประมาณ 3-4 เดือน ลดลงเหลือเพียงประมาณ 1-2 เดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเศษวัสดุที่นำมาทำปุ๋ย

3.1.2 วิธีการทำปุ๋ยหมัก

วิธีการทดลองครั้งนี้จะแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 สูตร แต่ละสูตรประกอบด้วย 3 ถังซึ่งประกอบด้วย

สูตรที่ (1) ผักตบชวา 5 กิโลกรัม มูลไก่ 1 กิโลกรัม ปุ๋ยยูเรีย 0.01 กิโลกรัม และสารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พด.-1 0.0005 กิโลกรัม

สูตรที่ (2) หญ้าขน 5 กิโลกรัม มูลไก่ 1 กิโลกรัม ปุ๋ยยูเรีย 0.01 กิโลกรัม และสารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พด.-1 0.0005กิโลกรัม

สูตรที่ (3) ผักตบชวา 2.5 กิโลกรัม หญ้าขน 2.5 กิโลกรัม มูลไก่ 1 กิโลกรัม ปุ๋ยยูเรีย 0.01 กิโลกรัม และสารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พด.-1 0.0005 กิโลกรัม

การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขนในครั้งนี้ได้ดัดแปลงสูตรปุ๋ยหมักมาจากสูตรของกรมพัฒนาที่ดินซึ่งใช้วัสดุดังนี้

- เศษซากพืช 1000 กิโลกรัม
- มูลสัตว์ 200 กิโลกรัม
- ปุ๋ยยูเรีย 2 กิโลกรัม
- สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พ.ด.-1 100 กรัม

3.1.3 ขั้นตอนการหมัก

1) ทำการเก็บรวบรวมผักตบชวาและหญ้าขนที่มีอยู่ในมหาวิทยาลัย แล้วนำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 7 วัน เพื่อลดความชื้น

2) จากนั้นนำผักตบชวาและหญ้าขนที่ได้ตากไว้ไปบดด้วยเครื่องสับบดละเอียด

3) นำผักตบชวาและหญ้าขนที่ผ่านการสับบดละเอียด ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ข้างต้น นำมาผสมกับมูลไก่ ปุ๋ยยูเรียและสารเร่งจุลินทรีย์ พด.-1 ในอัตราส่วนที่กำหนดไว้ คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วใส่ในถังหมักที่ได้เตรียมไว้

4) นำปุ๋ยหมักไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆ

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) Beaker
2) Burette
3) Erlenmayer Flask
4) Evaporating disher
5) Whatmon No.5
6) Dropper
7) Funnel
8) Greduated cylinder
9) Grass rod
10) Kjeldahl
11) Test tube
12) Volumetric Flask
13) Micro Kjedahl
14) Spectrophotometer
15) Oven
16) Desiccators
17) ถังหมักปุ๋ย
18) จอบ
19) บัวรดน้ำ
20) เครื่องชั่ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

3.2.2 สารเคมี

1) Ammonniumfluorid:NH_4F
2) Ammonniummolybdate$(NH_4)_6MO_7O_{24}.4H_2O$
3) Ammonnium potassium tartrate$C_8H_4K_2O_{12}.3H_2O$
4) Ascorbic acid:$C_6H_8O_6$
5) Boric asit: H_3HO_3
6) Ethanol:C_2H_5OH
7) Ferrous ammonium sufatehaxhydrate : $Fe(NH_4)_2(SO_4.6H_2O)$
8) Hydrochloric asit:HCL
9) Mercurit oxide red:HgO
10) Methlenebiue:$C_{16}H_{18}ClS.2H_2O$
11) Methyl red indicator:$C_{16}H_{18}N_3ClS.2H_2O$
12) Potassium dichromate : K_2Cr_2O
13) Potassium dihydrogenphosphate:KH_2PO_4
14) Potssuimsulfate:K_2SO_4
15) Sodium hydroxide:NaOH
16) Sulfuticacid:H_2SO_4
17) เชื้อ พด.-1
18) ปุ๋ยยูเรีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

3.3 การเก็บตัวอย่าง

วิธีการเก็บรวบรวมตัวอย่างในการทดลอง โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วงเวลาเดียวกันคือ 09.00 น. – 09.30 น. และทำการเก็บตัวอย่างปุ๋ยครั้งละประมาณ 50 กรัมต่อถัง ตลอดระยะเวลาของการหมัก และนำไปวิเคราะห์ผลตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้

3.4 วิธีการวิเคราะห์

วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมักแสดงได้ดัง**ตารางที่ 3.1**

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักในระหว่างการหมักและหลังหมัก

Parameter	ความถี่	วิธีการวิเคราะห์**
ลักษณะทางด้านกายภาพ		
1. อุณหภูมิ	วันละ 1 ครั้ง	Thermometer
2. ความเป็นกรด-ด่าง	วันละ 1 ครั้ง	pH meter
3. ความชื้น	วันละ 1 ครั้ง	Oven-drying method
ลักษณะทางด้านเคมี		
4. คาร์บอน	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	Walkley& Black method
5. ไนโตรเจน	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	TotalKjeldahl method
6. ฟอสฟอรัส	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	Bray No ll method
7. โพแทสเซียม	สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

*ซึ่งรายละเอียดและหลักการวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวกง

** วิเคราะห์ตามมาตรฐาน (Standard Method, 2005)

3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ F-Test (ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (sig > 0.05) ซึ่งรายละเอียดและหลักการอยู่ในภาคผนวก จ

จ
631.8
พ371

บทที่ 4
ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองความเป็นไปได้ในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขน ทำการทดลองโดยหมักในถังพลาสติกซึ่งประกอบด้วย

สูตรที่ (1)	ผักตบชวา + มูลไก่ + ปุ๋ยยูเรีย + สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์พด.-1
สูตรที่ (2)	หญ้าขน + มูลไก่ + ปุ๋ยยูเรีย + สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พด.-1
สูตรที่ (3)	ผักตบชวา+หญ้าขน + มูลไก่ + ปุ๋ยยูเรีย + สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พด.-1

หลังจากนั้นทำการหมักปุ๋ยเป็นเวลา 40 แล้วทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ 2 ลักษณะ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ประกอบด้วย อุณหภูมิความชื้นความเป็นกรด-ด่าง และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งประกอบด้วย อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนและปริมาณธาตุอาหารหลัก(N-P-K)

4.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ

4.1.1 อุณหภูมิ

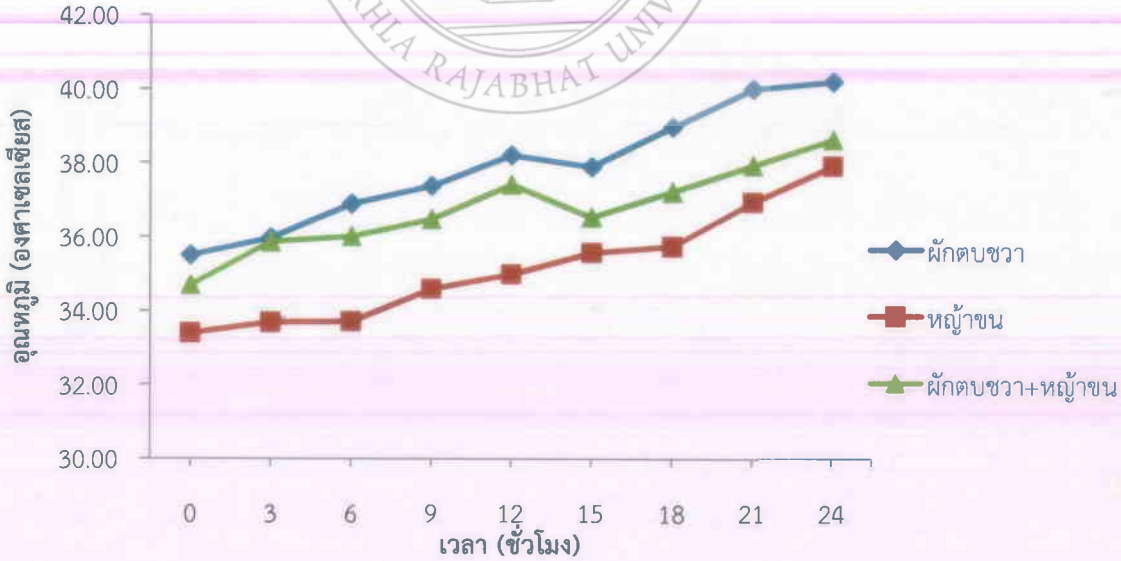
อุณหภูมิ ถือได้ว่าเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของกระบวนการหมักปุ๋ยหมัก เนื่องจากในการหมักจุลินทรีย์มีการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยใช้ออกซิเจน อุณหภูมิเป็นส่วนที่ชี้ให้เห็นว่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมักช้าหรือเร็ว ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและชนิดของจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในการวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิตลอดกระบวนการหมัก โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ วัน จนสิ้นสุดกระบวนการหมักแสดงดัง**ตารางที่ 4.2**และ**รูปที่ 4.2** ส่วนวันแรกของการหมักได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 3 ชั่วโมง ซึ่งค่าเฉลี่ยที่บันทึกได้แสดงใน**ตารางที่ 4.1** และ**รูปที่ 4.1**

ผลจากการวัดอุณหภูมิทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมักอุณหภูมิของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ปุ๋ยหมักจากหญ้าขน และปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน มีอุณหภูมิอยู่ที่ 35.50 33.40และ 35.70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมินี้จะทำให้เกิดจุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิกซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มที่มีอัตราเมตาบอลิซึมสูงในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วหลังจากนั้นอุณหภูมิในถังหมักมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ จากกระบวนการย่อยสลายพบว่าปุ๋ยหมักจากผักตบชวามีอัตราการย่อยสลายเร็วที่สุด รองลงมาเป็นปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนและปุ๋ยหมักจากหญ้าขน

จากการวิเคราะห์อุณหภูมิทางสถิติ สรุปได้ว่าภายในถังหมักของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ปุ๋ยหมักจากหญ้าขน และปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 37.88±1.66 35.14±1.52 และ 36.74±1.18 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อทดสอบความแตกต่างของอุณหภูมิภายในถังหมักทั้ง 3 ชุดพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (P-valve ≤0.05) ดังตารางในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการหมักของวันแรก

อุณหภูมิเฉลี่ย (^{0}C)			
(เวลา) ชั่วโมง	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
0	35.50	33.40	34.70
3	35.97	33.63	35.83
6	36.83	33.70	36.00
9	37.37	34.60	36.47
12	38.20	34.87	37.40
15	37.87	35.57	36.53
18	38.97	35.73	37.23
21	40.00	36.93	37.87
24	40.23	37.80	38.63



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการหมักของวันแรก

ต่อมาได้มีการตรวจวัดอุณหภูมิทุกวันตลอดจนสิ้นสุดกระบวนการหมัก ดังได้แสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ปุ๋ยหมักจากหญ้าขน และปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน มีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ที่ 35.50 33.40 และ33.17 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และอุณหภูมิขึ้นสูงสุดในช่วง 2-3 วักแรก พบว่าปุ๋ยหมักจากผักตบชวามีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 48.07องศาเซลเซียส รองลงมาเป็นปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน และปุ๋ยหมักจากหญ้าขน คือ 46.53 และ 43.47 องศาเซลเซียส ตามลำดับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิในช่วงแรกของการหมักทั้ง 3 ชุด เป็นผลมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ไม่ถูกจำกัด เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นของการหมักมีปริมาณสารอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ประกอบกับปริมาณความชื้นที่เหมาะสมคือร้อยละ 55-60 จึงทำให้กิจกรรมการย่อยสลายได้ดี ส่งผลให้ความร้อนจากกระบวนการเมตาบอลิซึมและอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (นรารัตน์ ไวยเจริญ, 2544) หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ เริ่มลดลงซึ่งทำให้กลุ่มจุลินทรีย์ที่เกิดในช่วงเริ่มต้นการหมักปุ๋ยเริ่มตายและลดจำนวนลง การย่อยสลายจึงเกิดช้าลงจนกระทั่งในช่วงสุดท้ายของการหมักปุ๋ยอุณหภูมิลดลงมาจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ซึ่งอุณหภูมิในช่วงสุดท้ายของการหมักจะค่อนข้างคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนเกือบหมดแล้วอัตราการเกิดเมตาบอลิซึมเกิดขึ้นน้อยมาก เป็นการแสดถึงการเข้าสู่สภาวะเสถียรของการหมักปุ๋ยและได้ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547) จนเมื่อสิ้นสุดการหมักปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ปุ๋ยหมักจากหญ้าขน และปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนมีอุณหภูมิอยู่ที่ 29.95±0.22 30.00±0.35 และ 30.07±0.12องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิลดลงมาใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องซึ่งอยู่ที่ 30.00 องศาเซลเซียส

เมื่อทดสอบความแตกต่างของอุณหภูมิภายในถังหมักของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 (sig > 0.05) ดังตารางในภาคผนวก จ

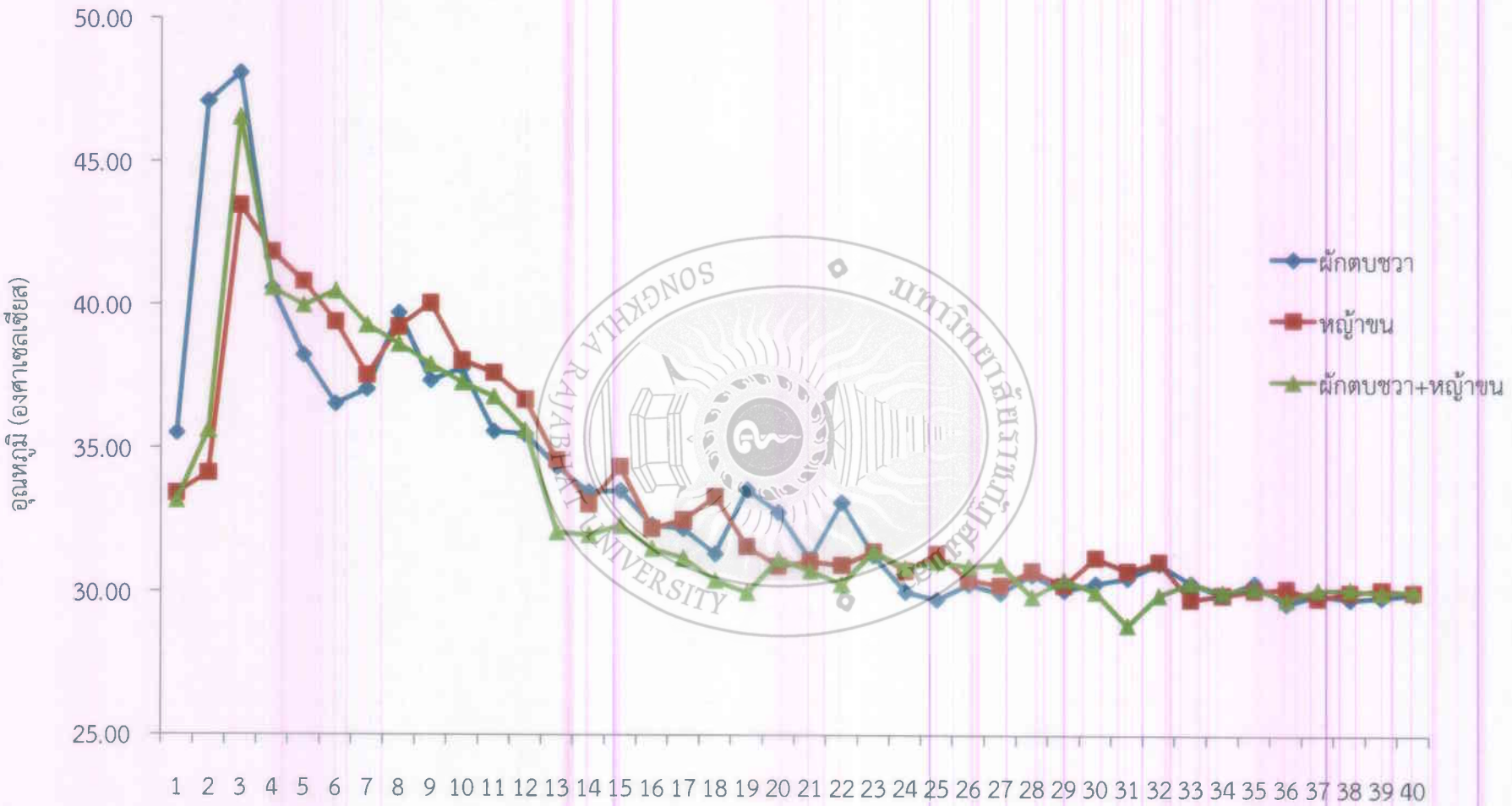
ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการหมัก

