# การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา จอก ใบมะม่วงแห้ง และหญ้าแพรก โดยใช้ปล่องพักแบบซิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับไส้เดือน

# COMPOST PRODUCTION FROM WATER HYACINTH, WATER LETTUCE, DRY MANGO LEAVES AND BERMUDA GRASS BY CHIMNEY CONVECTION TOGETHER WITH EARTHWORMS

นายธีรเจต ดีสุกนธ์
นางสาววราณี ทองเงือ
นางสาววิภาวณี แซ่เตีย

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา จอก ใบมะม่วงแห้ง และหญ้าแพรก โดยใช้บ่อหมักแบบชิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับไส้เดือน

# COMPOST PRODUCTION FROM WATER HYACINTH, WATER LETTUCE, DRY MANGO LEAVES AND BERMUDA GRASS BY CHIMNEY CONVECTION TOGETHER WITH EARTHWORMS

T149066

นายธีรเจต ดีสุคนธ์
นางสาววราณี ทองเจือ
นางสาววิภาวณี แซ่เตีย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....149066
วัน,เดือน,ปี.....27 ส.ค. 2560

b.11284928
i.

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# COMPOST PRODUCTION FROM WATER HYACINTH, WATER LETTUCE, DRY MANGO LEAVES AND BERMUDA GRASS BY CHIMNEY CONVECTION TOGETHER WITH EARTHWORMS

MR. TEERAJET DEESUKON
MISS WARANEE THONGCHUA
MISS WIPAWANEE SAETEAR

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อโครงงานพิเศษ** | การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา จอก ใบมะม่วงแห้ง และหญ้าแพรกโดยใช้บ่อหมักแบบชิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับไส้เดือน<br>Compost Production from Water Hyacinth, Water Lettuce, Dry Mango Leaves and Bermuda Grass by Chimney Convection together with Earthworms |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายธีรเจต ดีสุคนธ์ รหัสนักศึกษา 55050931<br>นางสาววราณี ทองเจอ รหัสนักศึกษา 55050993<br>นางสาววิภาวณี แซ่เตีย รหัสนักศึกษา 55050997 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม |
| **ภาควิชา** | เคมี |
| **ปีการศึกษา** | 2558 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน |

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2558

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| อาจารย์กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์<br>ประธานกรรมการ | |
| ดร. เชิดศักดิ์ มณีรัตนรุ่งโรจน์<br>กรรมการ | |
| ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน<br>กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา | |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อโครงงานพิเศษ** | การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากผักตบชวา จอก ใบมะม่วงแห้ง และหญ้าแพรก โดยใช้บ่อหมักแบบชิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับไส้เดือน |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายธีรเจต ดีสุคนธ์ รหัสนักศึกษา 55050931 |
| | นางสาววราณี ทองเจอ รหัสนักศึกษา 55050993 |
| | นางสาววิภาวณี แซ่เตีย รหัสนักศึกษา 55050997 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) |
| **ภาควิชา** | เคมี |
| **ปีการศึกษา** | 2558 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน |

## บทคัดย่อ


โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้ผักตบชวา จอก ใบมะม่วงแห้งและหญ้าแพรกเป็นวัสดุในการหมักปุ๋ย โดยใช้บ่อหมักแบบชิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับไส้เดือน การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1) ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการหมักเริ่มต้น 2) ศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย 3) ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ โดยทำการเปรียบเทียบ 4 ชุดการทดลอง คือ 1) บ่อควบคุม 2) บ่อเติมอากาศ 3) บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน โดยทั้ง 3 บ่อใช้วัสดุเริ่มต้นคือ ผักตบชวา จอก และใบมะม่วงแห้ง และ 4) บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้าแพรกแทนใบมะม่วงแห้ง โดยศึกษาอุณหภูมิภายในบ่อหมัก อัตราการยุบตัว ปริมาณความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K) และศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยโดยวัดดัชนีการงอกของเมล็ด จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมวัสดุหมักให้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 30:1 ต้องใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักเปียกของผักตบชวาร่วมกับจอกต่อใบมะม่วงแห้งเท่ากับ 1:0.06 และสัดส่วนโดยน้ำหนักเปียกของผักตบชวาร่วมกับจอกต่อหญ้าแพรกเท่ากับ 1:0.12 จากผลการทดลองพบว่า สภาวะในการหมักปุ๋ยของบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้ผักตบชวา จอกและใบมะม่วงแห้งสามารถหมักเป็นปุ๋ยโดยใช้เวลาน้อยกว่าบ่ออื่น มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.25 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 8.56 dS/m ปริมาณความชื้นเท่ากับ 75.68% อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 25.67 ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.44 % และปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 22.10 % จากผลการทดลองของดัชนีการงอกพบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ไม่มีพิษต่อการปลูกพืช



คำสำคัญ : จอก, ชิมนีย์คอนเวคชัน, ใบมะม่วงแห้ง, ปุ๋ยอินทรีย์, ผักตบชวา, หญ้าแพรก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Title** | Compost Production from Water Hyacinth, Water Lettuce, Dry Mango Leaves and Bermuda Grass by Chimney Convection together with Earthworms |
| **Students** | Mr. Teerajet Deesukon Student ID 55050931 |
| | Miss Waranee Thongchua Student ID 55050993 |
| | Miss Wipawanee Saetear Student ID 55050997 |
| **Degree** | Bachelor of Science (Environmental Chemistry) |
| **Department** | Chemistry |
| **Academic Year** | 2015 |
| **Advisor** | Asst. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon |


## Abstract

This special project studied the production of compost from water hyacinth, water lettuce, dry mango leaves and bermuda grass as compost raw materials using chimney convection together with earthworms. The experiment was divided into three phases: 1) study properties of compost raw materials 2) study conditions during composting 3) study the efficiency of compost. There were four treatments: 1) control pond 2) aeration pond 3) aeration pond together with earthworms using water hyacinth, water lettuce and dry mango leaves as compost raw materials 4) aeration pond together with earthworms using water hyacinth, water lettuce and bermuda grass as compost raw materials. The temperature, sink rate, moisture content, pH, conductivity, carbon to nitrogen ratio, macronutrient content (N, P, K) were examined. The efficiency of the compost was investigated using seed germination index. Water hyacinth, water lettuce and dry mango leaves ratio by wet weight of 1:0.06 and water hyacinth, water lettuce and bermuda grass ratio by wet weight of 1:0.12 were prepared to gain the initial ratio of 30:1. The experimental results showed that aerated compost with earthworms using water hyacinth, water lettuce and dry mango leaves (treatment 3) became compost with the shorter period than other treatments. The compost properties were pH 8.25, EC. 8.56 dS/m, moisture content 75.68%, C/N ratio 25.67, phosphorus content 0.44%, potassium content 22.10%. The seed germination index indicated that the compost was not toxic for planting.



**Keywords** : water lettuce, chimney convection, dry mango leaves, compost, water hyacinth, bermuda grass



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงจาก ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และ ดร. เชิดศักดิ์ มณีรัตนรุ่งโรจน์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจสอบ แก้ไข ข้อบกพร่อง ขั้นตอนการจัดทำโครงงาน คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร ชุมชนหลวงพรตท่านเลี่ยม บิดา มารดา เพื่อนนักศึกษา ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นายธีรเจต ดีสุคนธ์
นางสาววราณี ทองเจือ
นางสาววิภาวณี แซ่เตีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บ่อคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูป | ฌ |
| คำย่อและสัญลักษณ์ | ญ |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | 4 |
| 2.1 ขยะอินทรีย์ | 4 |
| 2.2 วัชพืช | 4 |
| 2.2.1 วัชพืชน้ำ | 4 |
| 2.2.2 วัชพืชบก | 5 |
| 2.3 ไส้เดือนแอฟริกา | 6 |
| 2.3.1 ลักษณะโดยทั่วไปของไส้เดือน | 7 |
| 2.3.2 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของไส้เดือนดิน | 8 |
| 2.3.3 ประโยชน์ของไส้เดือน | 8 |
| 2.3.4 ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน | 9 |
| 2.4 ปุ๋ยหมัก | 9 |
| 2.4.1 ประเภทของกระบวนการหมักปุ๋ย | 10 |
| 2.4.2 หลักการทำปุ๋ย | 11 |
| 2.4.3 วิธีการทำปุ๋ยหมัก | 12 |
| 2.4.4 ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกระบวนการหมัก | 15 |
| 2.4.5 เกณฑ์ในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ | 21 |
| 2.4.6 การดูแลรักษากองปุ๋ยหมัก | 22 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 2.4.7 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก | 23 |
| 2.4.8 ข้อควรคำนึงในการกองปุ๋ยหมัก | 24 |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 24 |
| **บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย** | 28 |
| 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี | 28 |
| 3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ | 28 |
| 3.1.2 สารเคมี | 29 |
| 3.1.3 วัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง | 30 |
| 3.2 การเตรียมบ่อปุ๋ยหมัก | 30 |
| 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง | 31 |
| 3.3.1 การหาค่า C/N ratio ของวัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในการหมักปุ๋ย | 31 |
| 3.3.2 การเตรียมวัสดุในการหมักปุ๋ย | 31 |
| 3.3.3 ศึกษาสภาวะระหว่างการหมักปุ๋ยอินทรีย์ | 32 |
| 3.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ | 33 |
| 3.3.5 ศึกษาดัชนีการงอกของเมล็ด ผักบุ้งจีน | 34 |
| **บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล** | 35 |
| 4.1 ผลการศึกษาคุณคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้หมักเริ่มต้น | 35 |
| 4.2 ผลการศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย | 36 |
| 4.2.1 อุณหภูมิ | 36 |
| 4.2.2 อัตราการยุบ | 37 |
| 4.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง | 38 |
| 4.2.4 ค่าการนำไฟฟ้า | 39 |
| 4.2.5 ความชื้น | 40 |
| 4.2.6 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน | 40 |
| 4.2.7 ปริมาณสารอาหารในปุ๋ย | 42 |
| 4.2.8 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 4 บ่อ | 43 |
| 4.3 ผลการศึกษาดัชนีการงอกของผักบุ้งจีน | 45 |
| **บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ** | 47 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 47 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 47 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| เอกสารอ้างอิง | 48 |
| ภาคผนวก ก | 52 |
| ภาคผนวก ข | 59 |
| ภาคผนวก ค | 65 |
| ภาคผนวก ง | 111 |