วันที่	อุณหภูมิเฉลี่ย(°C)		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
1	35.50	33.40	33.17
2	47.10	34.10	35.60
3	48.07	43.47	46.53
4	40.57	41.83	40.57
5	38.23	40.80	39.97
6	36.53	39.38	40.47
7	37.03	37.53	39.27
8	39.70	39.20	38.60
9	37.33	40.03	37.90
10	37.77	38.03	37.27
11	35.57	37.60	36.77
12	35.47	36.67	35.60
13	34.34	34.57	32.07
14	33.47	33.04	31.97
15	33.50	34.33	32.30
16	32.33	32.20	31.50
17	32.20	32.50	31.17
18	31.33	33.30	30.40
19	33.53	31.57	29.97
20	32.77	30.90	31.13
21	31.13	31.07	30.73
22	33.10	30.93	30.27
23	31.27	31.40	31.40
24	30.00	30.73	30.83
25	29.73	31.33	31.07

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการหมัก (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
26	30.27	30.43	30.90
27	29.97	30.23	30.97
28	30.60	30.74	29.83
29	30.07	30.23	30.43
30	30.30	31.20	30.00
31	30.50	30.73	28.83
32	31.00	31.07	29.90
33	30.33	29.73	30.33
34	29.93	29.90	30.00
35	30.33	30.07	30.17
36	29.60	30.13	29.73
37	29.93	29.80	30.10
38	29.77	30.00	30.10
39	29.83	30.10	30.00
40	29.95	30.00	30.07

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร SAKONNAKHON RAJABHAT UNIVERSITY



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการหมัก

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

4.1.2 ความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการหมักในการกำหนดการเจริญโตของจุลินทรีย์บนพื้นผิวของวัสดุหมัก เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหาร และก๊าซออกซิเจนจากวัสดุหมักและอากาศไปยังจุลินทรีย์ และยังเป็นตัวกลางในการส่งเอนไซม์เข้าย่อยสลายวัสดุหมักด้วย โดยปกติภายในกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงทำให้น้ำระเหยจากกองปุ๋ยตลอดเวลา ถึงแม้ว่าสารอินทรียวัตถุมีคุณสมบัติที่อุ้มน้ำได้ดีก็ตาม ดังนั้นจึงต้องเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้ปริมาณความชื้นมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 50 – 60 โดยน้ำหนัก ซึ่งถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ถ้าความชื้นมากเกินกว่าร้อยละ 80 จะทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533) การทดลองแสดงดังในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุหมักปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน มีค่าเท่ากับร้อยละ 80.37 75.79 และ 80.16 ตามลำดับ จากการทดลองหมักปุ๋ยผ่านไป 1 สัปดาห์พบว่าความชื้นลดลงและตลอดกระบวนการหมักได้ควบคุมให้ความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 50-60 ส่งผลให้การย่อยสลายดำเนินไปได้ด้วยดี เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการดูดซึมสารอาหารและกระบวนการขับถ่ายของเสีย ดังนั้นการควบคุมความชื้นในกระบวนการหมักที่ใช้ทดลองครั้งนี้สามารถควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและเมื่อสิ้นสุดการหมักความชื้นของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน มีความชื้นลดลงร้อยละ 45.18±4.07 34.88±0.52 และ 40.13±0.80 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักจากหญ้าขนมีค่าความชื้นลดลงมากกว่าการชุดลองอื่นๆ ซึ่งการลดลงของปริมาณความชื้นสอดคล้องกับผลของอุณหภูมิในรูปที่ 4.2 เพราะเมื่อความร้อนภายในถังหมักสูงขึ้นทำให้น้ำภายในวัสดุหมักระเหยออกตลอดเวลา รวมถึงหญ้าขนไม่มีคุณสมบัติในการเก็บกักความชื้น จึงทำให้มีปริมาณความชื้นอยู่ในระดับต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ และตรงตามมาตรฐานคุณภาพปุ๋ยหมักซึ่งมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์พ.ศ. 2548 กำหนดว่าปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วควรมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 35 (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

เมื่อทดสอบความแตกต่างของความชื้นภายในถังหมักของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 (P-valve ≤0.05) ดังตารางในภาคผนวก จ

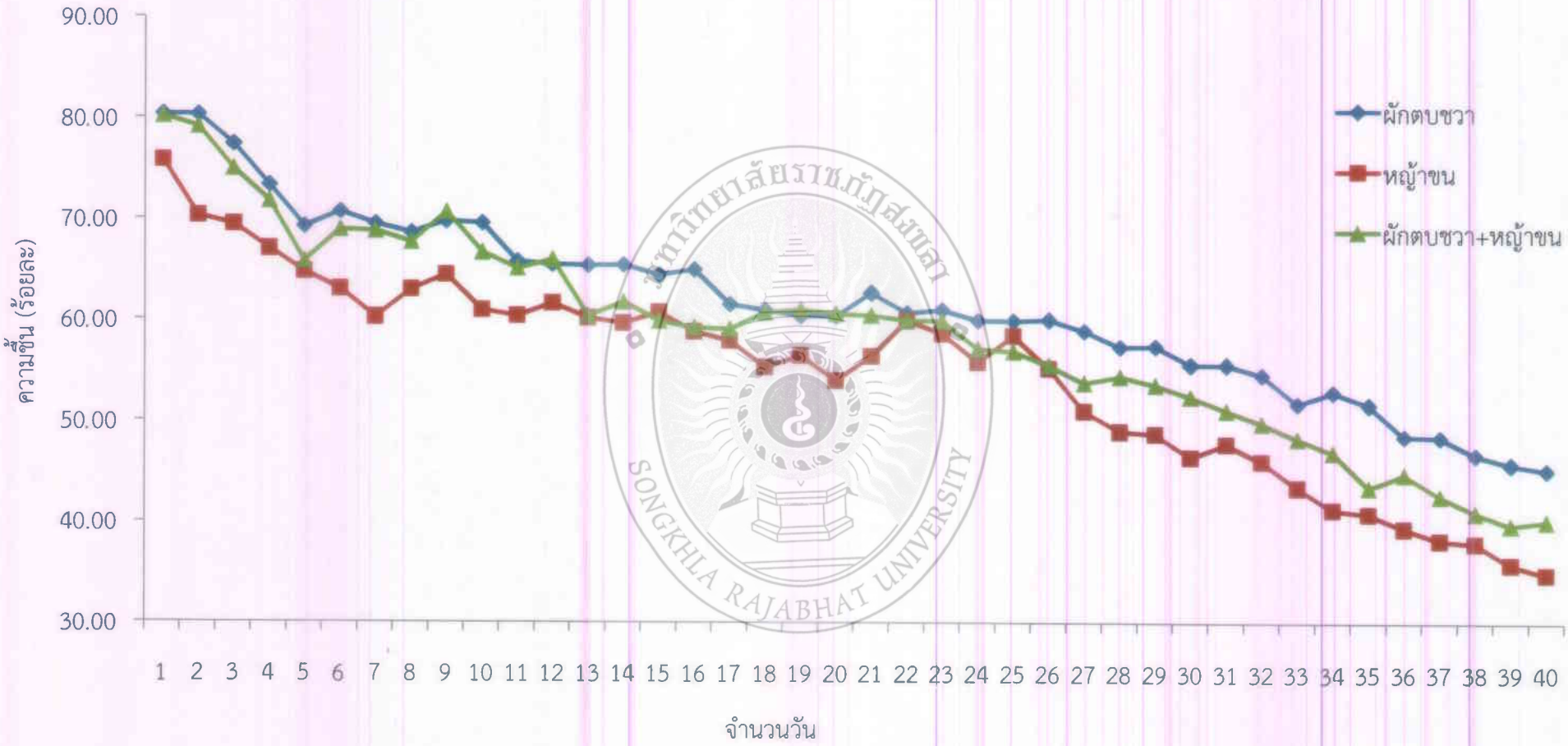
ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นในระหว่างการหมัก

วันที่	ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
1	80.37	75.79	80.16
2	80.34	70.25	79.11
3	77.41	69.38	74.92
4	73.32	66.97	71.68
5	69.21	64.71	65.75
6	70.67	62.96	68.89
7	69.45	60.19	68.72
8	68.58	62.93	67.61
9	69.69	64.38	70.59
10	69.49	60.88	66.61
11	65.75	60.30	65.00
12	65.45	61.58	65.90
13	65.31	60.10	60.29
14	65.40	59.59	61.65
15	64.38	60.69	59.78
16	64.93	58.77	59.17
17	61.48	57.86	59.02
18	60.88	55.26	60.63
19	60.30	56.41	60.94
20	60.32	53.95	60.50
21	62.58	56.34	60.39
22	60.63	59.87	59.90
23	60.94	58.57	59.86
24	59.90	55.79	57.07
25	59.86	58.38	56.80

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นในระหว่างการหมัก (ต่อ)

วันที่	ความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ)		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
26	59.92	55.13	55.47
27	58.86	50.97	53.74
28	57.28	48.96	54.35
29	57.33	48.71	53.52
30	55.48	46.41	52.38
31	55.49	47.71	51.02
32	54.51	45.99	49.75
33	51.70	43.42	48.27
34	52.83	41.27	46.89
35	51.57	40.85	43.43
36	48.52	39.39	44.76
37	48.41	38.22	42.60
38	46.69	37.96	40.97
39	45.71	35.86	39.74
40	45.18	34.88	40.13

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการหมัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี

4.2.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) คือค่าที่บอกถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (H^+) ซึ่งแสดงถึงสภาพความเป็นกรดหรือเป็นด่างของสาร โดยค่า pH จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นตัวการในการก่อให้เกิดกิจกรรมเน่าสลายในปุ๋ยหมักมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดเจริญเติบโตหรือมีกิจกรรมได้ดีในสภาพเป็นกรดเป็นด่างต่างกัน ซึ่งค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ อยู่ในช่วง 6-8 ผลการทดลองแสดงได้ดัง**ตารางที่ 4.4** และ**รูปที่ 4.4** พบว่าในช่วงเริ่มต้นการหมักซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์กำลังปรับตัวเข้าสภาวะสิ่งแวดล้อมจนสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ โดยค่า pH ของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันคือค่า pH ของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน เริ่มต้นเท่ากับ 6.87 7.62 และ 7.22 ตามลำดับ โดย 2-3 วันแรกของการหมักพบว่าค่า pH ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากย่อยสลายอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่ย่อยสลายง่ายจะมีกรดอินทรีย์บางชนิดเกิดขึ้น แต่หลังจากนั้นในช่วงสัปดาห์แรกของการหมักความเป็นกรดเป็นด่างจะค่อยๆ สูงขึ้นอย่างช้าๆ จนอยู่ในระดับระหว่าง 7.7- 8.0 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายจะมีลักษณะเป็นสารที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดด่างที่ดี และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้นทำให้สามารถดูดซับไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการย่อยสลาย จากนั้นค่า pH ค่อนข้างลดลงและคงที่ เนื่องจากปุ๋ยหมักได้เริ่มเข้าสู่สภาวะเสถียรหรือเป็นปุ๋ยหมักที่สมบรูณ์แล้ว (ภานุพงษ์ บางรักษ์, 2548) จนเมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่าค่าpHของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนลดลงเท่ากับ 6.12±0.12 6.04±0.19 และ 6.28±0.12 ตามลำดับ

เมื่อทดสอบความแตกต่างของความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (P-valve >0.05) ดังตารางในภาคผนวก จ

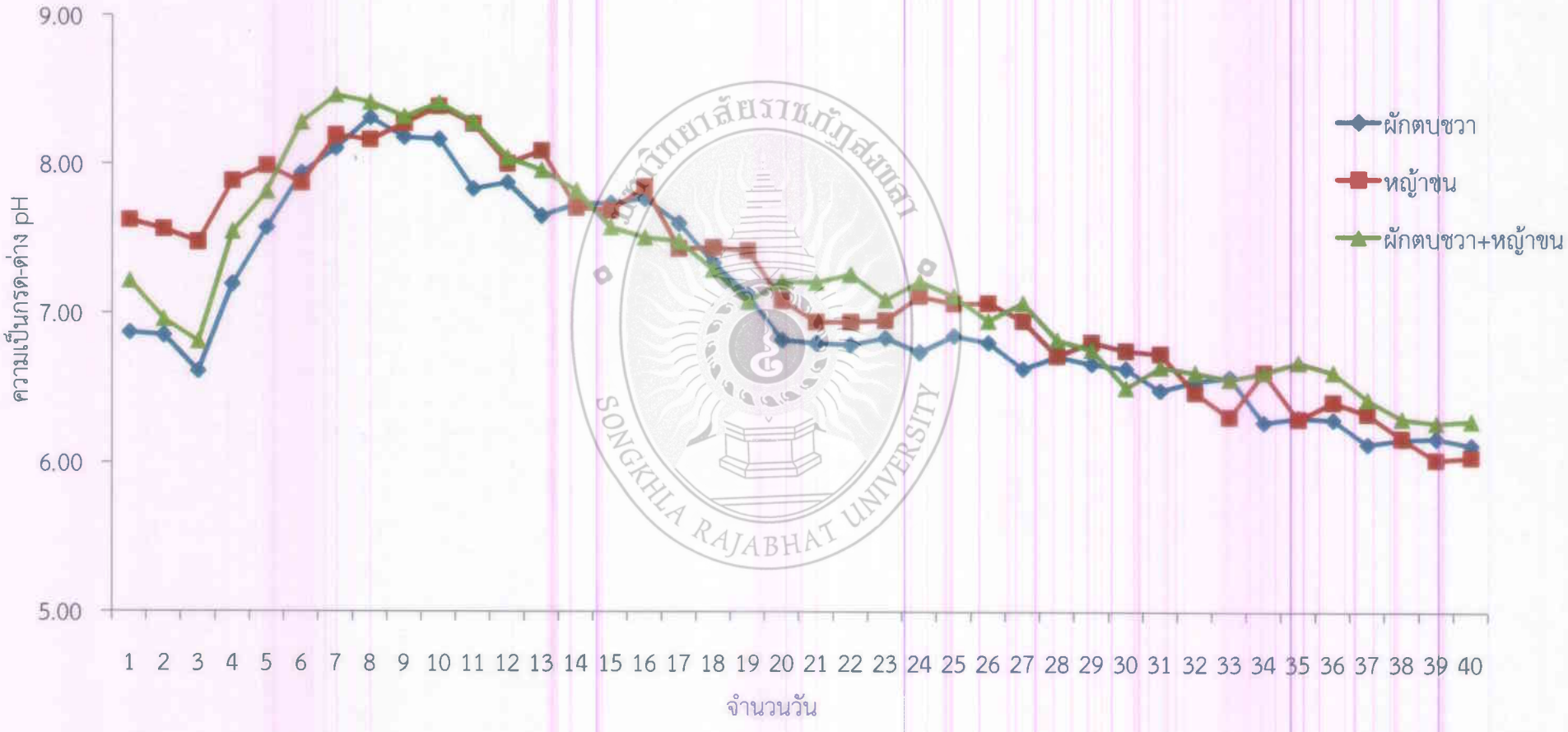
ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระหว่างการหมัก

วันที่	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ย		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
1	6.73	7.62	7.22
2	6.85	7.60	7.29
3	6.88	7.60	7.41
4	7.19	7.89	7.55
5	7.57	7.99	7.81
6	7.87	7.87	8.28
7	8.10	8.19	8.53
8	8.31	8.16	8.41
9	8.18	8.27	8.32
10	7.64	8.38	8.41
11	7.83	8.27	8.28
12	7.65	8.37	8.04
13	7.81	8.40	7.96
14	7.87	8.33	8.25
15	7.77	8.09	7.85
16	7.87	7.81	8.27
17	7.70	7.43	8.28
18	7.47	7.44	8.18
19	6.97	7.58	7.90
20	6.82	7.08	7.86
21	6.80	6.94	7.78
22	6.79	6.94	7.82
23	6.83	6.95	7.57
24	6.74	7.11	7.51
25	6.85	7.06	7.48

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระหว่างการหมัก (ต่อ)

วันที่	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ย		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
26	6.83	7.07	7.29
27	6.44	6.81	7.08
28	6.51	6.99	7.21
29	6.27	6.81	7.21
30	6.63	6.75	7.26
31	6.48	6.73	7.09
32	6.54	6.47	7.21
33	6.31	6.31	7.11
34	6.27	6.60	6.95
35	6.30	6.29	7.07
36	6.29	6.41	6.75
37	6.13	6.33	6.69
38	6.16	6.16	6.62
39	6.16	6.02	6.57
40	6.12	6.04	6.64

สงขลานครินทร์ SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY



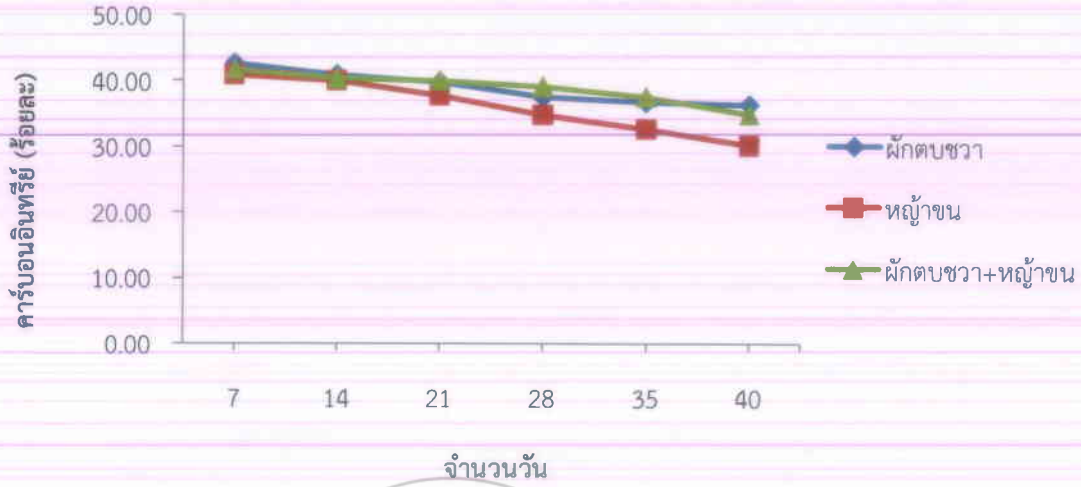
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง pH ในระหว่างการหมัก

4.2.2 ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์

กระบวนการทำปุ๋ยหมักเป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อนำคาร์บอนไปใช้สร้างองค์ประกอบของเซลล์เพื่อเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจึงมีความสำคัญในการเจริญเติบโตและกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์จาก **ตารางที่ 4.5** และ**รูปที่ 4.5** แสดงให้เห็นว่าในช่วงสัปดาห์แรกของการหมัก พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน มีปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 42.59 40.84 และ 41.59 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ก็มีแนวโน้มลดลงทุกสัปดาห์จนเมื่อสิ้นสุดการหมักปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนมีปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 36.37±0.60 30.12±0.25 และ 34.86±0.49 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับซึ่งสาเหตุการลดลงเรื่อยๆ ของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ในปุ๋ยหมักนั้นเป็นผลน่าจะมาจากคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ย่อยสลายสารคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์จนได้โมเลกุลเล็กแล้วจึงนำเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในรูปของความร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์จะลดลงในช่วงเวลาของการหมัก

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ในระหว่างการหมัก

วันที่	ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
7	42.59	40.84	41.59
14	40.77	39.93	40.30
21	39.78	37.72	39.96
28	37.54	34.76	39.07
35	36.70	32.65	37.47
40	36.37	30.12	34.86



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ในระหว่างการหมัก

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่าปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ปุ๋ยหมักจากผักชวา (สูตรควบคุม) ลดลงทุกๆ สัปดาห์ ซึ่งเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่ามีปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 23.14 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตขึ้นใหม่ (นูรีซัน ยีแลมะ และมะสือนี อาบู, 2550)

เมื่อทดสอบความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 (P-valve ≤0.05) ดังตารางในภาคผนวก จ

4.2.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

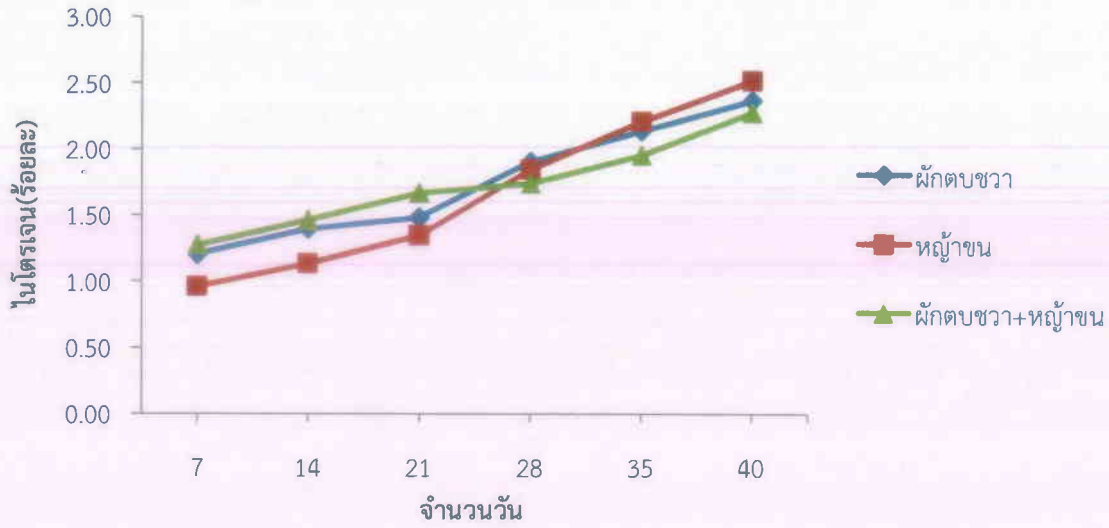
ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ในกระบวนการหมักปริมาณไนโตรเจน (TN) ภายในกองปุ๋ยหมักยังมีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์ใช้ไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ ในระหว่างการหมักปุ๋ยจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดดังที่แสดงใน**ตารางที่ 4.6**และ**รูปที่ 4.6** ผลจากการทดลองพบว่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด โดยน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนเริ่มต้นเท่ากับ 1.20 0.96 และ 1.27 ตามลำดับ จากนั้นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกๆ สัปดาห์ จนเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก 40 วัน ร้อยละไนโตรเจนของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนเท่ากับ 2.37±0.09 2.52±0.15 และ 2.28±0.10 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบการศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่าเมื่อเริ่มต้นการหมัก ปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับผักตบชวา ปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษผัก และปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับฟางข้าว มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละเท่ากับ 2.07 1.64 และ 0.11 ตามลำดับ จากนั้นปริมาณไนโตรเจนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นทุกสัปดาห์ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับผักตบชวา ปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษผัก และปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับฟางข้าว มีไนโตรเจนร้อยละเท่ากับ 2.17 2.18 และ 1.77 (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547) ซึ่งพบว่ามีไนโตรเจนต่ำกว่าปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชนิดที่ผลิตขึ้นใหม่

เมื่อทดสอบความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 (P-valve >0.05) ดังตารางในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระหว่างการหมัก

วันที่	ปริมาณไนโตรเจน(ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
7	1.20	0.96	1.27
17	1.39	1.13	1.46
21	1.48	1.35	1.67
28	1.90	1.84	1.74
35	2.13	2.21	1.95
40	2.37	2.52	2.28



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระหว่างการหมัก

4.2.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

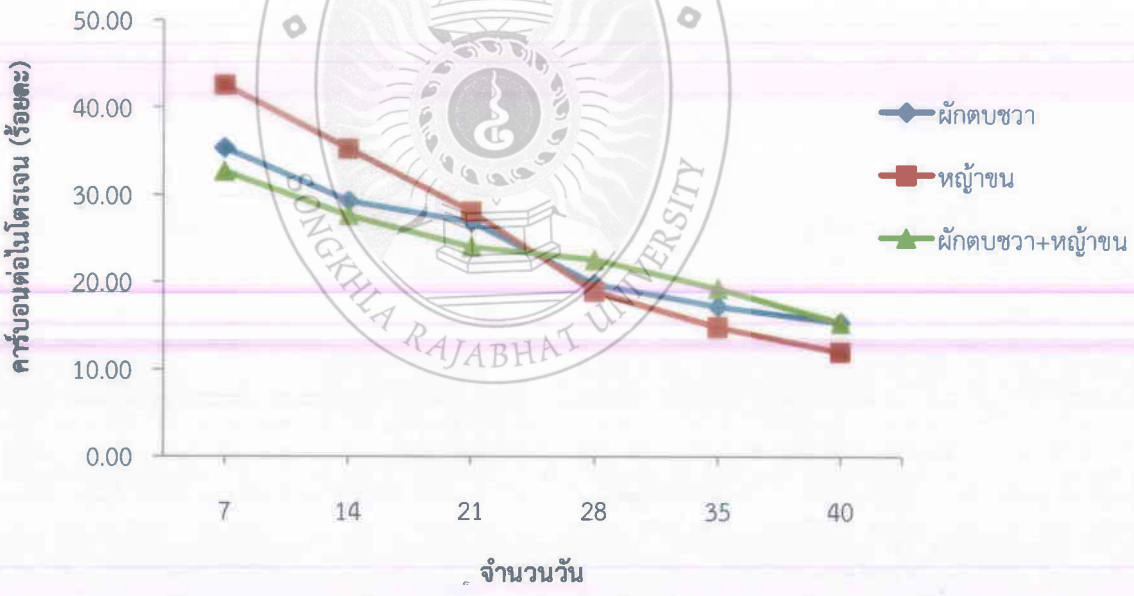
คาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายจะให้พลังงานออกมา ซึ่งจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้นและธาตุไนโตรเจนจะมีความจำเป็นโดยใช้การสังเคราะห์โปรตีนเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 26-35 และ C:N ratio ที่ 20-30 ทำให้อัตราการย่อยสลายเร็วและสามารถนำปุ๋ยดังกล่าวไปใส่ในดินโดยไม่เป็นอันตรายต่อพืชและถ้าค่า C:Nratio ลดลงถึง 20 ถือว่าปุ๋ยนั้นมีคุณภาพดี ผลจากการทดลองดัง**ตารางที่ 4.7**และ**รูปที่ 4.7** พบว่าค่า C:N ratio ของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนมีค่า C:N ratio เมื่อเริ่มต้นการหมักเท่ากับร้อยละ 35.39 42.55และ 32.66 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ จากนั้นค่า C:N ratio มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ และเมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่าปุ๋ยหมักจากหญ้าขนมีค่า C:N ratio ต่ำที่สุด คือ11.97±0.83รองลงมาปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน และปุ๋ยหมักจากผักตบชวามีค่าเท่ากับ 15.31±0.69 และ 15.37±0.48 ตามลำดับ

การที่ค่า C:N ratio มีค่าลดลงในช่วงแรกของการหมัก เนื่องมาจากคาร์บอนอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายจนกระทั่งได้โมเลกุลขนาดเล็กแล้วจึงนำเข้าไปในเซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและส่วนประกอบของเซลล์ สำหรับสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายเช่นกันเพื่อนำไปใช้สร้างส่วนประกอบของเซลล์ ดังนั้นคาร์บอนอินทรีย์จึงลดลงในช่วงระยะเวลาการหมัก อีกทั้งไนโตรเจนก็ถูกจุลินทรีย์ใช้ในการสร้างส่วนประกอบเซลล์ร่วมกับคาร์บอน ซึ่งพบว่าปริมาณไนโตรเจนจะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามช่วงระยะเวลาการหมัก ดังนั้นการลดลงของคาร์บอนและการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนทำให้ค่า C:N ratio ลดลง (ภานุพงศ์ บางรักษ์, 2548)

เมื่อทดสอบความแตกต่างของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองพบว่า ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา และปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (P-valve >0.05) ส่วนปุ๋ยหมักปุ๋ยหมักจากผักตบชวา และปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนมีความแตกต่างกับปุ๋ยหมักจากหญ้าขนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (P-valve ≤ 0.05) ดังตารางในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมัก

วันที่	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
7	35.39	42.55	32.66
14	29.26	35.24	27.60
21	26.88	28.01	23.98
28	19.73	18.86	22.50
35	17.20	14.80	19.21
40	15.37	11.97	15.31



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมัก

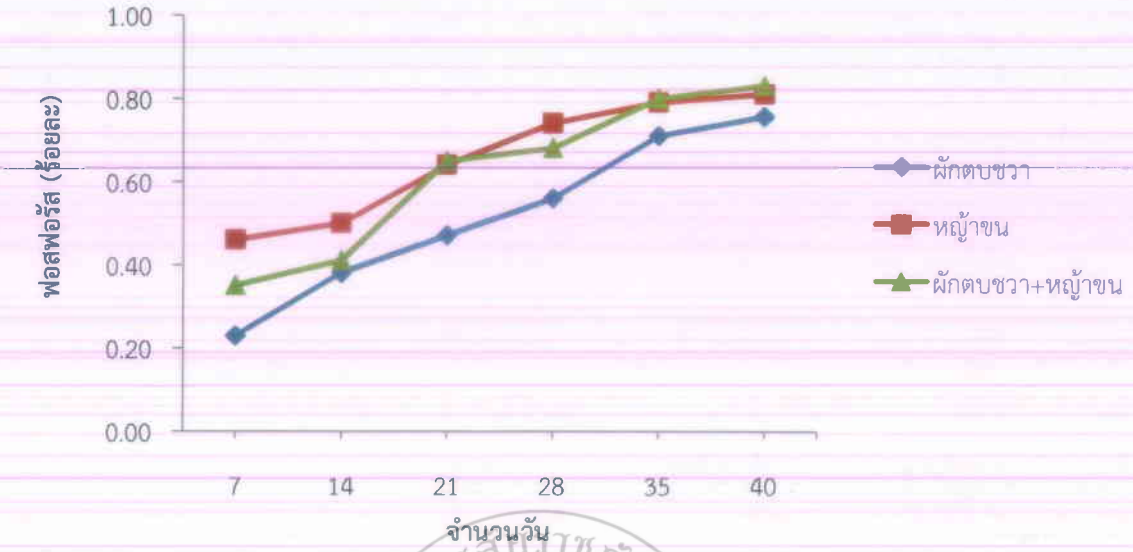
4.2.5 ปริมาณฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส มีหน้าที่สำคัญในส่วนที่มีชีวิตของพืชคือเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่สำคัญในพันธุกรรมของพืช และจุดชีวิตของเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนสำคัญของสารให้พลังงานต่างๆ ในพืชและน้ำย่อย (Enzyme) หลายชนิด โดยในกระบวนการหมักเชื้อจุลินทรีย์จะเป็นตัวกลางที่สำคัญในการเปลี่ยนฟอสฟอรัสที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถสามารถดูดซึมไปใช้ได้ ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) ของทั้ง 3 ชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังจาก**ตารางที่ 4.8** และ**รูปที่ 4.8** ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน เมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าร้อยละ 0.23 0.46 และ 0.35 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับและค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสนี้อาจเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการใช้ฟอสฟอรัสในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ เมื่อสิ้นสุดการหมักปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน มีค่าร้อยละ 0.76±0.06 0.81±0.02 และ 0.83±0.02 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ

เมื่อทดสอบความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (P-valve >0.05) ดังตารางในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.8การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมัก

วันที่	ปริมาณฟอสฟอรัส(ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
7	0.23	0.46	0.35
14	0.38	0.50	0.41
21	0.47	0.64	0.65
28	0.56	0.74	0.68
35	0.71	0.79	0.80
40	0.76	0.81	0.83