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| | หน้า |
|---|---|
| ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์บางชนิดที่สามารถนำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้ | 14 |
| ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายชนิดต่างๆ | 15 |
| ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากชนิดต่างๆ | 15 |
| ตารางที่ 2.4 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน | 22 |
| ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะเริ่มต้นของวัสดุหมัก | 32 |
| ตารางที่ 3.2 วิธีวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย | 33 |
| ตารางที่ 3.3 วิธีวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ | 33 |
| ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้หมักเริ่มต้น | 36 |
| ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติเริ่มต้นของปุ๋ย | 36 |
| ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ | 44 |
| ตารางที่ 4.4 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนหลังจากทำการปลูก 14 วัน | 46 |
| ตารางที่ ก-1 ความชื้นของวัสดุเริ่มต้น | 53 |
| ตารางที่ ก-2 ปริมาณคาร์บอนของวัสดุเริ่มต้น | 53 |
| ตารางที่ ก-3 ปริมาณไนโตรเจนของวัสดุเริ่มต้น | 54 |
| ตารางที่ ก-4 ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุเริ่มต้น | 55 |
| ตารางที่ ข-1 ปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักเริ่มต้น | 60 |
| ตารางที่ ข-2 ปริมาณคาร์บอนในปุ๋ยหมักเริ่มต้น | 61 |
| ตารางที่ ข-3 ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักเริ่มต้น | 62 |
| ตารางที่ ข-4 ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักเริ่มต้น | 63 |
| ตารางที่ ข-5 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักเริ่มต้น | 64 |
| ตารางที่ ค-1 อุณหภูมิของปุ๋ยหมักทั้ง 4 บ่อ | 66 |
| ตารางที่ ค-2 อัตราการยุบของปุ๋ยทั้ง 4 บ่อ | 68 |
| ตารางที่ ค 3-1 ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม | 70 |
| ตารางที่ ค 3-2 ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ | 71 |
| ตารางที่ ค 3-3 ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน | 73 |
| ตารางที่ ค 3-4 ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า | 75 |
| ตารางที่ ค 4-1 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม | 76 |
| ตารางที่ ค 4-2 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ | 78 |
| ตารางที่ ค 4-3 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน | 80 |
| ตารางที่ ค 4-4 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า | 81 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)


หน้า

ตารางที่ ค 5-1 ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม 83

ตารางที่ ค 5-2 ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ 84

ตารางที่ ค 5-3 ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน 86

ตารางที่ ค 5-4 ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า 87

ตารางที่ ค 6-1 ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม 89

ตารางที่ ค 6-2 ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ 90

ตารางที่ ค 6-3 ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน 91

ตารางที่ ค 6-4 ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า 93

ตารางที่ ค 7-1 ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อควบคุม 95

ตารางที่ ค 7-2 ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ 96

ตารางที่ ค 7-3 ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน 97

ตารางที่ ค 7-4 ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า 99

ตารางที่ ค 8-1 ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อควบคุม 101

ตารางที่ ค 8-2 ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ 102

ตารางที่ ค 8-3 ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน 103

ตารางที่ ค 8-4 ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า 104

ตารางที่ ค 9-1 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อควบคุม 106

ตารางที่ ค 9-2 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ 107

ตารางที่ ค 9-3 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน 108

ตารางที่ ค 9-4 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า 109

ตารางที่ ง-1 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนโดยชุดควบคุม ดิน+แกลบ อัตราส่วน 1:1 112

ตารางที่ ง-2 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนโดยดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อควบคุม อัตราส่วน 1:1:1 113

ตารางที่ ง-3 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนโดยดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อเติมอากาศ อัตราส่วน 1:1:1 114

ตารางที่ ง-4 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนโดยดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อเติมอากาศ ร่วมกับไส้เดือน อัตราส่วน 1:1:1 115

ตารางที่ ง-5 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนโดยดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อเติมอากาศ ร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า อัตราส่วน 1:1:1 116



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 2.1 จอก | 5 |
| รูปที่ 2.2 หญ้าแพรก | 5 |
| รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของไส้เดือน | 8 |
| รูปที่ 2.4 ค่าอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจากการวิจัย | 12 |
| รูปที่ 2.5 จุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่ทำงานร่วมกัน ในการย่อยสลายวัตถุดิบให้เป็นปุ๋ยหมัก | 17 |
| รูปที่ 2.6 การเติมอากาศให้กับกองปุ๋ย | 19 |
| รูปที่ 3.1 วัสดุหมักเริ่มต้น (ก) ผักตบชวา (ข) จอก (ค) ใบมะม่วงแห้ง (ง) หญ้าแพรก | 30 |
| รูปที่ 3.2 การเตรียมบ่อหมักปุ๋ย (ก) บ่อวงคอนกรีต (ข) ท่อเติมอากาศ (ค) ติดสายวัดความยาวและการติดตั้งท่อเติมอากาศ | 30 |
| รูปที่ 3.3 หลุมสำหรับปลูกต้นไม้ | 34 |
| รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการหมักปุ๋ย | 37 |
| รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการยุบในระหว่างการหมักปุ๋ย | 38 |
| รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมักปุ๋ย | 39 |
| รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในระหว่างการหมักปุ๋ย | 39 |
| รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในระหว่างการหมักปุ๋ย | 40 |
| รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในระหว่างการหมักปุ๋ย | 41 |
| รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในระหว่างการหมักปุ๋ย | 41 |
| รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมักปุ๋ย | 42 |
| รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมักปุ๋ย | 43 |
| รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในระหว่างการหมักปุ๋ย | 43 |
| รูปที่ ค-1 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส | 101 |
| รูปที่ ค-2 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม | 106 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำย่อและสัญลักษณ์

| | | |
|---|---|---|
| C/N ratio | = | อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน |
| pH | = | ความเป็นกรด-ด่าง |
| °C | = | องศาเซลเซียส |
| % | = | ร้อยละ |
| cm | = | เซนติเมตร |
| mS/cm | = | มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร |
| dS/m | = | เดซิซีเมนต์ต่อเมตร |
| kg | = | กิโลกรัม |
| g | = | กรัม |
| mg | = | มิลลิกรัม |
| mL | = | มิลลิลิตร |
| mg/L | = | มิลิกรัมต่อลิตร |
| S.D. | = | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการส่งออกสินค้าทางการเกษตรเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ดังนั้น การใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรจึงเป็นสิ่งจำเป็น จะเห็นได้จากแนวโน้มการนำเข้าปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น นอกจากปุ๋ยเคมีมีราคาแพง เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศแล้ว อันตรายจากปุ๋ยเคมียังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ โดยการนำวัสดุอินทรีย์ เช่น ผักตบชวา จอก หญ้าแพรก ใบมะม่วงแห้ง หรือวัสดุอินทรีย์อื่นๆ มาผ่านกระบวนการย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนเป็นธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ จึงเป็นทางเลือกที่เกษตรกรให้ความสนใจเพิ่มขึ้น

ผักตบชวา จอก หญ้าแพรก และเศษใบมะม่วงแห้ง จัดเป็นขยะอินทรีย์ที่สร้างปัญหาแก่ชุมชน เนื่องจาก ผักตบชวา และจอก เป็นวัชพืชน้ำที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว บดบังผิวน้ำทำให้การละลายของออกซิเจนลดลง และแสงแดดผ่านลงสู่แหล่งน้ำได้น้อย ทำให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจน นอกจากนี้ยังกีดขวางการสัญจรทางน้ำ ในขณะที่หญ้าแพรกเป็นวัชพืชบกที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจำเป็นต้องมีการตัดถอน และใบมะม่วงแห้ง เป็นเศษใบไม้ที่จำเป็นต้องมีการตัดแต่งกิ่ง ส่งผลให้เกิดขยะอินทรีย์จำนวนมากในชุมชนริมคลองของกรุงเทพมหานคร จากการที่วัชพืชและเศษใบไม้เหล่านี้มีองค์ประกอบอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้จึงนิยมนำไปใช้ในการหมักปุ๋ย

โดยทั่วไปการหมักปุ๋ยจากขยะอินทรีย์จะใช้เวลานาน และต้องมีการกลับกอง หรือมีการเติมอากาศโดยใช้ปั๊ม ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง การหมักปุ๋ยแบบชิมนีย์คอนเวคชันใช้หลักการการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยตามธรรมชาติตลอดเวลา จึงเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้า ลดความยุ่งยากและระยะเวลาในการหมักปุ๋ย นอกจากนี้ การใส่ไส้เดือนเพิ่มในกองปุ๋ย ยังช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุและมีมูลไส้เดือนที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช

โครงงานพิเศษนี้ ได้ศึกษาสภาวะในการหมักปุ๋ย โดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับไส้เดือน โดยใช้ผักตบชวา จอก ใบมะม่วงแห้ง และหญ้าแพรก เป็นวัสดุหมักและศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพื่อแก้ไขปัญหาขยะอินทรีย์ของชุมชนริมคลอง ของกรุงเทพมหานคร และเป็นการนำขยะอินทรีย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ยอินทรีย์ ด้วยผักตบชวา จอก ใบมะม่วงแห้ง และหญ้าแพรก โดยแบบชิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับการใช้ไส้เดือนในการช่วยย่อยสลาย
2. ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ ที่ได้จากการหมักปุ๋ยด้วยผักตบชวา จอก ใบมะม่วงแห้ง และหญ้าแพรกโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับการใช้ไส้เดือน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1 วิเคราะห์หาอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของผักตบชวา, จอก, หญ้าแพรก และใบมะม่วงแห้ง

2 เตรียมวัสดุหมัก ประกอบด้วย ผักตบชวา, จอก, หญ้าแพรก และใบมะม่วงแห้ง โดยใช้เครื่องบดทางการเกษตรให้มีขนาดเล็ก

3 ผสมวัสดุหมักเริ่มต้นระหว่างผักตบชวา, จอก, และใบมะม่วงแห้ง กับ ผักตบชวา, จอก และหญ้าแพรกให้มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 30 : 1

4 ใส่หัวเชื้อทางการเกษตร คลุกเคล้าให้เข้ากัน ตักวัสดุหมักใส่ในท่อวงคอนกรีตเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร โดยแต่ละบ่อมีขนาดเท่ากันทั้งหมด

5 ศึกษาสภาวะระหว่างการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ จากการหมักปุ๋ยด้วยผักตบชวา จอก หญ้าแพรก และใบมะม่วงแห้ง โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกองธรรมดา การเติมอากาศโดยวิธีชิมนีย์คอนเวค-ชัน และการเติมอากาศโดยวิธีชิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับการใช้ไส้เดือนช่วยย่อยสลาย โดยศึกษาปัจจัย ดังนี้

- อัตราการยุบตัว
- อุณหภูมิ
- ความชื้น
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- ค่าการนำไฟฟ้า

6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ ที่ได้จากการทดลอง ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนี้

- ค่า C/N ratio
- ธาตุอาหาร ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K)
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- กลิ่น สี ความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์
- ระยะเวลาในการหมัก
- ดัชนีการเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งจีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ปุ๋ยอินทรีย์จากขยะอินทรีย์ภายในชุมชน
2. ลดปริมาณขยะอินทรีย์
3. เป็นการใช้ประโยชน์จากวัชพืชภายในชุมชน
4. ทำให้คุณภาพน้ำในลำคลองดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ขยะอินทรีย์

ขยะอินทรีย์ (organic waste) เป็นขยะจากครัวเรือน ภัตตาคาร โรงอาหาร ตลาดสด และการเกษตรกรรม ได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก เศษเนื้อ เศษผลไม้ ซากสัตว์ มูลสัตว์ ขยะอินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่าย เมื่อนำไปกองทิ้งไว้ก็จะเกิดการบูดเน่า ส่งกลิ่นเหม็น และเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ไม่เหมาะที่จะนำไปกำจัดโดยการเผาและไม่สามารถนำมาผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้น การนำขยะอินทรีย์ไปทำปุ๋ยหมัก จะสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ดี ปุ๋ยที่ได้จากการหมักขยะเหล่านี้จะมีคุณภาพดี สามารถใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับขยะด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

เมื่อประชากรมีจำนวนเพิ่มขึ้น ปริมาณขยะโดยรวมก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย และขยะเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อประชาชน ชุมชน และสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง จึงต้องหาระบบการกำจัดที่มีประสิทธิภาพ มีมาตรฐาน ถูกหลักสุขาภิบาล ครบวงจร และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆได้ เช่น การทำปุ๋ยหมัก ซึ่งขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละวันส่วนใหญ่เป็นเศษอาหาร และอินทรียสาร คิดเป็นร้อยละ 64 ของปริมาณขยะทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

## 2.2 วัชพืช ( Weed )

วัชพืช คือ พืชที่ขึ้นบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ซึ่งเป็นบริเวณที่เราไม่ต้องการให้เกิดขึ้น โดยพืชชนิดต่างๆในโลกซึ่งมีอยู่กว่า 300,000 ชนิด จัดเป็นวัชพืชที่เป็นปัญหารุนแรงต่อการเกษตร และการคมนาคมอยู่ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ของพืชทั้งหมด หรือคิดเป็นจำนวน 18,000 ชนิด วัชพืชดังกล่าวสามารถพบได้ในทุกท้องถิ่น หากมีสภาพท้องถิ่นที่แตกต่างกัน หรือมีการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน ก็จะมีการระบาดของวัชพืชที่แตกต่างกันด้วย (กรมวิชาการเกษตร, 2538) วัชพืชแบ่งตามลักษณะที่อยู่ออกได้เป็น 2 พวก

**2.2.1 วัชพืชน้ำ** หมายถึง วัชพืชที่ขึ้นในน้ำ หรือขึ้นตามริมตลิ่งที่มีดินชื้นมากๆ มักเป็นพืชที่มีลำต้นเล็กอ่อน ใบบาง เพื่อลู่ไปตามกระแสน้ำได้ดี มีหลายลักษณะตามสภาพที่ขึ้น กล่าวคือ บางพวกลอยน้ำ รากไม่หยั่งดิน เช่น จอก (รูปที่ 2.1) แหน ไข่น้ำ แหนแดง ผักตบชวา บางพวกรากต้องหยั่งดิน ใบและดอกลอยตามผิวน้ำ หรืออยู่เหนือน้ำ เช่น บัว ตับเต่า ขาเขียด บางชนิดอยู่ใต้ผิวน้ำรากหยั่งดิน เช่น สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายไฟ แหนปากเป็ดสาหร่ายเส้นด้าย สาหร่ายพุงชะโด บางชนิดขึ้นตามดินชื้นมากๆ หรือที่ที่มีน้ำขังตื้นๆ เช่น เทียนนา แห้วทรงกระเทียม หญ้าขน หญ้านกสีชมพู วัชพืชน้ำมักเป็นวัชพืชในนาข้าว ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านชลประทานและด้านประมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.1** จอก (สำนักงานสิ่งแวดล้อม, 2558)

**2.2.2 วัชพืชบก** หมายถึง วัชพืชที่เกิดบนบกแบ่งตามลักษณะทั่วไปได้เป็น 3 ชนิด คือ ไม้ต้น (trees) ไม้พุ่ม (shrubs) ไม้ล้มลุกลำต้นอ่อน (herbs) ไม้ต้นและไม้พุ่มไม่ค่อยพบว่าเป็นวัชพืชที่ร้ายแรง ทั้งนี้เพราะก่อนทำการเกษตรนั้น จำเป็นต้องปรับที่โค่นต้นไม้ใหญ่ ถอนรากโคนทิ้งเสียก่อน จึงไม่ค่อยมีปัญหาในด้านการกำจัดวัชพืชที่เป็นไม้ต้น และไม้พุ่มเท่าใดนัก นอกจากในที่ดินที่ยังมีรากไม้ต้น และไม้พุ่มหลงเหลืออยู่ ต้องคอยหมั่นดูแลขุดทำลายเสีย หรือใช้สารกำจัดวัชพืชทำลายโคนต้นให้เน่าผุก่อนวัชพืชก็จะค่อยๆลดน้อยลงไป ส่วนวัชพืชที่เป็นปัญหาในด้านการกำจัด ได้แก่ พวกไม้ต้นเล็กเนื้ออ่อน หรือพืชล้มลุก ซึ่งแบ่งออกได้ตามอายุเป็น 2 พวก ได้แก่ พืชล้มลุก อายุสั้น มีวงชีพอยู่ได้เพียงฤดูเดียว (annual) และพืชต้นเล็กเนื้ออ่อน ยืนต้น มีอายุข้ามปีหรือตั้งแต่ 2 ปีขึ้นไป (perennial) พืชพวกนี้มักจะมีไหล (stolon) ซึ่งสามารถแตกรากตามข้อที่นอนแตะพื้นดิน เช่น แห้วหมู หญ้าชันอากาศ หญ้าแพรก (รูปที่ 2.2)

**รูปที่ 2.2** หญ้าแพรก (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าวัชพืชจะเป็นพืชที่มนุษย์ไม่ต้องการ เพราะก่อให้เกิดความเสียหายทางการเกษตรและการคมนาคมทางน้ำ แต่วัชพืชอีกหลายชนิดก็สร้างประโยชน์ได้อย่างมากมาย เช่น

1. วัชพืชช่วยป้องกันการพังทลายของดิน ในสภาพพื้นที่ลาดชันอาจเกิดการชะล้างพังทลายของดินได้ง่าย ในกรณีที่เกิดฝนตกและน้ำไหลบ่า ถ้ามีวัชพืชปกคลุมผิวดิน โดยเฉพาะวัชพืชที่มีระบบรากแผ่กระจายดี เช่น วัชพืชตระกูลหญ้า และมีวัชพืชยืนต้นช่วยยึดดินในแนวลึก จะทำให้การชะล้างพังทลายของหน้าดินลดลง

2. วัชพืชช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน การไถกลบวัชพืชลงไปในดิน หรือวัชพืชที่ตายโดยการใช้สารกำจัดวัชพืชหรือตายไปเองตามวงจรชีวิต เมื่อเศษซากย่อยสลายเท่ากับเป็นการนำแร่ธาตุอาหารกลับลงสู่ดินอีกครั้ง ช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น

3. วัชพืชใช้เป็นอาหารของมนุษย์ มีวัชพืชหลายชนิดที่สามารถนำมาเป็นอาหารได้ เช่น ผักบุ้ง ผักแว่น ขาเขียด ผักตบไทย ผักแขยง ตาลปัตรฤษี และสันตะวาใบพาย วัชพืชเหล่านี้สามารถนำมาบริโภคเป็นผักสด ต้มจิ้มน้ำพริกหรือแกง บางชนิดมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ผักบุ้ง ผักแว่น

4. วัชพืชใช้เป็นสมุนไพร วัชพืชหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นสมุนไพร เช่น ผักบุ้งใช้น้ำคั้นเป็นยาทำให้อาเจียนแก้พิษของฝิ่นและสารหนู ใช้เข้ายาร่วมกับสมุนไพรอื่นสำหรับอบไอน้ำ ช่วยทำให้เลือดลมหมุนเวียนสะดวก แก้ลมวิงเวียน ผักตบไทยใช้น้ำคั้นจากใบกินแก้ไอ ใช้เหง้ามาบดกับถ่านทาแก้รังแค ผักแขยงมีน้ำมันหอมระเหยซึ่งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค ใช้ขับน้ำนมและเป็นยาระบาย

5. วัชพืชใช้ทำปุ๋ยหมัก มีวิธีกำจัดวัชพืชหลายชนิดที่ดีกว่าการนำไปทิ้ง คือ การนำวัชพืชมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพดีแล้วนำไปปรับปรุงบำรุงดินเพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุ และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน ส่งผลให้การใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีลดลง ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงด้วย เช่น ผักตบชวา จอก หญ้าแพรก

## 2.3 ไส้เดือนแอฟริกา

ไส้เดือนเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในไฟลัมแอนเนลิดา(*Annelida*) ในอันดับย่อย Lumbricina มีลักษณะลำตัวเป็นข้อปล้อง พบได้ทั่วไปในดิน ใต้กองใบไม้ หรือใต้มูลสัตว์ เป็นสัตว์ที่มี 2 เพศในตัวเดียวกัน แต่มีการสืบพันธุ์แบบทั้งอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ ไส้เดือนมีประโยชน์ในด้านการปรับปรุงโครงสร้างและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินโดยช่วยพลิกกลับดิน ทำให้เกิดการผสมคลุกเคล้าแร่ธาตุในดิน อีกทั้งยังเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน ซากพืช ซากสัตว์และอินทรียวัตถุต่างๆ ทำให้ธาตุอาหารต่างๆอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ช่วยเพิ่มและกระจายจุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เพราะการขอนไชของไส้เดือนทำให้ดินร่วนซุย มีการระบายน้ำ และอากาศดีขึ้น ที่สำคัญไส้เดือนจัดเป็นดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อม (bio-index) ในการชี้วัดถึงการปนเปื้อนของสารพิษต่างๆในดิน เนื่องจากไส้เดือนมีไขมันที่สามารถดูดซับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชบางกลุ่มได้ ทำให้ไส้เดือนเป็นตัวชี้วัดถึงสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในดินได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

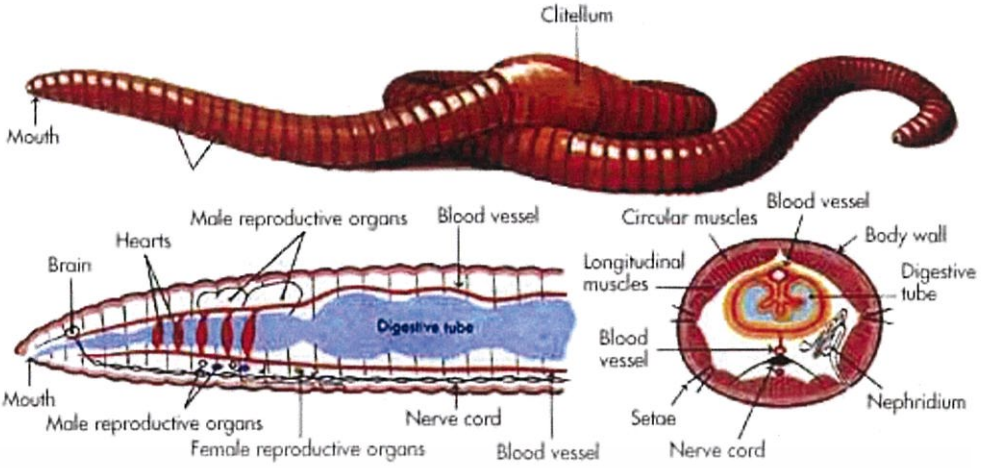
ไส้เดือนแอฟริกามีชื่อสามัญ African Nightcrawler ชื่อวิทยาศาสตร์ *Eudrilus eugenine* เป็นไส้เดือนชนิดหนึ่งที่นิยมเลี้ยงกันอยู่ในขณะนี้และเป็นที่นิยมนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อเป็นอาหารสัตว์เลี้ยง กำจัดขยะของเสีย และนำมูลมาทำเป็นปุ๋ย เนื่องจากไส้เดือนสายพันธุ์แอฟริกามีลักษณะลำตัวใหญ่เลี้ยงง่ายเป็นไส้เดือนที่อาศัยอยู่หน้าดิน กินอาหารที่เป็นอินทรีย์วัตถุทุกชนิด เช่น มูลสัตว์ เศษอาหาร เศษวัสดุทางการเกษตร เศษผัก วัชพืช และใบไม้ ในการเลี้ยงดูต้องมีการควบคุมปัจจัยการเลี้ยง และปริมาณอาหารที่เหมาะสม จะสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว (บพิธและนันทพร, 2544)