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมัก

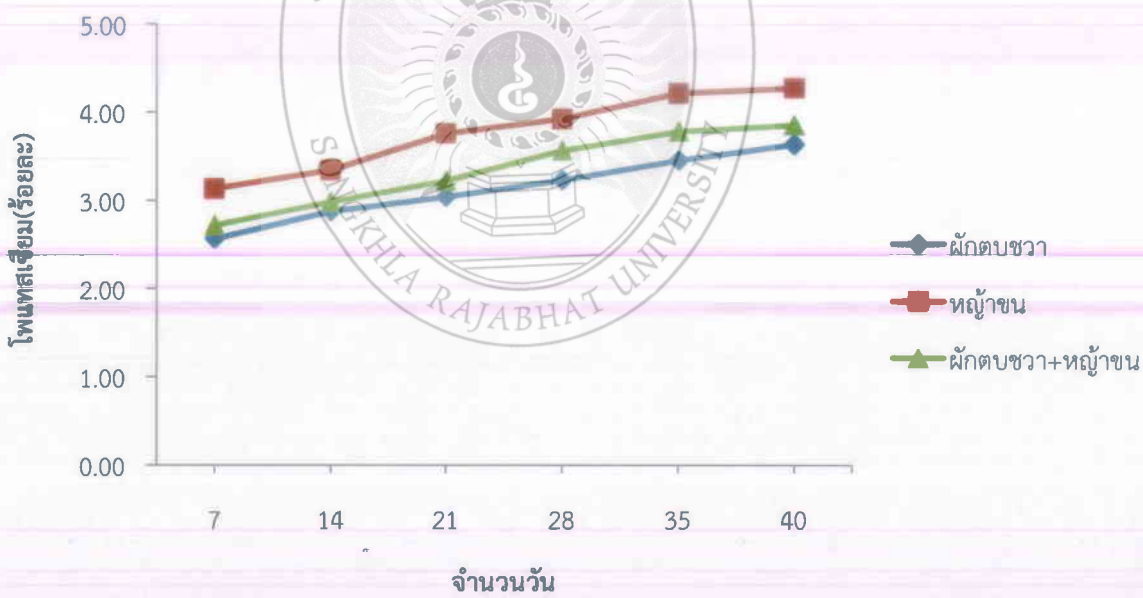
4.2.6 ปริมาณโพแทสเซียม

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่นเดียวกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ทำหน้าที่เป็นประจุบวกที่กระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยหลายชนิด โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง น้ำตาลและโปรตีน การขนย้ายแป้งและน้ำตาล และทำหน้าที่เดียวกับประจุบวกธาตุอื่นๆ ในการดึงน้ำให้มาสู่พืชมากยิ่งขึ้นและลดความเป็นกรดของกรดอินทรีย์ที่พืชผลิตขึ้นมา จากการทดลองพบว่าปริมาณโพแทสเซียม (K_2O) ของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน เมื่อเริ่มต้นการหมักเท่ากับร้อยละ 2.56 3.13 และ 2.71 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังจาก**ตารางที่ 4.9** และ**รูปที่ 4.9** จนเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา หญ้าขน และผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน มีปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับร้อยละ 3.63±0.05 4.27±0.02 และ 3.85±0.02 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปุ๋ยหมักมีปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ลดลง เนื่องจากการถูกย่อยสลายในระหว่างการหมัก จึงทำให้ร้อยละของโพแทสเซียมต่อน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อทดสอบความแตกต่างของปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (P-valve >0.05) ส่วนปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน พบว่ามีความแตกต่างกันกับปุ๋ยหมักจากหญ้าขนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น0.05 (P-valve ≤0.05) ดังตารางในภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมในระหว่างการหมัก

วันที่	ปริมาณโพแทสเซียม(ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)		
	ผักตบชวา	หญ้าขน	ผักตบชวา+หญ้าขน
7	2.56	3.13	2.71
14	2.87	3.34	2.98
21	3.04	3.76	3.22
28	3.23	3.92	3.56
35	3.45	4.21	3.78
40	3.63	4.27	3.85



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมในระหว่างการหมัก

ในการทำปุ๋ยหมักนั้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้ด้วย ดังนั้นคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ปุ๋ยหมักจากหญ้าขน และปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนที่ได้จากการทดลองในระยะเวลาการหมัก 40 แสดงใน<u>ตารางที่ 4.10</u>

ตารางที่ 4.10คุณสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดการหมัก

พารามิเตอร์	*มาตรฐานปุ๋ยหมัก	ชนิดของปุ๋ยหมัก		
		ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา	ปุ๋ยหมักจากหญ้าขน	ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน
ความชื้น(%)	< 35	45.18	34.88	40.13
pH	5.5-8.5	6.12	6.04	6.28
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	< 20:1	15.37:1	11.97:1	15.31:1
ปริมาณธาตุอาหารหลัก(%)โดยน้ำหนัก				
-ไนโตรเจน	> 1%	2.37	2.52	2.28
-ฟอสฟอรัส	> 0.5%	0.76	0.81	0.83
-โพแทสเซียม	> 0.5%	3.63	4.27	3.85

ที่มา: *มาตรฐานปุ๋ยหมักจากกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ปุ๋ยหมักจากหญ้าขน และปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน พบว่ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ความเป็นกรด-ด่างpH และความชื้นของปุ๋ยหมักจากหญ้าขนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนความชื้นของปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นก่อนนำปุ๋ยหมักไปใช้งานจึงควรผึ่งปุ๋ยหมักในแห้งก่อน

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N-P-K) ของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ปุ๋ยหมักจากหญ้าขน และปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน พบว่าการทดลองทุกชุดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (1-0.5-0.5) ซึ่งปุ๋ยหมักจากผักตบชวามีปริมาณธาตุอาหารหลักร้อยละ 2.37-0.76-3.63 ปุ๋ยหมักจากหญ้าขน มีปริมาณธาตุอาหารร้อยละ 2.52-0.81-4.27 และปุ๋ยหมักจากผักตบชวา

ร่วมกับหญ้าขนมี ปริมาณธาตุอาหารร้อยละ 2.28-0.38-3.85 จึงสามารถสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักจากหญ้าขนเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณสมบัติดีที่สุด รองลงมาเป็นปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน ตามลำดับ และจากการสังเกตลักษณะภายนอกของปุ๋ยหมักที่ได้พบว่ามีลักษณะเป็นผง เปื่อยยุ่ย ขาดง่าย มีกลิ่นคล้ายดิน และสีของวัสดุหมักมีสีน้ำตาลเข้ม ดังแสดงลักษณะปุ๋ยที่ได้ใน **รูปที่ 4.10**

(ก) ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา

(ข) ปุ๋ยหมักจากหญ้าขน (ค) ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน

รูปที่ 4.10 ลักษณะของปุ๋ยหมัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.3 ผลของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ได้มีการนำปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ไปใช้ทดสอบการเจริญเติบโตของคะน้า เนื่องจากคะน้าเป็นพืชที่ปลูกง่าย สามารถเจริญเติบโตได้ดีตลอดปีและทุกสภาพอากาศใช้เวลาปลูกไม่มานักก็สามารถเก็บเกี่ยวได้ โดยได้ทำการบันทึกน้ำหนักสด (กรัม)ของคะน้า หลังจากทำการทดลองเป็นเวลา 8 สัปดาห์ซึ่งรายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

- เตรียมดินก่อนหว่านเมล็ดโดยการผสมดินกับปุ๋ยในอัตราส่วน 2:1 คลุกเคล้าให้เข้ากัน
- หว่านเมล็ดให้กระจายทั่วทั้งผิวแปลงโดยให้เมล็ดห่างกันประมาณ 2-3 เซนติเมตร
- รดน้ำให้ทั่วถึงและสม่ำเสมอ ต้นกล้าจะงอกภายใน 7 วัน
- หลังจากต้นคะน้างอกแล้วประมาณ 20 วัน หรือต้นสูงประมาณ 10 เซนติเมตร โดยถอนแยกไปปลูกในถุงพลาสติก
- ปลูกผักคะน้าในถุงพลาสติก 6×12 นิ้ว
- ใส่ดินถุงละ 3 กิโลกรัม 45 ถุง
- ปลูกผักคะน้าถุงละ 1 ต้น
- รดน้ำวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น
- ใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ครั้งละ 10 กรัม คือ ใส่หลังย้ายต้นกล้าลงถุง (20 วัน) และหลังจากย้ายต้นกล้าแล้ว (30 วัน)
- ทำการบันทึกน้ำหนักสด (กรัม) ของคะน้า

จากการศึกษาผลของปุ๋ยหมักต่อความเจริญเติบโตของคะน้า ซึ่งได้นำปุ๋ยหมักแต่ละสูตรมาใช้ปลูกคะน้าและทำการบันทึกน้ำหนักสดของคะน้า หลังจากทำการปลูกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักในสูตรที่ (2) หญ้าขน จะให้น้ำหนักมากกว่าสูตรอื่นๆ แสดงได้ดัง**ตารางที่ 4.11**

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) ของคะน้า

ผลของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า	
สูตร	**น้ำหนักสด (กรัม) ± sd**
(1) ผักตบชวา	97.24± 0.31
(2) หญ้าขน	97.38± 0.42
(3) ผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน	97.31± 0.19

4.4 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตน้ำหมักชีวภาพกับราคาผลผลิต

การศึกษาต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตร ได้วิเคราะห์จากราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตรเท่ากันอยู่ที่ 2.4 บาท/กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.12.1

ตารางที่ 4.12.1 ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตร

ส่วนประกอบ	ปุ๋ยหมักสูตรที่(1)		ปุ๋ยหมักสูตรที่(2)		ปุ๋ยหมักสูตรที่(3)	
	ปริมาณที่ใช้	ราคา	ปริมาณที่ใช้	ราคา	ปริมาณที่ใช้	ราคา
ผักตบชวา(kg)*	5	-	-	-	2.5	-
หญ้าขน(kg)*	-	-	5	-	2.5	-
มูลไก่(kg)	1	2	1	2	1	2
ปุ๋ยยูเรีย(kg)	0.01	0.4	0.01	0.4	0.01	0.4
สารเร่งพด.-1(kg)**	0.005	-	0.005	-	0.005	-
รวมราคา (B/kg)		2.4		2.4		2.4

หมายเหตุ *ผักตบชวาและหญ้าขนเก็บในมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

**สารเร่งพด.1 ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาที่ดิน เขต 12 จังหวัดสงขลา

สำหรับการศึกษานี้ได้ทดลองปลูกต้นคะน้า 3 ชุดการทดลอง และในการใส่ปุ๋ยคะน้าแต่ละชุดจะทำการปลูกคะน้า 15 ต้น ใส่ปุ๋ยครั้งละประมาณ 450 กรัม คิดเป็นราคาปุ๋ยหมักที่ใช้เท่ากับ 1.08 บาท

กำหนด ราคาผักคะน้าที่ขายในท้องตลาด 40 บาท/กิโลกรัม ณ วันนี้ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 (ตลาดคลองแงะ) เมื่อเปรียบเทียบราคาผลผลิตที่ได้จากน้ำหนักสดของคะน้าจะพบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองให้น้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ราคาที่ได้จึงไม่แตกต่างกันมากนักแสดงได้ดัง**ตารางที่ 4.12.2**

ตารางที่ 4.12.2 การเปรียบเทียบราคาผลผลิตที่ได้จากการใช้ปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตร

ชุดการทดลอง	น้ำหนักผักคะน้า (กก.)	ราคาต่อหน่วย (บาท/กก.)	ราคาผักสุทธิ (บาท)	ราคาปุ๋ยหมัก (บาท)	ราคารวม (บาท)
สูตรที่ (1) ผักตบชวา	0.09724	40	3.8896	2.4	6.2896
สูตรที่ (2) หญ้าขน	0.09738	40	3.38952	2.4	6.2952
สูตรที่ (3) ผักตบชวา+หญ้าขน	0.0931	40	3.8924	2.4	6.2924

สาเหตุที่คะน้าทั้ง 3 ชุดการทดลองมีน้ำหนักสดที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตร มีธาตุโพแทสเซียมสูงกว่าธาตุอื่น เมื่อนำไปทดลองปลูกคะน้าซึ่งคะน้าเป็นพืชที่ต้องการธาตุไนโตรเจนสูงในการเจริญโต และปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชุดการทดลองก็มีธาตุไนโตรเจนใกล้เคียง ผลของน้ำหนักสดที่ได้จึงใกล้เคียงกัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขน โดยการหมักแบบ Aerobic Compostiong ใช้จุลินทรีย์ พด.-1 เป็นสารเร่ง พบว่าการนำพืชอย่างผักตบชวาและวัชพืชอย่างหญ้าขนมาใช้ประโยชน์มีความเป็นไปได้ และเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยเพราะปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ในการทดลองในครั้งนี้ได้มีการศึกษาถึงปัจจัยในการหมัก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N ratio) และแร่ธาตุอาหารหลัก (N-P-K) ซึ่งจากการทดลองได้นำผักตบชวา และหญ้าขน มาทำการหมักปุ๋ย โดยเปรียบเทียบกับสูตรทั้ง 3 สูตร และนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน สรุปได้ดังนี้

สูตรที่ (1) ผักตบชวา

อุณหภูมิเริ่มต้นมีค่า 35.50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิจะลดลงจนถึงสิ้นสุดการหมักมีอุณหภูมิเท่ากับ 29.95 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง จากการวัดความชื้นของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ความชื้นเริ่มต้นที่วัดได้มีค่า 80.37 ซึ่งมีความชื้นสูงจึงได้มีการควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือมีค่า 50-60 % เมื่อสิ้นสุดการหมักความชื้นมีค่าเท่ากับ 45.18 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าอยู่ในช่วง 6-8.3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) เท่ากับ 15.37 และเมื่อสิ้นสุดการหมักได้วิเคราะห์ค่า (N-P-K) ค่าที่เฉลี่ยได้เท่ากับ 2.37-0.76-3.63

สูตรที่ (2) หญ้าขน

อุณหภูมิเริ่มต้นมีค่า 33.40 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดต่ำลงอุณหภูมิที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 30.00 องศาเซลเซียส เป็นค่าของอุณหภูมิที่อยู่ในช่วง 32-33 องศาเซลเซียส ความชื้นเริ่มต้นมีค่า 75.79 ซึ่งเป็นค่าความชื้นมีค่าสูง จากการทดลองได้มีการควบคุมให้อยู่ในช่วง 50-60% ความชื้นจึงมีค่าลดลงเท่ากับ 34.88 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) มีค่าสูงประมาณ 6-8.5 ค่า C:N ratio จากการทดลองซึ่งมีค่า 11.97 และแร่ธาตุอาหารหลัก มีการวิเคราะห์หาค่า (N-P-K) ค่าที่ได้เท่ากับ ร้อยละ 2.52-0.81-4.27

สูตรที่ (3) ผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน

อุณหภูมิเริ่มต้นมีค่าถึง 33.70 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการหมักอุณหภูมิจะลดลงเท่ากับ 30.07 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม 32.33 องศาเซลเซียส ความชื้นเริ่มต้นมีค่า 80.16 ซึ่งเป็นค่าความชื้นสูงกว่าเกณฑ์จึงมีการควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือมีค่า 50-60%

เมื่อสิ้นสุดการหมักความชื้นมีค่าเท่ากับ 40.13 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) มีค่าอยู่ในเกณฑ์ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ได้ค่า (C/N ratio) ซึ่งมีค่า 15.31 และแร่ธาตุอาหารหลัก ได้มีการวิเคราะห์ (N-P-K) ที่ได้ทำการวิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 2.28 0.83 และ 3.85

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาผลการทดสอบคุณภาพของปุ๋ยหมัก พบว่าปุ๋ยหมักจากสูตรหญ้าขน มีปริมาณธาตุอาหารหลัก (N-P-K) มากที่สุด รองลงมาคือ ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน และปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ตามลำดับปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตร มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยหมักจากกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่าปุ๋ยหมักจากผักตบชวา และปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน ยังคงมีความชื้นที่สูงอยู่เป็นเพราะผักตบชวามีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำ จึงทำให้ปุ๋ยหมักยังคงมีความชื้นสูง สำหรับปุ๋ยหมักที่มีความชื้นสูงนั้นก็ไม่ส่งผลกระทบต่อการหมักแต่อย่างใด เนื่องจากวัสดุหมักเข้าสู่สภาวะเสถียรแล้ว ควรนำไปผึ่งลมหรือตากแดดให้แห้งก่อนนำไปใช้งาน และเมื่อนำปุ๋ยที่ผลิตได้ไปทดสอบความเจริญเติบโตของคะน้า พบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) ของคะน้าในสูตรหญ้าขนซึ่งเป็นสูตรที่ดีที่สุด ให้มีน้ำหนักมากว่าสูตรอื่นๆ แต่ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตรมีธาตุโพแทสเซียมสูงกว่าธาตุอื่น เมื่อนำไปทดลองปลูกคะน้า ผลของน้ำหนักสดที่ได้จึงใกล้เคียงกัน เนื่องจากคะน้าเป็นพืชที่ต้องการธาตุไนโตรเจนสูง และธาตุไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ก็มีใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นถ้านำปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตรไปทดลองปลูกพืชใบก็จะให้ผลในลักษณะเดียวกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผักตบชวาและหญ้าขนเพื่อเป็นการพัฒนาให้ปุ๋ยหมักสูตรนี้มีคุณสมบัติดีขึ้นเนื่องจากในการทดลองครั้งนี้พบว่าปุ๋ยหมักจากหญ้าขนเพียงอย่าเดียวให้ปริมาณธาตุอาหารหลักมากกว่าปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขน

2. ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ที่ยังคงมีความชื้นสูงอยู่ ควรนำไปผึ่งลมหรือตากแดดให้แห้งก่อนนำไปใช้งาน

3. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรนำปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ไปทดลองความเจริญเติบโตของพืชประเภทหัว เนื่องจากพืชเหล่านี้เป็นพืชที่ต้องการธาตุโพแทสเซียมสูง

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. 2551. **การจัดการอินทรียวัตถุ เพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ : เอกสารเผยแพร่กรมพัฒนาที่ดิน

กรมวิชาการเกษตร. 2557. **ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีที่สำคัญ ปี 2551-2555** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.oae.go.th/download/FactorOfproduct/Fertilizer_value49-54.html. (28 ธันวาคม 2557)

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2531. **การประเมินประสิทธิภาพการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์เร่งปุ๋ยหมัก.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัชฎาพร องอาจ. 2550. **การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในการย่อยสลายปุ๋ยหมัก.** สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ดวงพร สุวรรณกุล. 2544. **วัชพืชในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 440 หน้า

พิทยากร ลิ่มทอง. 2533. การปรับปรุงบำรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสด. **คู่มือการปรับปรุงบำรุงดินและการใช้ปุ๋ย.** กรุงเทพฯ : ศูนย์การพิมพ์มลชัย.