**2.3.1 ลักษณะโดยทั่วไปของไส้เดือน** (นิรันดร์, 2547)

ไส้เดือนมักพบโดยทั่วไปในดิน เศษกองซากพืช มูลสัตว์ ที่ๆมีความชื้นพอสมควร ปัจจุบันพบไส้เดือนทั่วโลกประมาณ 4,400 ชนิด โดยแบ่งตามลักษณะแหล่งที่อยู่อาศัยออกเป็น 1) กลุ่มอาศัยอยู่บริเวณหน้าดิน 2) กลุ่มอาศัยในดินชั้นบน ที่มีความลึกประมาณ 20-30 เซนติเมตร 3) กลุ่มอาศัยในดินชั้นล่าง ที่มีความลึกประมาณ 2-3 เมตร โดยมีโครงสร้างที่มีลักษณะเหมือนกัน (รูปที่ 2.3) ได้แก่

- เป็นสัตว์ที่มีลำตัวยาวลำตัวเป็นปล้องทั้งภายนอกและภายในร่างกายโดยมีเยื่อกั้นระหว่างปล้อง
- มีช่องลำตัวที่แท้จริงแบบ Schizocoelomate ซึ่งเป็นซีลอมที่เกิดจากเนื้อเยื่อชั้นกลางแยกออกเป็นช่องและช่องนี้ขยายตัวออกจนเป็นซีลอม
- ผนังลำตัวชั้นนอกสุดเป็นคิวติเคิล ที่ประกอบด้วยสารจำพวกโพลีแซคคาไรด์ เจลาติน และชั้นอิพิเดอร์มิส มีเซลล์ต่อมชนิดต่างๆ ที่ทำหน้าที่สร้างน้ำเมือกทำให้ผิวลำตัวชุ่มชื้นถัดลงไปเป็นกล้ามเนื้อตามขวางและกล้ามเนื้อตามยาวและชั้นในสุดเป็นเยื่อบุช่องท้องแบ่งแยกระหว่างช่องลำตัวกับผนังร่างกาย
- มีขนแข็งสั้นที่เป็นสารจำพวกไคติน งอกออกมาในบริเวณรอบลำตัวของแต่ละปล้อง
- มีระบบทางเดินอาหารที่สมบูรณ์ คือมีปาก และทวารหนัก โดยมีลำไส้เป็นท่อตรงยาวตลอดลำตัว
- ระบบขับถ่ายประกอบด้วยอวัยวะที่เรียกว่า เนฟริเดีย ตั้งอยู่บริเวณด้านข้างของลำตัวปล้องละ 1 คู่
- ระบบหมุนเวียนโลหิตเป็นแบบปิด
- ระบบแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นแบบการแพร่ผ่านผนังลำตัว
- มีระบบประสาท ประกอบด้วย ปมประสาทสมองด้านหลังลำตัวในบริเว่ณส่วนหัว 1 คู่ เส้นประสาทรอบคอหอย 1 คู่ และเส้นประสาทด้านท้องทอดตามความยาวของลำตัวอีก 1 คู่
- มีอวัยวะรับสัมผัส ประกอบด้วย ปุ่มรับรส กลุ่มเซลล์รับแสง
- เป็นสัตว์ที่มีสองเพศอยู่ในตัวเดียวกัน คือ ประกอบด้วย รังไข่และถุงอัณฑะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.3** ลักษณะโครงสร้างของไส้เดือน (บพิธและนันทพร, 2544)

**2.3.2 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของไส้เดือนดิน**

การเจริญเติบโตของไส้เดือนเมื่อฟักออกจากถุงไข่แล้ว ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบอย่างมากต่อระยะเวลาเจริญเติบโตของไส้เดือน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ขึ้นอยู่กับการดำรงชีวิตของแต่ละสายพันธุ์ บางสายพันธุ์ใช้เวลาเติบโต 17-19 สัปดาห์ เมื่อเลี้ยงที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียล บางสายพันธุ์ใช้เวลา 13 สัปดาห์ที่ 18 องศาเซลเซียล ไส้เดือนดินจะมีอายุขัยยืนยาวถึง 4 – 25 ปี ขึ้นอยู่กับแต่ละสายพันธุ์ สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงไส้เดือนดินอยู่ที่ประมาณ 15-25 องศาเซลเซียล ในฤดูฝนที่มีความชื้นสูงไส้เดือนจะสร้างถุงไข่ได้มากกว่าช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว ดังนั้นอุณหภูมิและสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมสามารถทำให้ชีวิตของไส้เดือนดำรงชีวิตได้ยาวนานขึ้น

**2.3.3 ประโยชน์ของไส้เดือน** (อานัฐ, 2543)

การเคลื่อนที่ในดินของไส้เดือนถือเป็นการพรวนดิน ทำให้เกิดช่องว่าง เพิ่มปริมาณออกซิเจน และจากสภาพทั่วไปตามธรรมชาติ มักพบไส้เดือนอยู่ทั่วไปตามบริเวณดินชุ่มชื้นร่วนซุย หากินอยู่ตามผิวดินและชอนไชไปตามชิ่งว่างของเม็ดดิน มักกินเศษใบไม้ พืชผัก และวัชพืชเป็นอาหาร พักผ่อนเวลากลางวัน ออกหากินเวลากลางคืน ไส้เดือนมีประโยชน์หลายประการ ได้แก่

1. ช่วยพลิกกลับดิน นำดินด้านล่างขึ้นมาด้านบนโดยการกินดินที่มีแร่ธาตุบริเวณด้านล่างและถ่ายมูลบริเวณผิวดินด้านบน ช่วยให้เกิดการผสมคลุกเคล้าแร่ธาตุในดิน นำแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในชั้นใต้ดินขึ้นมาด้านบนให้พืชดูดนำไปใช้ได้

2. ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน ซากพืช ซากสัตว์ และอินทรียวัตถุต่างๆ ทำให้ธาตุต่างๆ อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ในรูปแอมโมเนียและไนเตรท และอีกกลายชนิด รวมทั้งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชและวิตามินจะถูกปลอดปล่อยออกมาด้วย

3. ช่วยเพิ่มและแพร่กระจายจุลินทรีย์ในดินที่มีประโยชน์ต่อพืช เช่น ไรโซเบียม ไมคอร์ไรซา ในบริเวณรากพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การชอนไชของไส้เดือนทำให้ดินร่วนซุย การถ่ายเทน้ำและอากาศดี ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น เพิ่มช่องว่างในดินทำให้รากพืชชอนไชได้ดี

**2.3.4 ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน** (สุมา, 2549)

ไส้เดือนเป็นสิ่งมีชีวิตเล็กๆชนิดหนึ่งที่อาศัยอยู่ในดิน ช่วยสร้างความสมบูรณ์ให้แก่ดิน จะสังเกตได้ว่าบริเวณที่มีไส้เดือนอยู่มากจะมีความสมบูรณ์กว่าบริเวณทั่วไป 5-10 เท่า จึงมีการทำปุ๋ยหมักโดยนำไส้เดือนมาเป็นตัวช่วยในการย่อยวัสดุทางธรรมชาติ เช่น วัชพืช เศษผัก เศษผลไม้ เป็นต้น โดยไส้เดือนจะทำการกิน ย่อย และขับถ่ายออกมากลายเป็นปุ๋ยที่มีคุณภาพสูง ในระยะเวลาอันรวดเร็ว

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน (Vermicompost) หมายถึง เศษซากอินทรีย์วัตถุต่างๆ รวมทั้งดินและจุลินทรีย์ที่ไส้เดือนดินกินเข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุเหล่านั้นภายในลำไส้ของไส้เดือน แล้วจึงขับถ่ายเป็นมูลออกมาทางรูทวาร ซึ่งมูลที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดสีดำ มีธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ในปริมาณที่สูงและมีจุลินทรีย์จำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ไส้เดือน ขยะอินทรีย์ที่ไส้เดือนกินเข้าไป และผ่านการย่อยสลายในลำไส้แล้วขับถ่ายออกมามูลไส้เดือนดินที่ได้เรียกว่า “ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน”

ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของปุ๋ยหมักไส้เดือนมีลักษณะเป็นเม็ดร่วนละเอียด มีสีดำออกน้ำตาล โปร่งเบา มีความพรุนระบายน้ำและอากาศได้ดีมาก มีความจุความชื้นสูงและมีประมาณอินทรียวัตถุสูงมาก ซึ่งผลจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ที่ไส้เดือนดูดกินเข้าไปภายในลำไส้ และด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้และน้ำย่อยของไส้เดือนจะช่วยให้ธาตุอาหารหลายๆ ชนิดที่อยู่ในเศษอินทรียวัตถุเหล่านั้นถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น เปลี่ยนไนโตรเจน ให้อยู่ในรูปไนเตรทหรือแอมโมเนีย ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบของธาตุอาหารพืชชนิดอื่นและจุลินทรีย์หลายชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อดิน รวมทั้งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในลำไส้ของไส้เดือนอีกด้วย

การใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดินในการปลูกพืชจะส่งผลให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้น คือ ทำให้ดินกักเก็บความชื้นได้มากขึ้น มีความโปร่งร่วนซุย รากพืชสามารถชอนไช และแพร่กระจายได้กว้างขวาง ดินมีการระบายน้ำและอากาศได้ดี ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์บริเวณรากพืชสามารถสร้างเอนไซม์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่ปนออกมากับมูลของไส้เดือนดินยังสามารถสร้างเอ็นไซม์ฟอสฟาเตสได้อีกด้วย ซึ่งจะมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในดินให้สูงขึ้นได้

## 2.4 ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ย หมายถึง สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม ใช้สำหรับเป็นธาตุอาหารแก่พืช เพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช (นงลักษณ์, 2537) ตามหลักวิชาการปุ๋ยจำแนกเป็น 3 ประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปุ๋ยเคมี คือปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสมและปุ๋ยเชิงประกอบและยังรวมถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ แต่ไม่นับรวมสารจำพวกปูนมาร์ล ปูนขาว ปูนพลาสเตอร์หรือยิปซัม

2. ปุ๋ยอินทรีย์ คือปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร้อน หรือวิธีการอื่นๆ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด

3. ปุ๋ยชีวภาพ คือปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารแก่พืช ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพไรโซเดียม ปุ๋ยชีวภาพไมโคไรซ่า ปุ๋ยชีวภาพ PGR 1 ปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต