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. 2542. **ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ : เพื่อการปรับปรุงดินโดยวิธีเกษตรธรรมชาติ.** กรุงเทพฯ

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. 2551. **เกษตรธรรมชาติ.** กรุงเทพฯ

ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. 2547. **การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทางเกษตร.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

ธงชัย มาลา. 2550. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยหมักชีวภาพเทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพมหานคร

นภารัตน์ ไวยเจริญ. 2544. **การทำปุ๋ยหมักของมูลฝอยจากตลาดสดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่จังหวัดสงขลา.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

นิติ เหมพัฒน์. 2553. **รูปแบบถังหมักปุ๋ยสำหรับขยะอินทรีย์จากบ้านเรือน.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

นิสากร วิเวกวินย์. 2546. **อิทธิพลของการเติมของการเติมหัวเชื่อ และ/หรือ การเติมอากาศต่อการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาตร์ชีวภาพ มหาวิทยาลัยบรูพา

นูรัซัน ยีแลมี และมะสือนี อาบู. 2550. **ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.** สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

นูรีซา หะแว และคณะ. 2545. **การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักที่ทำจากใบยางพาราและผักตบชวา.** สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

บรรเจิด จีนบุญ และ มนตรี อินทรมณี. 2542. **การทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.** รายงานวิจัย. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ภานุพงศ์ บางรักษ์. 2548. **การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานน้ำมันปาล์มผสมน้ำหมักของ *Rhodobactactor capsulatus* SS3 และการใช้ในการปลูกผักบุ้งและต้นหอม** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์. 2548. **ข้อกำหนดมาตรฐานทางวิชาการปุ๋ยอินทรีย์(Q).** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.gotoknow.org/posts/383838. (28 มีนาคม 2556)

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. **ปุ๋ยอินทรีย์.** กรุงเทพฯ : สายธุรกิจโรงพิมพ์.

วุทธินันท์ ศิริพงศ์. 2540. **การทำปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้แห้งและขยะ.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. 2533. **ปุ๋ยหมัก.** กรุเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 1-67

เศวต ปั้นโต. 2549. **เกษตรธรรมชาติ.** เชียงราย : มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

เสาวนิตย์ แดงทองดี และ สุรางค์รัตน์ พนแสง. 2549. **การศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษผัก.** มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

อนุกรมวิธานพืช (หมวด ข). **หญ้าขน** ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=63078. (28 มีนาคม 2556)

เอมอร ประจวบมอญ. 2541. **การศึกษาบทบาทของจุลินทรีย์ในอีเอ็มต่อการทำหัวเชื้อปุ๋ยหมัก.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

คุณสมบัติตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

ประกาศ ณ วันที่ 2 มิถุนายน 2548 ดังนี้

ตารางที่ ก-1ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่น้อยกว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5 – 8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20 : 1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC : Electrical	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
9	Conductivity)	-ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0
10	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - ฟอสฟอรัส (total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - โพแทสเซียม (total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
11	ปริมาณเกลือ (NaC1)	ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์
12	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ไม่
13	สารหนู (Arsenic)	เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
14	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลิกรัม/กิโลกรัม
15	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลิกรัม/กิโลกรัม
16	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลิกรัม/กิโลกรัม
17	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลิกรัม/กิโลกรัม
18	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลิกรัม/กิโลกรัม

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

ภาพประกอบการวิจัย

รูปที่ ข-1 ผักตบชวาตากแห้ง

รูปที่ ข-2 หญ้าขนตากแห้ง

รูปที่ ข-3 นำวัสดุเข้าเครื่องสับละเอียด

รูปที่ ข-4 ผักตบชวาสับละเอียด

รูปที่ ข-5 หญ้าขนสับละเอียด

รูปที่ ข-6 เติมผสมส่วนที่กำหนด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

รูปที่ ข-7 คลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน

รูปที่ ข-8 ถังหมักสูตรที่ (1) ผักตบชวา

รูปที่ ข-9 ถังหมักสูตรที่ (2) หญ้าขน

รูปที่ ข-10 ถังหมักสูตรที่ (3) ผักตบชวา+หญ้าขน

รูปที่ ข-11 วิเคราะห์อุณหภูมิ

รูปที่ ข-12 วิเคราะห์ค่า pH

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

รูปที่ ข-13 วิเคราะห์ค่าคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์

รูปที่ ข-14 วิเคราะห์ค่าไนโตรเจน

รูปที่ ข-14 วิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัส

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

รูปที่ ข-14 ต้นอ่อนคะน้า

รูปที่ ข-15 ย้ายลงถุงในถุงปลูก

รูปที่ ข-16 ชั่งน้ำหนักสด

รูปที่ ข-17คะน้าจากปุ๋ยหมักสูตร (1) ตักตบชวา

รูปที่ ข-18 คะน้าจากปุ๋ยหมักสูตร (2) หญ้าขน

รูปที่ ข-19คะน้าจากปุ๋ยหมักสูตร (3) ตักตบชวาร่วมกับหญ้าขน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์

วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ

การวิเคราะห์ความชื้น

อุปกรณ์

1. Moisture can
2. ตู้อบ
3. เครื่องชั่ง

วิธีการ

1 .นำ Moisture cans ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง โดยขณะอบให้ปิดฝา

2. นำ Moisture can ที่อบแล้ว ปิดฝา ใส่ Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น
3. ชั่งน้ำหนัก Moisture can บันทึกน้ำหนัก
4. ชั่งตัวอย่างจำนวน 2-3 กรัม ใส่ Moisture can
5. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง
6. นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นใน Desiccator ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล

การคำนวณ

ร้อยละความชื้น = (น้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยก่อนอบ – น้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยหลังอบ)*100/
น้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยก่อนอบ

วิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี

การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. แท่งแก้วคน
3. pH meter

วิธีการ

ชั่งตัวอย่างดิน 20 g. เติมน้ำกลั่นลงไป 50 ml. คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ วัดค่า pH ด้วย pH Mete

การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

สารเคมี

1. สารละลาย $HgSo_4$: ละลาย HgO(red) 8 g. ใน H_2SO_4 6 N. ปริมาตร 100 ml.

2. Digestion Reagent : ละลาย K_2SO_4 134 g. ในน้ำกลั่น 650 ml. เติม conc.H_2SO_4 200 ml.คนให้เข้ากัน และเติมสารละลาย $HgSO_4$ 25 ml.ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการตกผลึก

3. Absorbent Solution เลือกใช้ Indicating Boric Acid Soluion เตรียมโดยละลาย Boric Acid 40 g. ในน้ำร้อน 700 ml. ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเทลงในขวดปรับปริมาตร 1,000 ml.ที่มี Ethanol 100 ml. และ Mixed Indicator 50 ml. เมื่อผสมเข้ากันแล้วค่อยๆ เติม 0.1 N. NaOH จนกระทั่งได้สีม่วง ซึ่งได้สีม่วง ซึ่งค่า pH ของสารละลายนี้จะอยู่ประมาณ 4.7-4.9 (ใช้สารละลาย 1 ml.รวมกับน้ำกลั่น 1 ml. สีม่วงแดงของสารละลาย จะเปลี่ยนเป็นสีเขียว ถ้าสีไม่เปลี่ยนต้องเติม 0.1 N. NaOH อีก) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

4. Mixed Indication : ละลายmethyl Red Indicator 200g. ในEthyl Alcohol 95% 100 ml. ละลาย Methylene /blue 100 mg. ใน Ethyl Alcohol 95% 50 ml. แล้วผสมสารละลายชนิดนี้เข้าด้วยกัน สารละลายนี้ควรเตรียมทุกๆเดือน

5. Borate Buffer Solution: นำ NaOH 0.1 mole/L จำนวน 88 ml. เติมลงใน $Na_2B_4O_7$ 500 ml. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml. (สารละลาย $Na_2B_4O_7$ เตรียมโดยนำ $Na_2B_4O_7$ 5 g. ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนได้ 1 ml.)

6. สารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.01 mole/L

7. NaOH 6 mole/L : ละลาย NaOH 240 g. ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 L

วิธีวิเคราะห์

1. Digestion

ชั่งตัวอย่างดิน 0.5-1.0 g. ลงใน Micro Kjeldahl flask เติม Digestion Reagent 50 ml. ลงในหลอด Kjeldahl นำเข้าเครื่องย่อย ตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 345-371 องศาเซลเซียส ย่อยจนกระทั่งได้สารละลายใส ปิดเครื่องและปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

2. Distilltion

เติมสารละลาย NaOH ประมาณ 50 ml. ทำการกลั่นโดยให้ส่วนที่กลั่นออกมาผ่านหลอดแก้วที่จุ่มอยู่ในสารละลาย Absorbent Solution 25 ml. นำมาหาแอมโมเนียโดยวิธีไทเทรต ด้วยสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.01 mole/L

การคำนวณ %ไนโตรเจน = (A-B)*C*0.014*100/น้ำหนักดิน

A=ml ของกรด HCl ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง

B=ml ของกรด HCl ที่ใช้ไทเทรตกับ Blank

C=ความเข้มข้นของกรด HCl

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง
2. เครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์
3. ปิเปตปรับปริมาตร ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร
4. กระดาษกรองวัตแมน
5. ขวดปรับปริมาตร

สารเคมี

1. น้ำยาสกัดเบรย์ทู: ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) 1.1112 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน ประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก 8.1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

2. น้ำยาทำให้เกิดสี:

2.1 สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 3% น้ำหนักโดยปริมาตร: ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 15 กรัม ในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถันลงไป 140 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็นและปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

2.2 สารละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรต 0.1% w/V : ละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรต 0.50 กรัม ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

2.3 สารละลายกรดบอริก 5% w/v : ละลายกรดบอริก 25 กรัม ในน้ำร้อน 450 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

เวลาใช้ให้ผสมสารละลายในข้อ 2.1, 2.2, 2.3 และน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:1:3:10 โดยปริมาตร

3. สารละลายกรดแอสคอร์บิก 0.5% w/v ละลายกรดแอสคอร์บิก 0.5 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้ไม่ควรเก็บไว้เกินสองวัน

4. สารละลายมาตรฐานของฟอสฟอรัส

4.1 **สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร: ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสฟอรัส ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ** 80 องศาเซลเซียสอย่างน้อย 3 ชั่วโมง มา 4.3937 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4.2 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4.3 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0,1,2,3,4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร : ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 0,1,2,3,4 และ 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรโดยใช้น้ำยาเบรย์ทูเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

ปฏิบัติการ

1. การสกัดฟอสฟอรัสจากดิน

1.1 ชั่งดิน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่

1.2 เติมน้ำยาเบรย์ทู 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วยมือ 1 นาที

1.3 กรองผ่านกระดาษกรอง เก็บสารที่กรองได้ ไว้วิเคราะห์ฟอสฟอรัส

2. การทำให้เกิดสี

2.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสเข้มข้น 0, 1,2,3,4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารสกัดจากดินในข้อ 1 มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

2.2 เติมน้ำยาทำให้เกิดสี และสารละลายกรดแอสคอร์บิกลงไปอย่างละ 1 มิลลิลิตร ซึ่งจะมีสีน้ำเงินเกิดขึ้น จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป 2 มิลลิลิตร เขย่าและปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาจนสมบูรณ์โดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที

3. การวัดความเข้มสี

3.1 เปิดอุ่นเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ประมาณ 15 นาที

3.2 ปรับให้เครื่องการอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร

3.3 วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสตามลำดับความเข้มข้น แล้วจึงวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

คำนวณ

Avai.P(ppm) = ปริมาณน้ำยาBray no.II ที่ใช้สกัด (มล.) x ปริมาณขวดที่ใช้เจือจาง (มล.) x ปริมาณ P ที่อ่านจากกราฟ(ppm.)/น้ำหนักดินที่ใช้สกัด (กรัม) x ปริมาตรสิ่งสกัดที่นำมาเจือจาง

การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุในดิน

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งความละเอียด 0.001 กรัม

2. ขวดรูปชมพู่ขนาด (Erlenmeyer flask) 250 มิลลิลิตร

3. บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มิลลิเมตร

4. โวลลุมเมทริกปิเปต (Volumetric pipet)ขนาด 10 มิลลิลิตร

5. กระบอกตวง (Measuming cylinder) ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. โพเทสเซียมไดโครเมต 0.167 โมลาร์ (1 นอร์มอล) : ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate : $K_2Cr_2O_7$) (ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง) 49.04 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. เฟอรัสแอมโมเนียซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต ($(NH_4)_2(SO_46H_2O)$) 196.07 กรัม ในน้ำร้อนที่ปราศจากไอออนประมาณ 400 ml วางให้เย็นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 15 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

3. กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid) เข้มข้นอย่างน้อย 96% (96-98%w/v H_2SO_4)

4. เฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator) ละลายฟีนัททาลีนโมโนไฮเดรต (1, 10 O-Phenantroline monchydate) 1.485 กรัมในน้ำที่ปราศจากไอออน และเติม FAS 1 โมลาร์ 8 มิลลิลิตร ก่อนปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร

ปฏิบัติการ

1. ชั่งดิน 1.00 กรัม (หากเป็นดินอินทรีย์ควรใช้ 0.10 กรัม) ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml

2. ปิเปตโพเทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร เติมลงในขวดและแกว่งให้ผสมเข้ากับดิน ในขั้นนี้ให้ทำแบลงค์ (blank) โดยเติมโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ไม่มีดินด้วย

3. นำไปเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ภายใต้ตู้ดูดควันโดยค่อยๆเทกรดลงข้างขวดและทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วหยดเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ลงไป 3-4 หยด แกว่งให้เข้ากัน

5. นำไปไทเทรตด้วย FAS (ควรไทเทรตแบลงค์ก่อน) จนกระทั่งถึงจุดยุติ โดยสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีน้ำตาล บันทึกปริมาตร FAS ที่ใช้

การคำนวณ $$Oc(\%)=[(\text{ml } K_2Cr_2O_7 \times NK_2Cr_2O_7)-(\text{ml } FeSO_4)]\times 0.003\times \frac{100}{\text{wwt.of soil(g)}}\times \frac{100}{77}$$

ภาคผนวก ง

ค่าสถิติที่ทดสอบ

ตารางที่ ง-1 ค่าสถิติที่ทดสอบ

ANOVA					
		Sum of Squares	df	F	Sig.
อุณหภูมิของวันแรก	Between Groups	11.34	2	983.54	0.00
	Within Groups	0.04	6		
	Total	11.38	8		
อุณหภูมิทั้งหมด	Between Groups	0.02	2	0.16	0.85
	Within Groups	0.37	6		
	Total	0.39	8		
ความชื้น	Between Groups	159.26	2	13.66	0.01
	Within Groups	34.99	6		
	Total	194.25	8		
(pH)	Between Groups	0.09	2	2.05	0.21
	Within Groups	0.13	6		
	Total	0.23	8		
คาร์บอนอินทรีย์	Between Groups	63.81	2	145.40	8.26E-06
	Within Groups	1.32	6		
	Total	65.13	8		
ไนโตรเจน	Between Groups	0.09	2	3.27	0.11
	Within Groups	0.08	6		
	Total	0.17	8		
C:N ratio	Between Groups	22.54	2	24.38	0.00
	Within Groups	2.78	6		
	Total	25.31	8		
ฟอสฟอรัส	Between Groups	0.01	2	3.53	0.10
	Within Groups	0.01	6		
	Total	0.02	8		
โพแทสเซียม	Between Groups	0.63	2	329.69	7.33E-07
	Within Groups	0.01	6		
	Total	0.64	8		

ตารางที่ ง-1 ค่าสถิติที่ทดสอบ (ต่อ)