ปุ๋ยหมัก (compost) คือ ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยธรรมชาติชนิดหนึ่ง ที่ได้มาจากการนำเอาเศษซากพืช เช่น ใบมะม่วงแห้ง หญ้าแพรก ฟางข้าว ซังข้าวโพด ต้นถั่วต่าง ๆ หญ้าแห้ง ดอกจอก ผักตบชวา ของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนขยะมูลฝอยตามบ้านเรือนมาหมักรวมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งจุลินทรีย์ เมื่อหมักโดยใช้ระยะเวลาหนึ่งแล้ว เศษพืชจะเปลี่ยนสภาพจากของเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ยสีน้ำตาล ปนดำ และสามารถนำไปใส่ในไร่นาหรือพืชสวน เช่น ไม้ผล พืชผัก หรือไม้ดอกไม้ประดับได้ ปุ๋ยหมักเป็นสิ่งที่มีคุณค่ามากในทางการเกษตร แต่ก็ยังไม่ได้รับความสนใจหรือแพร่หลายเท่าที่ควร เนื่องจากสาเหตุหลายประการด้วยกัน เช่น เกษตรกรยังไม่ตระหนักถึงความสำคัญที่แท้จริงของปุ๋ยหมักในการช่วยปรับปรุงดินให้ดีขึ้น หรือช่วยรักษาสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินให้ดีอยู่เสมอ ไม่เสื่อมโทรมลง เกษตรกรยังขาดแหล่งข้อมูลที่จะให้ความรู้ความเข้าใจในการทำปุ๋ยหมักอย่างถูกวิธี ทำให้ปุ๋ยหมักต้องใช้ในปริมาณมาก และมักไม่เห็นผลอย่างชัดเจนในระยะเวลาอันสั้น การใช้ปุ๋ยหมักนั้นเป็นการสะสมอาหารให้แก่พืชและบำรุงดินให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชอยู่เสมอ โดยปราศจากการเสี่ยงต่อการสูญเสียคุณสมบัติที่ดีของดิน เพราะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดินให้ดีขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับการใช้งานโดยปุ๋ยเคมี พบว่าเมื่อมีการใช้งานไปนานๆ มักมีผลทำให้คุณภาพของดินเสื่อมลงประกอบกับปุ๋ยเคมีมีราคาแพงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเคมีบางครั้งไม่คุ้มกับต้นทุนที่เสียไป (ธันวดี, 2547)

**2.4.1 ประเภทของกระบวนการหมักปุ๋ย** (ธีรพงษ์, 2548)

กระบวนการหมักปุ๋ยสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ การหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจน และการหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้ออกซิเจน

**2.4.1.1 การหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Composting)**

จุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนจะย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เซลลูโลส กรดอะมิโน ฯลฯ ในสภาวะที่มีออกซิเจน และได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารคงตัวหรือฮิวมัส น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และพลังงานความร้อน แสดงในสมการที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Organic matter} + O_2 + \text{Nutrients} \xrightarrow{\text{Aerobic Bacteria}} \text{New Cells} + \text{Resistant Organics} + H_2O + CO_2 + NH_3 + SO_2 + \text{Heat} \quad (2.1)$$

กระบวนการหมักปุ๋ยประกอบด้วยกลไกที่สำคัญ 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. การย่อยสลายอย่างเข้มข้น (Intensive rotting phase) เกิดขึ้นในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก อุณหภูมิของการหมักจะสูงถึง 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียประเภทมีโซฟิลิค (Mesophilic bacteria) หลังจาก 24 ชั่วโมงแล้วอุณหภูมิของการหมักจะสูงขึ้น จนถึงประมาณ 75 องศาเซลเซียส ช่วงนี้การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียประเภทเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic bacteria) และอุณหภูมิที่สูงระดับนี้จะทำให้เชื้อโรคที่อยู่ในวัสดุหมักส่วนใหญ่ตายได้ ระยะเวลาของการเกิดกลไกนี้จะประมาณ 3-6 สัปดาห์ หรือตั้งแต่ 1-5 วัน ขึ้นอยู่กับวิธีการหมักและองค์ประกอบของวัสดุหมัก

2. การย่อยสลายขั้นสุดท้าย (Final rotting phase) หลังจากที่การย่อยสลายอย่างเข้มข้นเสร็จสิ้นแล้ว อุณหภูมิของวัสดุหมักจะค่อยๆลดลงจนเหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส อินทรียสารที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น พวกเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายในขั้นนี้ จะใช้เวลาตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไปจนถึง 1 ปี การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะมีกลุ่มจุลินทรีย์พวกรา ได้แก่ ฟังไจ (fungi) และแอคติโนมัยซิส (actinomycetes) ช่วยในการย่อยสลายสารที่ย่อยสลายได้ยากที่เหลืออยู่ด้วย

**2.4.1.2 การหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Composting)**

อาศัยจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์สร้างกรด (Acid Forming Anaerobic Composting) และจุลินทรีย์สร้างมีเทน (Methanogenic Anaerobic Bacteria) เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารคงตัว ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และพลังงานความร้อน แสดงในสมการที่ 2.2

$$\text{Organic matter} + \text{Nutrients} \xrightarrow{\text{Anaerobic Bacteria}} \text{New Cells} + \text{Resistant Organics} + CH_4 + CO_2 + NH_3 + H_2S + \text{Heat} \quad (2.2)$$

**2.4.2 หลักในการทำปุ๋ย**

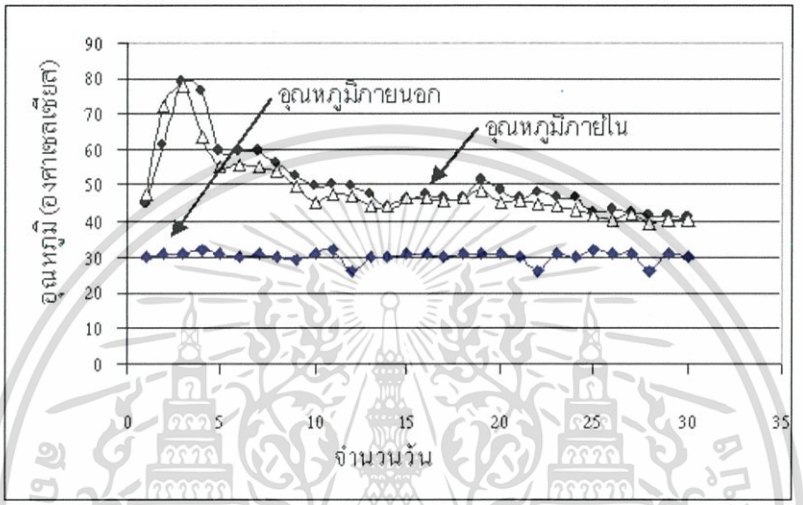
เมื่อนำวัสดุอินทรีย์มาหมัก จะเกิดความร้อนขึ้นภายในกองปุ๋ย หลังจากการหมักผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้ว ความร้อนภายในกองปุ๋ยหมักจะค่อยๆลดลง เศษพืชที่เปื่อยยุ่ยจะมีสีคล้ำขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดกองปุ๋ยก็เย็นตัวลง เศษพืชก็แปรสภาพไปกลายเป็นปุ๋ยหมัก ที่มีเนื้อปุ๋ยร่วนๆเป็นขุยยุ่ย นุ่มมือ สีน้ำตาลเข้ม และไม่มีกลิ่นเหม็น

ปุ๋ยหมักที่สลายตัวได้ที่แล้ว เป็นวัสดุที่ค่อนข้างทนทานต่อการย่อยสลาย ดังนั้น เมื่อใส่ลงไปในดิน ปุ๋ยหมักจึงสลายตัวได้ช้า ไม่รวดเร็วเหมือนกับการไถกลบเศษพืชโดยตรง ซึ่งก็นับว่าเป็นลักษณะที่ดีอย่างหนึ่งของปุ๋ยหมัก เพราะทำให้ปุ๋ยหมักสามารถปรับปรุงดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจริญเติบโตของพืชได้เป็นระยะเวลานานๆ ปุ๋ยหมักบางส่วนจะคงทนอยู่ในดินได้นานเป็นปี แต่ก็มีบางส่วนที่ถูกย่อยสลายไป ในการย่อยสลายนี้จะมีแร่ธาตุอาหารพืชถูกปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยหมักให้พืชได้ใช้อยู่ตลอดเวลาและสม่ำเสมอ

จากภาพแสดงค่าอุณหภูมิที่สูงใน 2-5 วันแรก เหมาะกับการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิก หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิลดลงจะเป็นการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิก (รูปที่ 2.4)




**รูปที่ 2.4** ค่าอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจากการวิจัย (เสียงแจ่วและนวลจันทร์, 2537)

**2.4.3 วิธีการทำปุ๋ยหมัก** (สมศักดิ์, 2554)

**2.4.3.1 รูปแบบการกองปุ๋ยหมัก**

รูปแบบการกองและขนาดของกองปุ๋ยหมักจะใช้แบบใดก็ได้ขึ้นอยู่กับความสะดวกในการดูแลรักษา และเหมาะกับสภาพพื้นที่เป็นสำคัญ โดยถ้าหากมีเศษพืชมากก็กองขนาดใหญ่ได้แต่ถ้ามีเศษพืชน้อยก็กองขนาดให้เล็กลงมาเท่าที่มีเศษพืชอยู่ การกองปุ๋ยหมักแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ

1. กองบนพื้นดินธรรมดา เป็นวิธีที่สะดวกและง่ายที่สุด เหมาะสำหรับสภาพพื้นที่ที่ราบไม่มีน้ำขังหรือน้ำท่วมถึง พื้นอาจเป็นพื้นดินธรรมดาหรือพื้นซีเมนต์ก็ได้ ขนาดของกองควรกว้าง 2-3 เมตร ความยาวไม่จำกัด โดยทั่วไปใช้ 4-6 เมตร ความสูงประมาณ 1-1.5 เมตร

2. กองในคอก เหมาะสำหรับการกองไว้บริเวณบ้านเพื่อความสวยงามและกันสัตว์มาคุ้ยเขี่ยทำให้บ้านเรือนสะอาด เหมาะสำหรับเกษตรกรที่ต้องการทำปุ๋ยหมักเป็นการถาวรคือกองปุ๋ยหมักได้ตลอดทั้งปีในคอกนี้โดยลงทุนเพียงครั้งเดียวใช้ได้นานหลายปี โดยคอกที่สร้างอาจจะสร้างคอกด้วยไม้อิฐบล๊อค หรือซีเมนต์ โดยสร้างคอกให้มีขนาดกว้างxยาวxสูง = 2x4x1 เมตร หรือ 3x6x1 เมตร และกองปุ๋ยหมักเพียง ¾ ของคอก ส่วนที่เหลือ ¼ ของคอกใช้สำหรับเป็นพื้นที่ในการกลับกองปุ๋ยหมัก

3. กองในหลุม เหมาะสำหรับในพื้นที่ดอนหรือลาดเทเล็กน้อยและขาดแคลนน้ำ การกองปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมักในหลุมจะทำให้การระเหยของน้ำลดน้อยลง ทำให้ลดการให้น้ำในระยะหลังจากที่กองเสร็จแล้ว หลุมอาจเป็นหลุมดินหรือหลุมซีเมนต์ โดยอาจจะกองหลุมเดียวหรือกองสองหลุมก็ได้ โดยขุดหลุมให้มีขนาด กว้าง x ยาว x ลึก = 2 x 4 x 0.5 –1.0 เมตร หรือ 3 x 6 x 1 เมตร กองปุ๋ยหมักเพียงครึ่งเดียว พื้นที่ส่วนที่เหลือสำหรับใช้ในการกลับกองปุ๋ยหมักกรณีกองหลุมเดียว ถ้ากองสองหลุมก็สามารถกองปุ๋ยหมักให้เต็มหลุมได้ ส่วนอีกหลุมหนึ่งใช้สำหรับในการกลับกองปุ๋ย