Multiple Comparisons Scheffe.						
พารามิเตอร์	(I)ชุดการทดลอง	(J)ชุดการทดลอง	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
อุณหภูมิของวันแรก	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	2.75	0.00	2.55	2.95
		ชุดที่ 3	1.26	0.00	1.06	1.46
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	-2.73	0.00	-2.95	-2.55
		ชุดที่ 3	-1.49	0.00	-1.68	-1.29
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	-1.26	0.00	-1.46	-1.10
		ชุดที่ 2	1.49	0.00	1.29	1.69
อุณหภูมิทั้งหมด	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	0.05	0.97	-0.69	0.60
		ชุดที่ 3	-0.11	0.86	-0.76	0.54
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	0.05	0.97	-0.60	0.69
		ชุดที่ 3	-0.07	0.95	-0.72	0.58
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	0.11	0.86	-0.54	0.76
		ชุดที่ 2	0.07	0.95	-0.58	0.72
ความชื้น	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	10.30	0.01	3.98	16.63
		ชุดที่ 3	5.05	0.11	-1.28	11.37
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	-10.30	0.01	-16.63	-3.98
		ชุดที่ 3	-5.25	0.10	-11.58	1.07
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	-5. 05	0.10	-11.37	1.273
		ชุดที่ 2	5.25	0.09	-1.07	11.58
pH	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	0.08	0.80	-0.31	0.48
		ชุดที่ 3	-0.16	0.47	-0.55	0.23
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	-0.08	0.80	-0.48	0.31
		ชุดที่ 3	-0.24	0.22	-0.64	0.15
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	0.16	0.47	-0.23	0.55
		ชุดที่ 2	0.24	0.22	-0.15	0.64

ตารางที่ ง-1 ค่าสถิติที่ทดสอบ (ต่อ)

Multiple Comparisons Scheffe.						
พารามิเตอร์	(I)ชุดการทดลอง	(J)ชุดการทดลอง	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
คาร์บอน	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	6.25	1.06E-05	5.02	7.48
		ชุดที่ 3	1.51	0.021474	0.28	2.74
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	-6.25	1.06E-05	-7.48	-5.02
		ชุดที่ 3	-4.74	5.31E-05	-5.97	-3.51
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	-1.51	0.02	-2.74	-0.28
		ชุดที่ 2	4.74	5.31E-05	3.51	5.97
ไนโตรเจน	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	-0.15	0.35	-0.46	0.15
		ชุดที่ 3	0.09	0.66	-0.21	0.39
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	0.15	0.35	-0.15	0.45
		ชุดที่ 3	0.24	0.11	-0.06	0.54
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	-0.09	0.66	-0.39	0.21
		ชุดที่ 2	-0.24	0.11	-0.54	0.06
C:N ratio	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	3.39	0.00	1.61	5.17
		ชุดที่ 3	0.06	0.99	-1.72	1.84
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	-3.39	0.00	-5.17	-1.61
		ชุดที่ 3	-3.33	0.00	-5.11	-1.55
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	-0.06	0.99	-1.84	1.7
		ชุดที่ 2	3.33	0.00	1.55	5.12
ฟอสฟอรัส	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	-0.057	0.23	-0.15	0.04
		ชุดที่ 3	-0.07	0.11	-0.17	0.02
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	0.06	0.23	-0.04	0.15
		ชุดที่ 3	-0.02	0.85	-0.11	0.08
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	0.07	0.11	-0.02	0.17
		ชุดที่ 2	0.02	0.85	-0.08	0.11

ตารางที่ ง-1 ค่าสถิติที่ทดสอบ (ต่อ)

Multiple Comparisons Scheffe.						
พารามิเตอร์	(I)ชุดการทดลอง	(J)ชุดการทดลอง	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
โพแทสเซียม	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	-0.64	8.15E-07	-0.72	-0.56
		ชุดที่ 3	-0.21	0.00	-0.29	-0.13
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	0.64	8.15E-07	0.56	0.72
		ชุดที่ 3	0.42	9.11E-06	0.34	0.50

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

แบบเสนอโครงร่างวิจัย

1. **ชื่อโครงการ**

ภาษาไทย การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขน

ภาษาอังกฤษ The Potentiality Studies of Making Compost from Water Hyacinth and Paragrass.

2. **สาขาวิชา**วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)

3. **ชื่อผู้วิจัย**

นางสาว นิลาวรรณ ธรฤทธิ์ รหัส 534291013
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

นางสาว สุชาดา วิใจ รหัส 534291037
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

4. **คณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยเฉพาะทาง**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

5. **ความสำคัญและที่มาของการวิจัย**

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งเป็นแหล่งปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญหลายชนิด แต่ปัจจุบันการปลูกพืชมีต้นทุนสูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยหรือยากำจัดศัตรูพืชซึ่งนับวันยิ่งมีราคาที่สูงขึ้น โดยเฉพาะปุ๋ยจัดเป็นต้นทุนหนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะเป็นอาหารของพืชที่สำคัญมาก โดยเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยเคมีกับต้นพืช จึงทำให้ราคาปุ๋ยเคมีที่จำหน่ายในท้องตลาดมีราคาค่อนข้างสูง จากการสำรวจพบว่าในปี พ.ศ.2555 ที่ผ่านมาประเทศไทยมีการใช้ปุ๋ยเคมีประมาณ 5,583,276 ตัน โดยมีมูลค่าถึง 83,947 ล้านบาท ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี (กรมวิชาการเกษตร, 2555)

การใช้ปุ๋ยหมักแทนปุ๋ยเคมีนั้นถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนการใช้สารเคมีของเกษตรกรได้กรมพัฒนาที่ดินจึงได้ส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตปุ๋ยหมักใช้เอง ไม่ว่าจะเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จากโรงงานอุตสาหกรรม จากบ้านเรือน หรือวัชพืช เช่น ผักตบชวาก็สามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อใช้ปรับปรุงบำรุงดินให้เกิดประโยชน์ในการเพิ่มผลผลิตของพืชทางเกษตร จากการศึกษาผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีรากฝอยจำนวนมากสามารถดูดเอาแร่ธาตุอาหารพืชที่มาปะปนอยู่กับตะกอนไว้ในส่วนต่างๆของลำต้น ดังนั้นเมื่อสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักก็จะให้แร่ธาตุอาหารพืชสูงมากไปด้วย (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533)

วัชพืช นับว่าเป็นศัตรูอย่างหนึ่งของพืชปลูก เนื่องจากวัชพืชเป็นต้นไม้มีชีวิตเช่นเดียวกับพืชปลูก ฉะนั้นย่อมต้องการปุ๋ย น้ำ แสงสว่าง เพื่อการเจริญเติบโตเช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อวัชพืชมาแย่งสิ่งเหล่านี้จากพืชที่ปลูก ย่อมทำให้พืชที่ปลูกได้ปุ๋ยและน้ำน้อยลง ไม่เจริญเติบโต ทำให้ผลิตผลไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้แล้ว วัชพืชยังเป็นที่อาศัยของโรคและแมลงอีกด้วย (ดวงพร สุวรรณกุล, 2544) หญ้าขน จัดเป็นวัชพืชชนิดหนึ่งที่สามารถขยายพันธุ์โดยสามารถใช้ส่วนต่างๆ นอกเหนือจากเมล็ด ดังนั้นหญ้าขนจึงมีการขยายพันธุ์และเติบโตได้อย่างรวดเร็วซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง หากนำหญ้าขนเหล่านั้นมาทำเป็นปุ๋ยหมักจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกร โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีมาใช้ (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2547) กล่าวว่าการใช้ปุ๋ยเคมีในจำนวนมากและเป็นเวลาจะทำให้ดินเสื่อมคุณภาพได้ แต่หากใช้ปุ๋ยหมักจะช่วยลดปัญหาต่างๆได้มาก และเป็นการปรับปรุงดินให้ดีขึ้นได้อีกด้วย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจนำผักตบชวาและหญ้าขนมาใช้เป็นวัสดุที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก และเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีในปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขนเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก

6. วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผักตบชวาและหญ้าขนในการผลิตปุ๋ยหมัก

2) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและหญ้าขนกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก

7. สมมติฐาน

ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับหญ้าขนจะมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่มากกว่าปุ๋ยหมักจากวัสดุอย่างใดอย่างหนึ่งและเหมาะสมตามค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก

8. ตัวแปร

ตัวแปรต้น	ผักตบชวา และหญ้าขน
ตัวแปรตาม	ปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมัก
ตัวแปรควบคุม	ระยะเวลาในการหมักวิธีการหมัก

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผักตบชวาและหญ้าในการทำปุ๋ยหมัก

2) เป็นทางเลือกในการนำผักตบชวาและหญ้าขนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านเกษตรกรรมและสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร

3) ช่วยลดปัญหาสภาพดินเสื่อมจากการใช้ปุ๋ยเคมีในด้านการเกษตร

10. **นิยามศัพท์**

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ทำขึ้นโดยเลียนแบบธรรมชาติในป่า ได้จากเศษพืช มูลสัตว์มากองรวมกันแล้วเกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย มีสีน้ำตาลดำที่เรียกว่า ฮิวมัส มีสมบัติในการปรับปรุงดิน เพิ่มความพรุนให้แก่ดิน ทำให้การระบายน้ำและอากาศในดินดีขึ้น ช่วยให้ดินอุ้มน้ำและช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช ช่วยทำให้พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโตและส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ได้ดี (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2547)

ผักตบชวา หมายถึง พืชที่ลอยอยู่บนผิวน้ำหรือบนดินชื้นแฉะ มีอายุข้ามปี ลำต้นสั้น ใบแผ่รอบต้น ใบมีลักษณะกลม หรือรูปไข่ ปลายมน ใบอาจจะมีขนาดใหญ่หรือเล็ก และก้านอาจจะสั้นหรือยาว ขึ้นอยู่กับสภาพความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่นั้น กลางก้านใบไปถึงโคนใบจะพองออก ภายในมีลักษณะฟ่ามคล้ายฟองน้ำ แพร่พันธุ์โดยเมล็ด หรือแตกต้นอ่อนใหม่แล้วแยกหลุดจากต้นเดิม เมล็ดจะยังฝังตามดินในหน้าแล้ง เมื่อได้รับความชื้นจะงอกเจริญเติบโตเป็นต้นอีก ผักตบชวาจัดเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว และขยายพันธุ์ได้ทุกฤดูกาล (ดวงพร สุวรรณกุล, 2544)

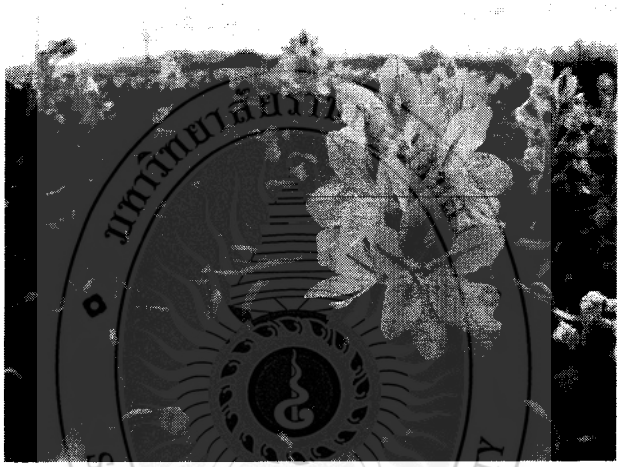
หญ้าขนหมายถึง หญ้าสะเทินน้ำสะเทินบกซึ่งมีอายุหลายปี มีเถาเลื้อยลำต้นกลวง ใบเป็นรูปหอกปลายแหลม มีขนขาวๆ ปกคลุมขอบใบและแผ่นหลังใบ มีดอกเป็นช่อขึ้นที่ส่วนยอดเมื่อหญ้าเริ่มแก่ แพร่กระจายด้วยเมล็ด และการแตกไหลออกรากตามข้อ มีการเจริญเติบโตเป็นกอ ชอบขึ้นตามดินแฉะ ชายตลิ่งหรือที่ริมน้ำ มีไหลเลื้อยทอดไปตามดินหรือน้ำ เช่น หนองน้ำ คูร่องสวน บริเวณที่นาและน้ำท่วมขัง (ดวงพร สุวรรณกุล, 2544)

11. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

11.1 ผักตบชวา

ผักตบชวามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า (Eichhornia crassipes) เป็นพืชที่เจริญอยู่บนผิวน้ำ จัดเป็นประเภทลอยน้ำ โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้น จึงถูกกระแสลมน้ำพัดพาไปได้ไกล แต่ถ้าน้ำตื้นแล้วรากจะหยั่งยึดติดกับพื้นได้ ลักษณะทรงต้นประกอบด้วยกลุ่มของใบเรียงกันเป็นกระจุก ในต้นหนึ่งๆจะมีใบตั้งแต่สองใบขึ้นไป ที่โคนก้านใบจะมีกาบใบ (sheath) ลักษณะเป็นเยื่อบางๆสีขาวแกมเขียวอ่อนๆ แต่เมื่ออายุมาขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล บริเวณกาบใบเป็นสีน้ำตาลแกมม่วงจะเชื่อมติดต่อกันโดยมีไหล (stolon) ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำ ช่วยในการขยายปริมาณผักตบชวาให้เพิ่มขึ้น ต้นหนึ่งๆของผักตบชวาจะมีไหลแตกออกไปได้หลายอัน เมื่อไหลแตกออกไปแล้วก็เจริญขึ้นเป็นต้นใหม่ แต่ยังติดกับต้นเดิมอยู่และเกิดเป็นกอขึ้นพร้อมทั้งมีรากเกิดขึ้น รากของผักตบชวาเป็นรากฝอย (fibrous root) คือ มีรากย่อยๆ เป็นกระจุก รากที่แทงออกจะมีลักษณะอวบสีขาว เมื่อขาวอายุมากขึ้นจึงจะมีรากขนอ่อน (root hair) ที่มีสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อแก่รากขนนี้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

แก่จนถึงสีดำ ซึ่งความยาวของรากจะแตกต่างกันไป ความยาวของรากจะแตกต่างกันไป ใบของผักตบชวาจะเรียงกันอย่างดี ทำให้แต่ละใบรับแสงแดดเต็มที่เพื่อปรุงอาหารอย่างมีประสิทธิ การที่ต้นลอยอยู่ในน้ำช่วยให้หมดปัญหาในเรื่องการดูดน้ำเพื่อหล่อเลี้ยงต้น โดยทั่วไปในน้ำส่วนใหญ่มักจะมีธาตุอาหารอยู่สมบรูณ์ ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของผักตบชวาซึ่งมีระบบรากที่แผ่กระจายและดูดแร่ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อแพผักตบชวาลอยอยู่ในน้ำ คลื่น ลม และกระแสน้ำจะทำให้ไหลขาดออกจากกันไปเป็นส่วนย่อยๆโดยล่องลอยไปตามน้ำระหว่างนั้นแต่ละส่วนก็จะเพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดพื้นที่น้ำนั้นๆ ก็เต็มไปด้วยผักตบชวาขึ้นเต็มจนแน่น



รูปที่ 1ผักตบชวา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

11.2 หญ้าขน

หญ้าขน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Brachiaria mutica เป็นหญ้าสะเทิ้นน้ำสะเทิ้นบก และจัดเป็นวัชพืชข้ามปี คือวัชพืชที่มีการขยายพันธุ์โดยสามารถใช้ส่วนต่างๆ นอกเหนือจากเมล็ด เช่น ส่วนของลำต้น ราก เหง้า ไหล หรือลำต้นสะสมอาหารอยู่ในดิน เมื่อถูกตัดหรือกำจัดส่วนที่อยู่เหนือดินแล้ว จะไม่ตายแต่จะสามารถเจริญเติบโตและแตกต้นใหม่จากส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ใต้ดินได้ ลักษณะทั่วไป คือ มีเถาเลื้อยลำต้นกลวง สูงยาวประมาณ 2 เมตร ใบเป็นรูปหอกปลายแหลมมีขนขาวๆ ปกคลุมขอบใบและแผ่นหลังใบ โดยใบมีความยาวประมาณ 10–20 ซม. และกว้าง 1- 2 ซม. ที่บริเวณข้อของก้านก็มีขนขาวๆเช่นกัน มีดอกเป็นช่อที่ส่วนยอดเมื่อหญ้าเริ่มแก่ มีก้านช่อดอกยาว ช่อดอกย่อยมี 10-20 ช่อ สีเขียวคล้ำปนดำ ดอกพองเนื่องจากติดเมล็ดได้ดี จะแพร่กระจายด้วยเมล็ด และการแตกไหลออกรากตามข้อมีการเจริญเติบโตเป็นกอชอบขึ้นตามดินแฉะ ชายตลิ่งหรือที่ริมน้ำ แล้วเจริญงอกงามแผ่ลงน้ำ มีไหลเลื้อยทอดไปตามดินหรือน้ำ เช่น หนองน้ำ คูร่องสวน บริเวณที่นาและน้ำท่วมขัง พบได้ทั่วประเทศไทย

รูปที่ 2หญ้าขน

11.3 ปุ๋ย

ปุ๋ย (Fertilizer) หมายถึง วัตถุหรือสารที่ใส่ลงไปในดิน โดยมีความประสงค์จะให้ธาตุ อาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมแก่พืชเพื่อให้ได้รับธาตุอาหารดังกล่าวในปริมาณที่เพียงพอและสมดุลกันตามที่ต้องการ และให้ผลผลิตสูงขึ้น ส่วนปุ๋ยตามความหมายในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 คือ สารอินทรีย์ อินทรีย์สังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช

11.4 ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก (Compost) หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ทำโดยเลียนแบบธรรมชาติในป่า ได้จากเศษพืช มูลสัตว์มากองรวมกันแล้วเกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย มีสีน้ำตาลปนดำ ที่เรียกว่า ฮิวมัส มีสมบัติในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินโปร่งเพิ่มความพรุนให้แก่ดิน ทำให้เกิดการระบายน้ำและอากาศในดินดีขึ้น ช่วยให้ดินอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารพืชดีขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพ ช่วยทำให้พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโตและส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ได้ดีขึ้น

11.5 วัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมัก

1. วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม วัสดุเหลือทิ้งจากไร่นาหรือทางการเกษตรจึงมีอยู่ทั่วไป เช่น ฟางข้าว ใบพืช ต้นข้าวโพด และกาก เป็นต้น

2. วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม การแปรรูปของวัตถุดิบทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การขยายตัวด้านอุตสาหกรรมก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรไม้ กากตะกอนน้ำเสีย เป็นต้น

3. วัสดุเหลือทิ้งจากบ้านเรือน ในเขตชุมชนที่มีประชากรอยู่รวมกันมากจะมีปัญหาในด้านการกำจัดขยะ แนวทางที่สามารถนำขยะเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ได้คือการทำปุ๋ยหมัก

4. วัชพืช วัชพืชบกและวัชพืชน้ำหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักตบชวาที่เป็นปัญหาในการกำจัด เป็นวัชพืชที่เจริญได้อย่างรวดเร็วก่อให้เกิดปัญหาต่างๆมากมาย การนำผักตบชวามาทำเป็นปุ๋ยหมักจึงเป็นแนวทางหนึ่งโดยเปลี่ยนให้เป็นปุ๋ยหมักที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงดิน

11.6 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการหมัก

1. เศษวัสดุที่รวบรวมมาได้นั้นบางครั้งจะมีขนาดใหญ่และยาวเกินไป ควรที่จะหั่นหรือสับก่อน ทั้งนี้เมื่อเวลากองปุ๋ยจะได้ไม่เกิดช่องว่างภายในกองปุ๋ยหมัก เนื่องจากกองปุ๋ยจะสูญเสียความร้อนในกองได้ง่าย ทำให้การย่อยสลายเป็นไปได้ช้า การหั่นเศษพืชนั้นยิ่งทำให้เป็นชิ้นเล็กมากเท่าใดการย่อยสลายก็เป็นไปได้อย่างรวดเร็วเพราะกองปุ๋ยหมักมีที่ว่างภายในน้อยจึงเก็บความชื้นได้ดี

2. มูลสัตว์ ในการหมักปุ๋ยนั้น ถ้าใส่พวกสัตว์ต่างๆไม่ว่าจะเป็นมูลวัว มูลหมู มูลเป็ด มูลไก่ ฯลฯ ผสมคลุกเคล้าลงไปด้วยกัน กองปุ๋ยจะร้อนขึ้นได้รวดเร็วและย่อยสลายได้เร็วกว่าการใช้เศษพืชเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะมูลสัตว์ต่างๆประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์อยู่มากมายหลายชนิดการใส่มูลสัตว์จึงเป็นการเร่งเร้าให้จุลินทรีย์ทำการย่อยเศษพืช กลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วขึ้นปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกชนิดต่างๆ

3. ปุ๋ยยูเรีย การใส่ปุ๋ยยูเรียลงไปในกองปุ๋ยหมักจะช่วยให้เศษพืชสลายตัวได้อย่างเร็วขึ้น สำหรับวัสดุที่สลายตัวได้ยากจะมีแร่ธาตุอาหารอยู่น้อย ไม่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์จึงควรมีการเติมปุ๋ยยูเรียลงไปเพื่อเพิ่มธาตุอาหารลงไปในกองปุ๋ยหมัก ส่วนวัสดุที่สลายตัวง่ายใส่ในปริมาณเล็กน้อยเพียงแค่เป็นอาหารเสริมช่วยกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์เท่านั้น

4. เชื้อจุลินทรีย์ พด.1 การทำปุ๋ยด้วยการใช้เชื้อจุลินทรีย์เป็นสารเร่งนี้ จะสามารถช่วยลดระยะเวลาหมักจากประมาณ 3-4 เดือน ลงเหลือเพียงประมาณ 1-2 เดือน เท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเศษวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก นอกจากนั้นแล้วยังทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดที่ผสมอยู่ในสารเร่งนี้เป็นพวกที่ทำการย่อยสลายเศษพืชได้ดี ถ้ากองปุ๋ยมีความร้อนสูงจะช่วยทำลายเมล็ดวัชพืชหรือเชื้อโรคที่ปะปนอยู่ในกองปุ๋ยหมักได้

11.7 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก

กระบวนการทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีตามธรรมชาติที่อาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุส่วนที่ย่อยสลายได้ให้เป็นแร่ธาตุที่ค่อนข้างจะคงรูป และมีคุณค่าในทางเป็นปุ๋ยสำหรับบำรุงดินเป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนั้นเศษวัสดุที่หมักได้ที่แล้วปริมาตรจะลดลงประมาณร้อยละ 30-60 และยังสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่เกิดโรคได้อีกด้วย การเปลี่ยนแปลงทางเคมี เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระยะแรกๆ ที่มีออกซิเจนปนอยู่จะเกิดการย่อยสลายแบบแอโรบิค (Aerobic) สามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่อออกซิเจนถูกใช้ไปจนหมด การย่อยสลายจะกลายเป็นแบบแอนแอโรบิค (Anaerobic) ซึ่งเป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุค่อนข้างช้า ทำให้เกิดกรดและก๊าซ จึงมีกลิ่นอันไม่พึงปรารถนาขึ้น เป็นเหตุให้เกิดความรำคาญ และอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนด้วย ซึ่งกระบวนการทำปุ๋ยหมักแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีดังนี้

1. การหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic decomposition)

การหมักแบบใช้ออกซิเจนเป็นการย่อยสลายวัสดุที่ย่อยสลายได้โดยใช้ออกซิเจน ซึ่งใช้เวลาในการย่อยสลายเร็วมาก และปล่อยพลังงานในรูปของความร้อนจำนวนมากจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบอินทรียวัตถุไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการหมักวิธีนี้จะมีข้อดีคือไม่มีกลิ่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักนั้นค่อนข้างสูงพอที่จะฆ่าเชื้อโรคที่อาจทำให้เกิดอันตรายต่อคนและให้ผลผลิตสุดท้ายที่เสถียร ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$\text{Organic matter} + O_2 \xrightarrow{\text{Aerobic bacteria}} CO_2 + NH_3 + \text{Other End} - \text{Product} + \text{Energy}$$

การเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ได้นั้นต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่น ปริมาณออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิ ความชื้นพอเหมาะ ดังนั้นการหมักปุ๋ยแบบแอโรบิค วัตถุดิบต้องไม่อัดแน่นจนเกินไป ต้องมีรูพรุนอยู่บ้าง จึงจะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายดีขึ้น นอกจากนี้การทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุต่างๆ ยังสามารถเพิ่มวัสดุอื่นลงไปได้ด้วย เช่น มูลสัตว์และสารเคมีบางชนิด ก็จะทำให้การย่อยสลายโดยวิธีนี้เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว

2. การหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic decomposition)

การหมักแบบไร้อากาศ เป็นการย่อยสลายสารอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนในอากาศ ซึ่งของเสียที่นำมาใช้ในการหมักจะอยู่ในลักษณะกึ่งของเหลว การหมักแบบไร้อากาศนั้นอุณหภูมิจะต่ำและมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้น โดยมีอัตราการสลายตัวอย่างช้าๆและใช้เวลานาน แต่มีข้อดีคือไม่ต้องดูแลมาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

$$\text{Organic matter} \xrightarrow{\text{Aerobic bacteria}} CO_2 + H_2S + NH_3 + CH_4 + \text{Other End–Product} + \text{Energy}$$

การศึกษากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปุ๋ยหมักทั้งแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าการหมักแบบใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพมากกว่าการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพราะว่าสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่า ส่วนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องใช้เวลาในการหมักนาน มีกลิ่นรบกวนและอาจมีเชื้อโรคปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก

11.8 ปัจจัยที่มีควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

การสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ทำปุ๋ยหมักนั้น นอกจากเชื้อจุลินทรีย์จะมีบทบาทสำคัญอย่างมากแล้ว ปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ก็มีส่วนสำคัญที่ช่วยให้การสลายตัวเป็นไปในอัตราที่เร็วหรือช้าด้วย ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

ชนิดและขนาดของวัสดุที่ใช้หมัก

วัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักส่วนใหญ่แล้วจะได้มาจากพืชมากกว่าที่จะได้จากสัตว์ โดยธรรมชาติแล้วเศษพืชชนิดต่างๆ ย่อมมีการย่อยสลายได้ช้าหรือเร็วแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเศษพืชนั้นๆ ว่ามีส่วนที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นอาหารได้ยากหรือง่ายและมีแร่ธาตุอาหารเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์หรือไม่ ดังนั้นอาจแบ่งเศษที่ใช้ทำปุ๋ยได้เป็นสองพวกด้วยกัน คือ เศษพืชพวกสลายตัวง่าย เช่น พืชตระกูลถั่ว ผักตบชวา เศษพืชที่เป็นพืชอวบน้ำอื่นๆ อีกพวกหนึ่งก็คือเศษพืชที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น ฟางข้าง แกลบ กากอ้อย ขุยมะพร้าว ปกติแล้วเศษพืช พวกหลังนี้จะมีธาตุอาหารอยู่น้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลลินทรีย์และนอกจากนี้พืชที่มีอายุน้อยย่อมจะมีการย่อยสลายได้ง่ายกว่าเศษที่มีอายุมาก ขนาดของเศษพืชก็เป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ หากเศษที่นำมาหมักนั้นมีขนาดใหญ่เกินไป เมื่อนำมากองจะทำให้เกิดช่องว่างภายในกองปุ๋ยมาก กองปุ๋ยหมักจะเสียความชื้นได้ง่าย ทำให้เศษพืชแห้งไม่เหมาะสมที่จะให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต การทำกิจกรรมการย่อยก็ช้าลงไปด้วย เช่นกัน ดังนั้นผู้ทำปุ๋ยหมักพยายามสับหรือหั่นเศษพืชให้เป็นชิ้นเล็กลง โดยทั่วไปไม่ควรใหญ่กว่า 5 เซนติเมตร การหั่นนั้นสามารถหั่นให้เป็นชิ้นเล็กลงมากเท่าไหร่ก็ยิ่งดี เพราะจะทำให้การหมักเร็วขึ้นและเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของเศษวัสดุที่จะสัมผัสกับอากาศ (ชัชฎาพร องอาจ, 2550)

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย และเป็นปัจจัยควบคุมอัตราเร่งของปฏิกิริยาด้วย สภาพภูมิอากาศก็มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย โดยทั่วไปพบว่าหลังจากการหมักนาน 2-4 วัน อุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็วจนถึง 50-60องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนย่อยสลาย และคุณสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ค่อยแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมัก การที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นดังกล่าว ทำให้สภาพแวดล้มในกองปุยหมักเปลี่ยนไป ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็เปลี่ยนแปลงไปเช่นกันในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆพบว่าจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่พวกที่ทนต่ออุณหภูมิสูงและพวกที่ชอบอุณหภูมิ จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆลดลง จนถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลางสามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้นในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปประมาณ 70 องศาเซลเซียส จะมีผลไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลงและกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลงตามไปด้วย ทำให้อุณหภูมิค่อยๆลดลงจนถึงระดับที่เหมาะสม จุลินทรีย์ที่เหลือรอดอยู่เริ่มกิจกรรมในการย่อยสลายต่อไป (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547)

ความชื้น

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากปฏิกิริยาในระบบเมตาบอลิซึมต่างๆ ที่

เกิดขึ้นภายในเซลล์และการปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ โดยปกติภายในกองปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิสูง ทำให้น้ำระเหยออกจากกองปุ๋ยหมักตลอดเวลา ถึงแม้ว่าอินทรียวัตถุจะมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดีก็ตาม ดังนั้นจึงต้องเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งความชื้นที่พอดีของกองปุ๋ยหมักควรอยู่ในช่วง 50-60% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความชื้นต่ำกว่า 40% การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ถ้าความชื้นมากเกินกว่า 80% จะทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป การระบายอากาศไม่ดีจนทำให้เกิดสภาพไร้อากาศ กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ช้าเช่นกัน(ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547)

การระบายอากาศ

การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมัก เป็นสิ่งที่จำเป็นอีกประการหนึ่งในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศ ใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอนในกระบวนการหายใจภายในเซลล์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายอากาศเพื่อปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอต่อการเจริญและต่อการย่อยสลายเศษวัสดุต่างๆ ซึ่งในระบบหายใจของจุลินทรีย์นั้น ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นในสภาพที่ออกซิเจนเพียงพอกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองพืชจะมีประสิทธิภาพดีได้พลังงานจำนวนมากที่เซลล์จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในระบบเมตาโบลิซึม เพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ในการเจริญและดำรงชีพของจุลินทรีย์ต่อไป(ชัชฎาพร องอาจ, 2550)

ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง

จุลินทรีย์ที่เป็นตัวการในการก่อให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมักนั้น มีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดเจริญเติบโตหรือมีกิจกรรมได้ดีในสภาพเป็นกรดเป็นด่างต่างๆกัน โดยทั่วไปจะทำงานได้ดีในสภาพที่เป็นกลางหรือเป็นกรดหรือเป็นเบสเล็กน้อย ถ้าในระหว่าหมัก pH ลดลงแสดงว่ามีปฏิกิริยา Anaerobic เกิดขึ้น ซึ่งเมื่อใดที่กองปุ๋ยหมักเกิดปฏิกิริยา Anaerobic แล้ว การทำให้ปฏิกิริยากลับเป็นแบบ Aaerobic เป็นไปได้ยาก ความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยควรอยู่ตั้งแต่ช่วงที่เป็นกรดอ่อนๆ คือ มีค่า pH ประมาณ 5.5-8.0 หากสูงหรือต่ำกว่านี้การย่อยสลายจะช้าลง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเศษวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักจะมีปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อยไปจนถึงด่างเล็กน้อย ฉะนั้นไม่จำเป็นต้องปรับระดับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษพืชก็สามารถเกิดขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ดีเศษพืชหรือวัสดุที่ผ่านขบวนการของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งอาจจะมีความเป็นกรดเป็นด่างค่อนข้างจัด ควรปรับปฏิกิริยาให้อยู่ในระดับเป็นกลางเสียก่อน (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547)

ปริมาณธาตุอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการพลังงานและคาร์บอนในการสร้างเซลล์ ธาตุอาหารที่จำเป็นอาจรวมเข้าเป็นสารประกอบในเซลล์หรืออาจต้องการเพียงช่วยกระตุ้นหรือเร่งปฏิกิริยาต่างๆทในกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบภายในเซลล์เท่านั้น ในกองปุ๋ยหมักมีอัตราส่วน C/N เท่ากับ 40/1 ขณะที่ค่าเหมาะสมของ C/P เท่ากับ 100/1 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่พบในปุ๋ยหมักเป็นอัตราส่วนของสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นจุลินทรีย์สร้างเซลล์หรือมีกิจกรรมมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักด้วย (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547)

อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุ

เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกความยากหรือง่ายต่อการย่อยสลาย และการใช้เป็นตัวกำหนดระดับการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบรูณ์ กล่าวคือ ถ้าวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมากๆ อัตราการย่อยสลายจะเกิดช้า เนื่องจากความไม่สมดุลของสารประกอบคาร์บอนกับไนโตรเจน ในสภาพเช่นนี้จุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนในรูปแบบต่างๆเป็นแหล่งของพลังงานและแหล่งของคาร์บอนในการเจริญ ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็ต้องใช้สารประกอบไนโตรเจนด้วย แต่สารประกอบไนโตรเจนมีปริมาณน้อยจึงเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้กิจกรรมในการย่อยสลายเกิดช้า ความสมดุลของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเซลล์ จุลินทรีย์อยู่ในช่วงประมาณ 10 ต่อ 1 ถ้าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน เนื่องจากกระบวนการระเหย (ammonia volatilization) การใช้วัสดุมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 25 ต่อ 1 ค่อนข้างเหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ใช้เป็นตัวกำหนดการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบรูณ์ คือ 20 ต่อ 1 ซึ่งปุ๋ยหมักดังกล่าวนำไปใส่ในดินจะไม่เกิดผลเสียต่อดินและพืช (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547)