**2.4.3.2 วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก**

วัสดุมากมายหลายชนิดสามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักได้ ขึ้นอยู่กับวัสดุที่มีในท้องถิ่นนั้น โดยในการทำปุ๋ยหมักอาจจะใช้เศษพืชเพียงชนิดเดียวหรือหลายๆชนิดผสมกันก็ได้ ซึ่งสามารถจำแนกวัสดุที่สามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักได้ดังนี้

1. เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เศษวัสดุที่เหลือทิ้งจากไร่นา เช่น หญ้าแพรก ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ต้นถั่วต่าง ๆ เศษวัชพืช ซังข้าวโพด ใบอ้อย ต้นปอ เศษกก ใบไม้แห้ง ฯลฯ
2. เศษวัสดุที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น กากอ้อย กากสับปะรด กากมันสำปะหลัง แกลบ ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว เปลือกผลไม้ ตลอดจนเศษเนื้อต่างๆ เป็นต้น
3. เศษขยะที่มีอยู่ในครัวเรือน
4. วัชพืชน้ำ เช่น ผักตบชวา จอก แหน และ สาะในแม่น้ำลำคลอง
5. มูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ ตลอดจน หน้าดินที่มีความอุดมสมบูรณ์
6. ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เพื่อใช้เร่งให้เศษพืชสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วยิ่งขึ้น
7. สารเร่งประเภทจุลินทรีย์ (สารตัวเร่งสำหรับผลิตปุ๋ยหมัก) เพื่อช่วยย่อยให้เศษพืชสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วขึ้น

วัสดุอินทรีย์ที่ใช้ทำปุ๋ยหมักแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ วัสดุที่ย่อยสลายง่าย และวัสดุที่ย่อยสลายยาก โดยใช้ค่าสัดส่วนที่เป็นองค์ประกอบหลักในวัสดุเป็นเกณฑ์ คือสัดส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจน หรือ C/N ratio ถ้าเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย เป็นวัสดุประเภทที่มีสัดส่วนต่ำกว่า 100:1 และวัสดุที่ย่อยสลายยาก เป็นวัสดุประเภทที่มีสัดส่วนสูงกว่า 100:1 ซึ่งวัสดุทั้ง 2 กลุ่มมีองค์ประกอบที่เป็นธาตุอาหารพืชหลัก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 - 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์บางชนิดที่สามารถนำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้ (สมศักดิ์, 2554)

| ตัวอย่าง | %N | %P | %K | %OM | %Ca | %Mg | %Mn | %Zn | %Cu | %Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| แกลบ | 0.35 | 0.014 | 0.52 | 0.22 | 0.22 | 0.027 | 0.039 | 0.002 | 0.001 | 2.744 |
| ใบยาสูบ | 1.77 | 0.347 | 3.18 | 2.49 | 2.49 | 0.248 | 0.009 | 0.005 | 0.002 | 0.166 |
| กากตะกอนหม้อกรองน้ำอ้อย | 1.96 | 2.670 | 1.13 | 5.91 | 5.91 | 0.350 | 0.055 | 0.020 | 0.003 | 1.904 |
| ขี้เถ้าเตา | 0.15 | 0.233 | 1.78 | 0.50 | 0.50 | 0.145 | 0.021 | 0.010 | 0.001 | 0.702 |
| อ้อย | 0.47 | 0.018 | 0.40 | 0.58 | 0.58 | 0.030 | 0.004 | 0.003 | 0.001 | 0.549 |
| กากอ้อย | 0.34 | 0.018 | 0.35 | 0.11 | 0.11 | 0.019 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.034 |
| ใบอ้อย | 0.94 | 0.149 | 1.53 | 0.29 | 0.29 | 0.082 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.024 |
| ขี้เถ้าแกลบ | 0.22 | 0.008 | 0.50 | 0.05 | 0.05 | 0.057 | 0.013 | 0.010 | 0.001 | 0.042 |
| ซังข้าวโพดหวาน | 2.13 | 0.342 | 0.94 | 0.05 | 0.05 | 0.114 | 0.002 | 0.010 | 0.001 | 0.018 |
| เปลือกข้าวโพด | 1.37 | 0.197 | 1.38 | 0.10 | 0.10 | 0.087 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.031 |
| รำอ่อน | 2.64 | 2.521 | 2.09 | 0.03 | 0.03 | 0.617 | 0.008 | 0.010 | 0.001 | 0.015 |
| ขี้เลื่อยเพาะเห็ดแล้ว | 2.29 | 1.196 | 0.43 | 0.93 | 0.93 | 0.520 | 0.008 | 0.025 | 0.001 | 0.164 |

**ตารางที่ 2.2** คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายชนิดต่างๆ (สมศักดิ์, 2554)

| ชนิดของวัสดุ | N % | $P_2O_5$% | $K_2O$ % | C % | C/N | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ฟางข้าว | 0.55 | 0.09 | 2.39 | 48.82 | 89 | 8.20 |
| ผักตบชวา | 1.27 | 0.71 | 1.84 | 43.56 | 34 | 7.80 |
| หญ้าขน | 1.38 | 0.34 | 3.69 | 48.66 | 35 | 7.10 |
| ต้นข้าวโพด | 0.53 | 0.15 | 2.21 | 33.00 | 62 | 8.20 |
| มันสำปะหลัง | | | | | | |
| เปลือก (เปียก) | 0.60 | 0.22 | 0.67 | 48.85 | 81 | 3.60 |
| เปลือก (แห้ง) | 0.59 | 0.19 | 0.77 | 31.52 | 53 | 4.45 |
| เหง้า | 1.48 | 0.48 | 1.01 | 54.49 | 37 | 4.70 |

**ตารางที่ 2.3** คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากชนิดต่างๆ (สมศักดิ์, 2554)

| ชนิดของวัสดุ | N % | $P_2O_5$ % | $K_2O$ % | C % | C/N | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ไม้เบญจพรรณ | 0.32 | 0.16 | 2.45 | 62.70 | 196 | 5.40 |
| ไม้ยางเก่า | 0.25 | 0.15 | 0.53 | 56.37 | 225 | 7.40 |
| ไม้ยางใหม่ | 0.19 | 0.36 | 0.40 | 58.41 | 307 | 7.50 |
| ใบอ้อย | 0.49 | 0.21 | 0.58 | 51.52 | 105 | 6.20 |
| กากอ้อย | 0.40 | 0.15 | 0.44 | 57.69 | 146 | 6.05 |
| ขุยมะพร้าว | 0.36 | 0.05 | 2.94 | 60.13 | 167 | 6.15 |
| แกลบ | 0.36 | 0.09 | 1.08 | 54.72 | 152 | 6.18 |
| ต้นปอกระเจา (โรงงาน) | 0.45 | - | - | 51.83 | 115 | 5.30 |
| เปลือกเมล็ดปาล์มบด | 0.52 | 0.03 | 0.30 | 60.65 | 117 | 5.49 |
| ค่าเฉลี่ย | 0.37 | 0.15 | 1.09 | 57.15 | 170 | 6.19 |

**2.4.4 ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกระบวนการหมัก** (เสียงแจ่วและนวลจันทร์, 2537)

เนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้เกิดกระบวนการหมัก ดังนั้น สภาพแวดล้อมในกองหมักจึงต้องมีความเหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์และยังส่งผลต่อการย่อยสลายอีกด้วย ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายมีหลายปัจจัยด้วยกันดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4.4.1 ชนิดเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก**

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมักจนกระทั่งได้ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์นั้น เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์เป็นหลัก (รูปที่ 2.5) และยังเกิดจากจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกัน จึงแบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการหมักออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส และเชื้อรา ในกองปุ๋ยหมักความชื้นและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูง และมีความชื้นสูง ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงมักตรวจพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองปุ๋ย ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นน้อยกว่าในกองปุ๋ยหมัก จากการศึกษาเชื้อราในกองปุ๋ยหมักในช่วงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถพบเชื้อราได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อรา

**ก. เชื้อรา (Fungi)**

ในกองปุ๋ยหมักจะพบเชื้อราอยู่เสมอ ชนิดและปริมาณของเชื้อราจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก ความชื้น และอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก เชื้อราจะเจริญได้ดีในระยะแรกของการหมักปุ๋ย เนื่องจากในระยะแรกของการหมักกองปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก เพราะถ้ากองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความชื้นสูง ก็จะเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงมักพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองปุ๋ยหมักซึ่งมีอุณหภูมิ และความชื้นต่ำกว่าภายในกองปุ๋ยหมัก แต่เมื่อกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบเชื้อรา แต่ถ้าอยู่ในสภาพแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เชื้อรายังสามารถเจริญอยู่ได้ เชื้อรามีบทบาทในการย่อยสลายเศษวัสดุในกองปุ๋ยหมักให้มีขนาดเล็กลงในระยะแรกของการหมักในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักยังไม่สูงมากนักจะพบเชื้อราพวก *Geotrichum candidium* และ *Aspergillus fumigatus* เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 45-55 องศาเซลเซียส มักจะตรวจพบเชื้อราพวก *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะพบเชื้อราพวก *Penicilium duponti* แต่ชนิดของเชื้อราดังกล่าวที่พบนี้อาจจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก

**ข. แบคทีเรีย (Bacteria)**

เป็นจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุดในกองปุ๋ยหมัก ประมาณร้อยละ 80-90 ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในกองปุ๋ยหมักมีค่าประมาณ $2.3 \times 10^7$ เซลล์ต่อกรัม ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก แบคทีเรียมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายและเกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมัก อุณหภูมิในระยะแรกของการหมักภายในกองปุ๋ยหมักจะไม่สูงมากนัก แบคทีเรียส่วนใหญ่ที่พบมากจะเป็นพวก *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Cellulomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococcus* sp. และ *Achromobacter* sp. ระยะต่อมาของการหมักกองปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิภายในกองสูงมากขึ้น ในช่วงอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่เจริญได้ดีจะเป็ นพวก *Bacillus subtilis* และ *Bacillus stearothermophilus* ในช่วงที่อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น บางกรณีอาจสูงถึง 65-70 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่เจริญได้และสามารถทนความร้อนได้สูง ได้แก่ พวก *Thermus* sp.

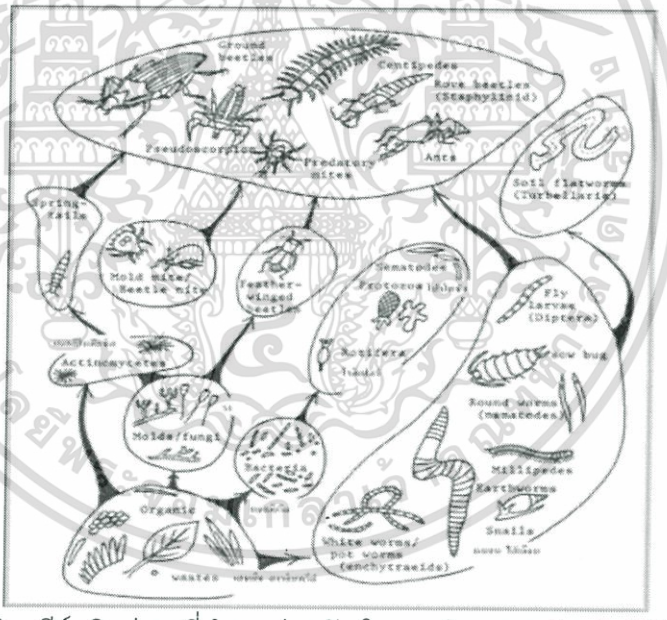
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง


ที่สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และพวก *Bacillus* sp. ที่สามารถสร้างสปอร์ได้ นอกจากนี้ ยังพบแบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ได้เช่นกัน แต่เจริญในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ได้แก่ *Clostridium* sp.

**ค. แอคติโนมัยซิส (Actinomycetes)**

แอคติโนมัยซิสจะมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าเชื้อราและแบคทีเรีย เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่มีอากาศพอเพียง เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 65-75 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 75 องศาเซลเซียส มักไม่พบเชื้อแอคติโนมัยซิส ลักษณะของเชื้อที่พบบนกองปุ๋ยหมักจะเจริญเป็นกลุ่มเห็นเป็นจุดสีขาวคล้ายๆผงปูน หลังจากอุณหภูมิสูงขึ้นจนสูงมาก เชื้อแอคติโนมัยซิทมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียสาร เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ไคติน และโปรตีน ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักขณะที่อุณหภูมิสูง โดยเชื้อแอคติโนมัยซิสที่พบในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ พวก *Thermoactionalmyces* sp. และ *Thermomonospora* sp. ซึ่งเป็นพวกที่สามารถผลิตเอ็นไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพและอาจพบ *Streptomyces* sp. และ *Micropolyspora* sp. ในกองปุ๋ยได้เช่นกัน




**รูปที่ 2.5** จุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่ทำงานร่วมกัน ในการย่อยสลายวัตถุดิบให้เป็นปุ๋ยหมัก (อานัฐ ต้นโช, 2551)

**2.4.4.2 การเติมอากาศ (Aeration)**

ระบายอากาศในกองปุ๋ยหมักจำเป็นมากสำหรับจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน เป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตและในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ช่วยระเหยน้ำออกจากกองหมักเพื่อให้มีความชื้นเหมาะสมและควบคุมอุณหภูมิในกองปุ๋ย ปริมาณอากาศที่ต้องการมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด ความชื้นของวัสดุหมัก และช่วงเวลาของกระบวนการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149066

ในช่วงเริ่มของการหมักมีความต้องการออกซิเจนสูงกว่าระยะบ่ม หากวัสดุที่หมักมีความชื้นสูงหรือมีขนาดเล็กจะทำให้วัสดุหมักเกิดการอัดตัวกันแน่น ทำให้ช่องระบายอากาศลดลงด้วย จึงต้องมีการเพิ่มการระบายอากาศ การระบายอากาศหรือการเพิ่มออกซิเจนทำได้โดยการพลิกกลับกองปุ๋ยและใช้อุปกรณ์เติมอากาศซึ่งจะส่งผลให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเร็วขึ้น การเติมอากาศไม่ควรเติมมากเกินไป เนื่องจากจะส่งผลให้อุณหภูมิและความชื้นของกองปุ๋ยลดลง การเติมอากาศสามารถจำแนกออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

**ก. การเติมอากาศโดยตรงหรือโดยวิธีแอคทีฟ**

เป็นการเติมอากาศให้กองหมักโดยการเติมอากาศเข้าสู่กองหมักโดยตรงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเติมอากาศโดยการพลิกกลับกองและการเติมอากาศด้วยอุปกรณ์เติมอากาศหรือใช้ปั๊มลม

- การเติมอากาศโดยการพลิกกลับกอง การเติมอากาศด้วยวิธีนี้ทำได้โดยใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรกล คือ เมื่อทำการพลิกกลับกองหมัก อากาศจากภายนอกจะเคลื่อนที่เข้าไปในกองหมัก จุลินทรีย์นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ การพลิกกลับกองช่วยเพิ่มความพรุนให้กองหมักอีกทางหนึ่ง และยังทำให้กองหมักมีการระบายอากาศที่ดีขึ้น

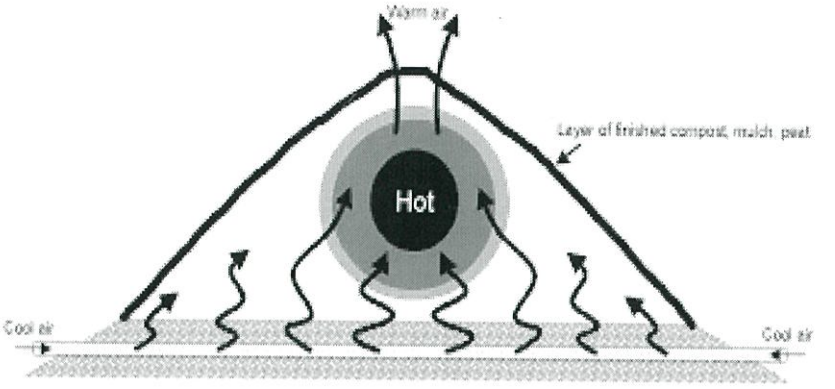
- การเติมอากาศแบบใช้ปั๊มลมหรืออุปกรณ์เติมอากาศ การเติมอากาศด้วยวิธีนี้ทำโดยใช้อุปกรณ์เติมอากาศหรือปั๊มลมนำอากาศเข้าไปสู่กองปุ๋ยหมักโดยตรงผ่านท่อเติมอากาศ หรือสามารถใช้ปั้มลมดูดอากาศออกจากกองหมัก ในขณะที่อากาศภายในกองหมักถูกดูดออกมาข้างนอก จะส่งผลให้อากาศจากภายนอกไหลเข้าสู่กองหมัก

**ข. การเติมอากาศทางอ้อมหรือโดยวิธีแพสซีฟ**

เป็นการเติมอากาศเข้าสู่กองหมักโดยอาศัยพลังงานความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหมัก คือ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายในกองหมัก อุณหภูมิภายในกองหมักจะสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอก อากาศร้อนภายในกองหมักจะขยายตัวแล้วลอยตัวสูงขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศตามแนวดิ่ง ในขณะเดียวกันอากาศเย็นภายนอกบริเวณรอบๆ กองหมักก็จะไหลเข้ามาแทนที่เข้าสู่กองหมัก วิธีนี้มีข้อดี คือ ไม่ต้องใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรกลในการเติม ตัวอย่างของรูปแบบการเติมอากาศวิธีนี้ได้แก่ การหมักแบบกองแถวที่ไม่มีการพลิกกลับกอง การหมักแบบเติมอากาศบนพื้นแบบจีน (Chinese ground-surface aerobic composting pile) การหมักในถังปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เครื่องเติมอากาศ การเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน

เมื่อนำวัสดุอินทรีย์มาหมัก จะเกิดความร้อนขึ้นภายในกองปุ๋ย การเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยแบบไม่พลิกกลับกองโดยอาศัยการพาความร้อน เรียกว่า การเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน (Chimney Convection) ทำให้มีอากาศไหลเวียนเข้ากองปุ๋ยได้โดยไม่ต้องพลิกกลับกองเลย ทำให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพอย่างเต็มที่และรวดเร็วขึ้น (รูปที่ 2.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.6** การเติมอากาศให้กับกองปุ๋ย (ธีระพงษ์, 2548)

**2.4.4.3 อุณหภูมิ (Temperature)**

เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการหมัก อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของกองหมักเกิดจากความร้อนจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ การได้ปุ๋ยหมักที่ปลอดภัยในการนำมาไปใช้ประโยชน์และมีผลต่อชนิดของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในระหว่างการหมัก การควบคุมอุณหภูมิภายในกองหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุดและเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เมื่อนำปุ๋ยหมักไปใช้ประโยชน์ โดยอุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่กองหมักจะมีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูงที่สุด อุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่อุณหภูมิมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส จะสามารถฆ่าเชื้อโรคในกองปุ๋ยได้

ความสูงของอุณหภูมิจะแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุหมักและขนาดของกองปุ๋ยด้วย อุณหภูมิที่สูงมากเกินจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ส่งผลให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง ทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลง เป็นเหตุให้อุณหภูมิค่อยๆลดลงโดยที่อุณหภูมิภายในกองหมักปุ๋ยจะมีการเปลี่ยนแปลง 4 ระยะด้วยกัน ดังนี้

1. **ระยะปรับตัว (Latent Phase)** เป็นระยะเริ่มต้นของการหมัก ซึ่งจุลินทรีย์จะทำการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม อุณหภูมิในช่วงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

2. **ระยะมีโซฟิลิค (Mesophilic Phase)** เป็นช่วงที่จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนมากขึ้นและทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงเกิดเป็นพลังงานความร้อน ส่งผลให้อุณภูมิในกองหมักสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในระยะนี้ คือ จุลินทรีย์ในกลุ่มมีโซฟิลิค (Masophilic Bacteria) ซึ่งจะได้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆเป็นผลิตภัณฑ์ จึงจะส่งผลให้พีเอชมีค่าลดลง

3. **ระยะเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic Phase)** เป็นช่วงที่อุณหภูมิในกองหมักจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ในระยะนี้จุลินทรีย์กลุ่มมีโซฟิลิคจะไม่ทำงานหรือตายลง จุลินทรีย์ในกลุ่มเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic Baceria) จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในระยะนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทน คือ ที่ช่วงอุณหภูมิ 50-65 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังสามารถฆ่าเชื้อโรคและทำลายไข่พยาธิได้ ถ้าอุณหภูมิในกองหมักสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ติดต่อกัน 24 ชั่วโมง เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายหมด พลังงานความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหมักจะน้อยกว่าการสูญเสียความร้อนของกองหมัก ทำให้อุณหภูมิค่อยๆ ลดลง

4. **ระยะบ่ม (Maturation Phase)** อุณหภูมิจะลดลงจนอยู่ในระยะมีโซฟิลิค จุลินทรีย์ในกลุ่มมีโซฟิลิคจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์อีกครั้งหนึ่งและอุณหภูมิจะลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศโดยรอบ ในระยะนี้มีการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้เป็นสารที่มีความคงตัว และยังเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันซึ่งจะทำการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรทและไนเตรตอีกด้วย

**2.4.4.4 ค่าพีเอช**

ในระหว่างการหมักค่าพีเอชจะอยู่ระหว่าง 6.0-9.0 โดยที่แบคทีเรียและเชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอช 6.0-7.5 และ 5.5-8.0 ตามลำดับ สารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีจะช่วยรักษาระดับพีเอชไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก การที่กองปุ๋ยหมักมีค่าพีเอชต่อเนื่องจากปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ เกิดกรดอินทรีย์จากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่ถ้ากองปุ๋ยมีค่าพีเอชสูงเกินไปนั้น เกิดจากแอมโมเนียมไปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งเป็นพิษต่อจุลินทรีย์และอาจก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น จะเห็นได้ว่าวัสดุหมักที่มีค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป ส่งผลให้กระบวนการหมักเกิดช้า จึงต้องปรับให้ค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่เป็นกลางก่อน ในทางปฏิบัติแม้ค่าพีเอชไม่ใช่ตัวควบคุมกระบวนการหมัก แต่เป็นประโยชน์สำหรับดูความเป็นไปของระบบการหมักที่ดำเนินการอยู่