11.9 การพิจารณาปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้ว

1. สีของปุ๋ยหมักมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มหรือดำหากปุ๋ยหมักเป็นสีออกเทาหรือดหลืองจะเป็นปุ๋ยที่มีลักษณะไม่ดีมีธาตุอาหารน้อย

2. ลักษณะโครงสร้าง มีโครงสร้างหยาบปานกลาง ไม่อัดแน่น แต่จะมีลักษณะยุ่ยละเอียด แยกขาดออกจากกันได้ง่าย

3. กลิ่น ไม่มีกลิ่นเหม็นแต่มีกลิ่นคล้ายดินธรรมชาติ แต่ถ้าหากปุ๋ยมีกลิ่นฉุนหรือมีกลิ่นของเศษวัสดุหมักอยู่แสดงว่าการหมักปุ๋ยยังไม่สมบรูณ์

4. ความร้อนในกองปุ๋ยจะลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ

5. การเจริญของพืชบนกองปุ๋ย เมล็ดพืชงอกและเจริญเติบโตบนกองปุ๋ยได้ แสดงถึงปุ๋ยหมักสลายตัวอย่างเต็มที่แล้วและสามารถนำไปใช้โดยไม่เป็นอันตรายต่อพืช

6. การวิเคราะห์เคมี ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยควรเท่ากับหรือน้อยกว่า 20 ต่อ 1 ความชื้นไม่เกิน 35% ปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าอยู่ระหว่าง 30-60% โดยน้ำหนักแห้ง

11.10 มาตรฐานปุ๋ยหมัก

ธาตุอาหารในปุ๋ยหมักจะแปรผันไปตามกระบวนการหมักและความแตกต่างของวัสดุที่ใช้ในการหมักแต่ละครั้ง จึงมีการกำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมัก ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2544)

1.ปริมาณอินทรียวัตถุ อยู่ระหว่าง 25-50 เปอร์เซ็นโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

2.อัตราส่วนสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ต้องไม่มากกว่า 20:1

3. ระดับการนำไฟฟ้า ต้องไม่เกิน 3.5เดซิซีเมน/เมตร

4. ความเป็นกรดด่าง (pH) ประมาณ 5.5-8.5

5. ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ต้องไม่น้อยกว่า 1.0 – 0.5 – 0.5 เปอร์เซ็นโดยน้ำหนักตามลำดับ

6. ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ ของต้องไม่เกิน 35% เปอร์เซ็นโดยน้ำหนัก

7. จ้องมีขนาดผ่านตะแกรงร่อนช่วงสี่เหลี่ยมขนาด 12.5x12.5 มิลลิเมตรได้หมด

8. เศษวัสดุอื่นๆที่ไม่ต้องการ ได้แก่ หิน ดิน ทราย เศษพลาสติก ฯลฯ ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

9. ต้องไม่มีวัสดุอันตราย เช่นเศษแก้ว วัสดุแหลมคมและโลหะอื่นๆ ที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้เจือปน

10. ต้องปลอดภัยจากธาตุโลหะหนักและสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม

12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นูรีซา หะแวและคณะ (2545) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเศษวัสดุมาทำเป็นปุ๋ยหมักของกระบวนการหมักตามกระบวนการหมักแบบ Aerobic compost โดยวิธีการหมักแบบใช้เชื้อจุลินทรีย์ซึ่งวัสดุนำมาหมักมีอยู่ 2 ประเภท คือ ประเภทแรกใช้วัสดุจากยางพาราที่เก็บมาจากที่เป็นใบสดและใบแห้งที่ร่วงหล่นตามยางพาราและประเภทที่สองใช้วัสดุจากผักตบชวาที่เก็บได้จากบริเวณทั้งนอกและในสถาบันราชภัฏสงขลา การหมักแบ่งออกเป็นสองชุด คือ ชุดที่ 1ใบยางพารา+ปุ๋ยคอก+จุลินทรีย์พด.-1+ปุ๋ยยูเรีย ชุดที่ 2 ผักตบชวา+ปุ๋ยคอก+จุลินทรีย์พด.-1+ปุ๋ยยูเรีย โดยทำการวิเคราะห์ผลการหมักเมื่อสิ้นสุดการหมัก หมัก 40 วัน ซึ่งแต่ละชุดจะทำการพลิกกลับทุกๆ 2 วัน ในสัปดาห์แรกจะทำการพลิกกลับทุกๆ 5 วัน ในสัปดาห์ต่อมาในระหว่างการหมักจะทำการวัด อุณหภูมิ ความชื้น pH และ c/n ration จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในการหมักอยู่ในที่ที่เหมาะสม ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คือ อยู่ระหว่าง 25-30 องศา ความชื้นถูกควบคุมไว้ที่ระดับ 50-60 % ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 5.5-8 เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ เปอร์เซ็นต์ของธาตุอาหารหลัก(NPK) ของปุ๋ยหมักอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับให้มีค่าดังนี้ ชุดที่ 1 มีค่า 1.87 / 3.25 / 0.35 องศา และชุดที่ 2 มีค่า 2.13 / 4.47 / 0.84

นูรีซัน ยีแลมะ และมะสือนี อาบู (2550) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่เปลือกข้าวโพด แกลบ หญ้าแห้ง เพื่อเป็นการนำเศษพืชและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน ใช้วิธีการหมักแบบ Aerobic composting แบบใช้เชื้อจุลินทรีย์ โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุด ถังที่ 1 ผักตบชวา(สูตรควบคุม) ถังที่ 2 ผักตบชวาร่วมกับเปลือกข้าวโพด ถังที่ 3 ผักตบชวาร่วมกับแกลบ ถังที่ 4 ผักตบชวาร่วมกับหญ้าแห้ง โดยทำการวิเคราะห์ผลเมื่อสิ้นสุดการหมัก 35 วัน ในระหว่างการหมักจะทำการตรวจวัด อุณหภูมิ , ความชื้น , pH , และ C:N ratio จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิในถังหมักอยู่ในช่วง 25-35 องศา ซึ่งในช่วงที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปเหมาะแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ความชื้นถูกควบคุมไว้ที่ระดับ 50-60 % ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)5.5-9 อยู่ในช่วงที่สามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักได้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ควรมีค่าเท่าหรือต่ำกว่า 20:1 ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แร่ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ เปอร์เซ็นต์ N/P/K ของปุ๋ยหมักอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สูตรที่ (1) 1.40 :110 : 0.43 สูตรที่ (2) 1.47 : 1.29 : 0.63 สูตรที่ (3)1.89 : 1.08 : 0.10 สูตรที่ (4) 1.82 : 1.32 : 0.78

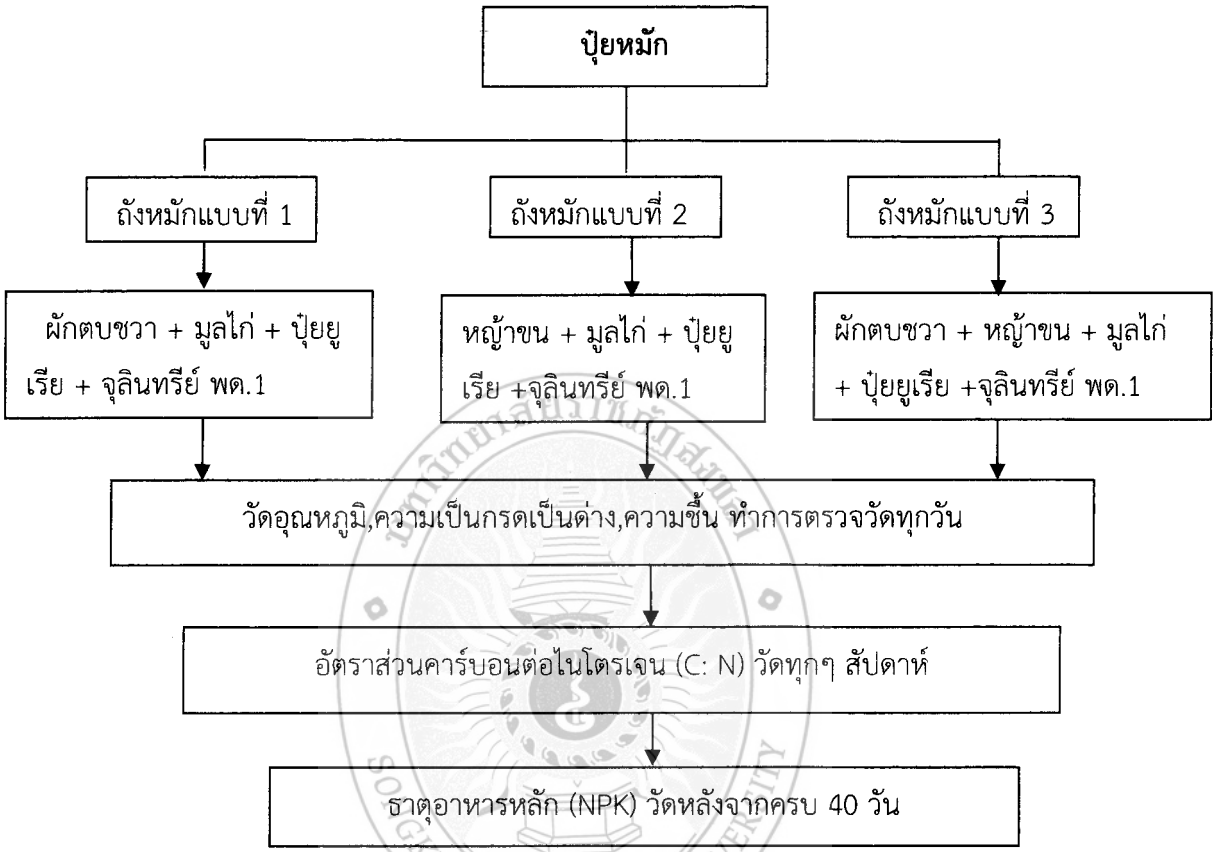
บรรเจิด จีนบุญ และมนตรี อินทรมณี (2542) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยการใช้เชื้อปุ๋ยหมักเป็นตัวเร่ง มีส่วนผสมระหว่างกากปาล์มกับวัสดุเศษเลือกอื่นๆ โดยการควบคุมความชื้นระหว่าง 60-80 % ทำการวัด pH อุณหภูมิ และความชื้ ฉ-16 วันและเก็บตัวอย่างทุกๆ 10 วันเพื่อวัดค่าไนโตรเจน คาร์บอนค่า C/Nพบว่าหลังการหมัก 50 วันปุ๋ยทุกกองสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยค่า C:N ration ต่ำกว่า 20 (ค่ามาตรฐาน) ปุ๋ยหมักที่ได้มีค่า C:N ration ต่ำสุดถึงสูงสุด คือ กากปาล์มอย่างเดียว กากปาล์มผสมน้ำนึ่งปลาทูน่า กากปาล์มผสมยูเรีย กากปาล์มกับหญ้าขนกากปาล์มกับอ้อย และกากปาล์มกับผักตบชวาโดยได้ค่า C:N ration 10.5 10.6 11.6 12.4 12.5 และ13.59 ตามลำดับ ปุ๋ยหมักที่ได้มีความชื้นอยู่ระหว่าง 50-70% โดยใช้ระยะเวลาในการหมักสั้น (50วัน) และค่า C:Nration ต่ำกว่าในระดับมาตรฐานและปุ๋ยที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดคือ ปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยกากปาล์มผสมหญ้าขน

13. วิธีการดำเนินการวิจัย

13.1 วัสดุอุปกรณ์

1. ผักตบชวา:วัสดุเหลือทิ้งในมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
2. หญ้าขน: วัสดุเหลือทิ้งในมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
3. ถังหมัก:ถังหมักที่ใช้มีลักษณะเป็นถังพลาสติกที่มีฝาปิด ซึ่งสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงที่รบกวนจากปัจจัยภายนอกได้ดังนั้น จึงเลือกให้ถังพลาสติก มีขนาด 20 ลิตร มีฝาปิด นำเอาถังมาเจาะรู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร รอบถัง เพื่อเป็นช่องให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับปุ๋ยหมักได้ และ ใช้ตาข่ายไนลอนมาปิดทับรูระบายอากาศ ที่เจาะไว้โดยรอบ เพื่อป้องกันแมลงรบกวน

13.4 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล



13.5 วิธีการทดลอง

Parameter	วิธีการวิเคราะห์	ที่มา
อุณหภูมิ	Thermometer	(standard method, 2005)
ความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	(standard method, 2005)
ความชื้น	วิธี Oven-drying method	(standard method, 2005)
คาร์บอน	วิธี carter	(standard method, 2005)
ไนโตรเจน	วิธี TotalKjeldahl method	(standard method, 2005)
โพแทสเซียม	วิธี Wet Digestion	(standard method, 2005)
ฟอสฟอรัส	วิธี Wet Digestion	(standard method, 2005)

14. แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอน	2556									2557												2558
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
รวบรวมข้อมูลและตรวจเอกสาร	———	———	———	———																		
สอบโครงร่างวิจัย					▲																	
ทำการหมักปุ๋ย														———	———							
วิเคราะห์พารามิเตอร์														———	- - - -	- - - -						
สอบความก้าวหน้า																	▲					
สรุปผลการทดลอง																		———	———	———	———	
สอบจบเล่มวิจัย																						▲
เขียนและแก้ไขเล่มวิจัย																					———	———

หมายเหตุ ช่วงเดือน *พ.ย. 2556 – ก.พ. 2557 เป็นช่วงของการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

15. งบประมาณค่าใช้จ่ายตลอดโครงการ

รายการ	งบประมาณตลอดโครงการ
ค่าใช้สอย	
ค่าบริการสืบค้นข้อมูล	200
ค่าวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	5,000
ค่าเช่ายานพาหนะเดินทางไปเก็บตัวอย่าง	500
ค่าวัสดุ	
ค่าน้ำมันรถ	300
ค่าอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	1,000
ค่าวัสดุสำนักงาน/ค่าถ่ายเอกสาร	100
ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์ (แผ่นซีดี)	100
รวม	7,200

16. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2551. **การจัดการอินทรียวัตถุ เพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบรูณ์ของดิน**.สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ : เอกสารเผยแพร่กรมพัฒนาที่ดิน

กรมวิชาการเกษตร. 2557. **ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีที่สำคัญ ปี 2551-2555** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จากhttp://www.oae.go.th/download/FactorOfproduct/Fertilizer_value49-54.html.(28ธันวาคม2557)

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์.2531. **การประเมินประสิทธิภาพการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์เร่งปุ๋ยหมัก.**วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดวงพร สุวรรณกุล. 2544.**วัชพืชในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 440 หน้า

พิทยากร ลิ่มทอง. 2533. **การปรับปรุงบำรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสด. คู่มือการปรับปรุงบำรุงดินและการใช้ปุ๋ย.** กรุงเทพฯ : ศูนย์การพิมพ์มลชัย.

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. 2542.**ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ : เพื่อการปรับปรุงดินโดยวิธีเกษตรธรรมชาติ.**กรุงเทพฯ

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. 2551. **เกษตรธรรมชาติ.**กรุงเทพฯ

ธันวดี ศรีธาวิรัตน์.2547. **การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทางเกษตร.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

ธงชัย มาลา. 2550. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยหมักชีวภาพเทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพมหานคร

นภารัตน์ ไวยเจริญ. 2544. **การทำปุ๋ยหมักของมูลฝอยจากตลาดสดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่จังหวัดสงขลา.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

นิติ เหมพัฒน์. 2553. **รูปแบบถังหมักปุ๋ยสำหรับขยะอินทรีย์จากบ้านเรือน.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

นิสากร วิเวกวินย์. 2546.**อิทธิพลของการเติมของการเติมหัวเชื่อ และ/หรือ การเติมอากาศต่อการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาตร์ชีวภาพ มหาวิทยาลัยบรูพา

นูรัซัน ยีแลมี และมะสือนี อาบู. 2550.**ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.** สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

นูรีซา หะแว และคณะ. 2545.**การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักที่ทำจากใบยางพาราและผักตบชวา.**สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

บรรเจิด จีนบุญ และ มนตรี อินทรมณี.2542. **การทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม**. รายงานวิจัย. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานคินทร์

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์. 2548. **ข้อกำหนดมาตรฐานทางวิชาการปุ๋ยอินทรีย์(Q).** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.gotoknow.org/posts/383838.(28มีนาคม2556)

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. **ปุ๋ยอินทรีย์.** กรุงเทพฯ : สายธุรกิจโรงพิมพ์