**2.4.4.5 ความชื้น**

เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำในกองหมัก ซึ่งจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยปกติอุณหภูมิในกองหมักจะสูง ทำให้น้ำระเหยออกตลอดเวลา จึงต้องมีการเติมน้ำเพื่อปรับความชื้นไม่ให้มีมากหรือน้อยเกินไป ความชื้นนี้ยังมีผลต่อการระบายอากาศด้วย คือ ถ้าความชื้นมีมากการแพร่กระจายของอากาศในกองปุ๋ยหมักจะเกิดได้ยาก อาจก่อให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ความชื้นที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยมีค่าร้อยละ 50-60 (โดยน้ำหนัก) ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า แต่ถ้าความชื้นมีค่าสูงกว่าร้อยละ 80 จะทำให้การระบายอากาศไม่ดีจนทำให้เกิดสภาพไร้อากาศขึ้น ทำให้กระบวนการย่อยเกิดช้าเช่นกัน กรณีที่กองหมักแห้งหรือมีความชื้นน้อยเกินไป อาจเติมวัสดุสีเขียวเพิ่มลงไปในกองแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับกองหรือพรมน้ำให้กับกองหมัก ถ้ากองหมักโดนแดดมากเกินไป อาจต้องปิดฝาถังหมักหรือย้ายถังหมักเข้าในร่ม กรณีที่กองหมักแฉะหรือมีความชื้นมากเกินไป ก็อาจเติมวัสดุสีน้ำตาลเพิ่มลงไปในกองหมักแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันเพื่อลดความชื้นให้กับกองหมักหรือย้ายถังหมักออกกลางแจ้ง เปิดฝาถังหมักให้ได้รับแสงแดดหรือคอยพลิกกลับกอง เพื่อลดความชื้นให้กับกองหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4.4.6 ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)**

จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน และใช้ไนโตรเจนเพื่อสร้างโครงสร้างของเซลล์ในกระบวนการหมักปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นสารสำคัญและเป็นสารที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ซึ่งถ้าในการหมักมีค่าสัดส่วนของ C/N สูง คือ ปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอ จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ช้า ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายต่ำ ดังนั้น การเติมไนโตรเจนก็เพื่อปรับค่าสัดส่วนของ C/N ให้อยู่ ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ในการนำคาร์บอนและไนโตรเจนไปใช้การสร้างเซลล์ แต่ถ้าวัสดุหมักมีค่าสัดส่วนของ C/N ต่ำ คือ มีปริมาณไนโตรเจนมาก ทำให้การเจริญเติบโตและการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้ากองปุ๋ยมีการเติมอากาศไม่เพียงพออาจทำให้เกิดสภาพไร้อากาศได้ และหากปริมาณไนโตรเจนมีมากเกินจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนียซึ่งจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ค่าสัดส่วนของ C/N ที่นิยมใช้กันทั่วไปสำหรับวัสดุหมักที่เป็นสารอินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วง 25-30 ปุ๋ยหมักควรมีค่าสัดส่วนของ C/N ประมาณ 26-35 ซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อพืช

**2.4.4.7 ลักษณะเศษวัสดุ**

วัสดุที่นำมาใช้ในการหมัก นิยมนำเศษวัสดุจากการเกษตร การนำเศษวัสดุมาหมัก ควรคำนึงถึงความสดของเศษวัสดุ ขนาดของเศษวัสดุ เป็นต้น กรณีใช้เศษพืชสดมาทำการหมักอาจจะต้องระมัดระวังเรื่องความชื้น เนื่องจากเศษพืชสด จะมีปริมาณน้ำมาก ทำให้การระบายอากาศไม่ดี ซึ่งอาจทำให้เกิดการเน่าและส่งกลิ่นเหม็นได้ การทำปุ๋ยหมักจากเศษพืช นิยมใช้เศษพืชแห้งเนื่องจากสามารถควบคุมความชื้นและการระบายอากาศในกองปุ๋ยได้ ขนาดของเศษวัสดุ คือ สิ่งที่ควรคำนึงถึงด้วย เพราะถ้าขนาดของเศษวัสดุที่นำมาหมักมีขนาดเล็กอัตราการย่อยสลายจะเกิดเร็วกว่าเศษวัสดุที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์สัมผัสมาก จึงเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างทั่วถึง แต่ถ้าเศษวัสดุที่นำมาหมักมีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้ความพรุนในกองหมักลดลง ซึ่งจะทำให้ไปขัดขวางการระบายอากาศของกองหมักได้ โดยทั่วไปมีการเพิ่มความพรุนในกองหมักด้วยการนำวัสดุเพิ่มความพรุน (Bulking agents) เช่น ใบไม้แห้ง ขี้เลื่อย ก่อนนำไปหมัก

**2.4.5 เกณฑ์ในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วและสามารถนำไปใช้ประโยชน์** (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

เกณฑ์ในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ มี 3 เกณฑ์ ดังนี้

**2.4.5.1 ลักษณะทางกายภาพ** สีของวัสดุสีของวัสดุเศษพืชหลังจากเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ ลักษณะของวัสดุเศษพืชที่เป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะมีลักษณะอ่อนนุ่มและเปื่อยยุ่ย กลิ่นของวัสดุปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะไม่มีกลิ่นเหม็น หรือกลิ่นฉุน ความร้อนภายในกองปุ๋ยหมักจะมีลักษณะใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก

**2.4.5.2 ลักษณะทางเคมี** ค่าพีเอชวัสดุหมักที่เสถียรแล้ว ค่าพีเอชจะรักษาระดับที่ช่วง 7-8 ตลอดจนสิ้นสุดกระบวนการหมัก ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะต้องมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C/N ratio เท่ากับหรือน้อยกว่า 20 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วควรมีปริมาณน้อยกว่า 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Zucconi and de Bertoldi, 1987) หากวิเคราะห์พบแอมโมเนียไฮโดรเจนซัลไฟด์ แสดงว่าปุ๋ยหมักยังไม่ได้ที่ (Spohn, 1978) ค่าไนไตรต์ ไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนของปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วควรมีปริมาณมากกว่า 400 mg/kg (Trombetta *et al.*, 1988) กองปุ๋ยหมักต้องมีไนไตรต์และไนเตรตเกิดขึ้นจึงจะถือว่าปุ๋ยหมักได้ที่แล้ว (Finstein and Miller, 1985) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วจะต้องมีค่าต่ำสุดของ CEC เท่ากับ 60 meq/100g (Epstein, 1997) กรมพัฒนาที่ดินได้มีการกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ แสดงในตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

| คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ | หน่วย | |
|---|---|---|
| pH | - | 7.0 - 8.0 |
| EC | dS/m | 0.0 - 2.0 |
| C/N Ratio | - | 0.0 - 20:1 |
| OM | % | 35 - 40 |
| N | % | > 1.0 |
| P | % | > 0.5 |
| K | % | > 1.0 |
| ความชื้น | % | 0 - 35 |
| สิ่งเจือปน | % | 0 - 5 |

**2.4.5.3 ลักษณะทางชีวภาพ** ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 50 จึงจะยอมรับได้ว่าปุ๋ยหมักได้ที่ และไม่ขัดขวางการงอกของเมล็ดพืช ตามประกาศกรมวิชาการเกษตรว่าด้วยเรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 กำหนดปุ๋ยอินทรีย์ที่ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์มีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

**2.4.6 การดูแลรักษากองปุ๋ยหมัก**

หลังจากกองปุ๋ยหมักเสร็จแล้วจะต้องหมั่นตรวจตราดูแลกองปุ๋ยหมักอย่างสม่ำเสมอ โดยปฏิบัติดังนี้

1. จะต้องป้องกันไม่ให้สัตว์เข้าไปทำลายหรือคุ้ยเขี่ยกองปุ๋ยหมัก ถ้ากองแบบในคอกก็ไม่มีปัญหาแต่ถ้าเป็นการกองบนพื้นดินหรือในหลุมควรหาทางมะพร้าวหรือกิ่งไม้มาวางทับกองปุ๋ยหมักไว้เพื่อกันสัตว์มาคุ้ยเขี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการให้น้ำกองปุ๋ยหมักให้มีความชื้นพอเหมาะอยู่เสมอคือ ไม่ให้แห้งหรือแฉะเกินไป มีวิธีตรวจอย่างง่าย ๆ คือให้เอามือสอดเข้าไปในกองปุ๋ยหมักให้ลึก ๆ แล้วหยิบเอาชิ้นส่วนภายในกองปุ๋ยหมักมาบีบดู ถ้ามีน้ำติดอยู่ที่ฝ่ามือแสดงว่ากองปุ๋ยหมักมีความชื้นพอเหมาะไม่ต้องให้น้ำ ถ้าไม่มีน้ำติดฝ่ามือแสดงว่ากองปุ๋ยหมักแห้งเกินไปต้องให้น้ำในระยะนี้ แต่ถ้าบีบดูแล้วมีน้ำทะลักออกมาตามง่ามนิ้วมือแสดงว่ากองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป ไม่ต้องให้น้ำแต่ให้กลับกองปุ๋ยหมักเพื่อระบายความชื้นส่วนเกินออกไปจากกองปุ๋ยหมัก

3. การกลับกองปุ๋ยหมัก นับเป็นหัวใจสำคัญในการทำปุ๋ยหมัก จุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในกองปุ๋ยหมักต้องการอากาศหายใจ ดังนั้นการกลับกองปุ๋ยหมักนอกจากจะช่วยให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์แล้ว ยังเป็นการระบายความร้อนออกจากกองปุ๋ยหมักอีกด้วย ยิ่งมีการกลับกองปุ๋ยหมักมากเท่าใด โอกาสที่จะได้ปุ๋ยหมักไว้ใช้เร็วก็มากขึ้นเท่านั้น เพราะการกลับกองปุ๋ยหมักจะทำให้เศษพืชสลายตัวทั่วกันทั้งกองและได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีอีกด้วย ตามปกติควรกลับกองปุ๋ยหมักอย่างน้อย 10-14 วันต่อครั้ง

**2.4.7 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก** (สุรชัย, 2530)

ปุ๋ยหมักสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

**2.4.7.1 ใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน**

- ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดินทราย ดินที่หน้าดินถูกชะล้างและดินชั้นล่างที่นำมาใช้ในการเพาะปลูก

- ช่วยเพิ่มปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชที่สำคัญทั้งธาตุอาหารพืชหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม

- ช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินอยู่ตลอดเวลา โดยที่ธาตุอาหารพืชชนิดต่างๆ ค่อยๆ ละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช ช่วยให้ดินมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิต

- ช่วยให้ดินเหนียวซึ่งแน่นทึบมีความร่วนซุยและดินทรายมีการจับตัวกันดียิ่งขึ้น

- ช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดียิ่งขึ้น เพราะปุ๋ยหมักมีคุณสมบัติคล้ายกระดาษซับที่คอยซับน้ำและธาตุอาหารไว้ให้พืชใช้

- ช่วยป้องกันมิให้ดินสูญเสียหรือถูกชะล้างไปได้ง่ายเพราะปุ๋ยหมักช่วยซับน้ำและทำให้เม็ดดินเกาะกันดียิ่งขึ้น

- ช่วยเพิ่มกิจกรรมและปริมาณจุลินทรีย์ในดินซึ่งทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มขึ้น

**2.4.7.2 มูลค่าทางเศรษฐกิจ**

- ช่วยประหยัดและลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีราคาแพง เป็นการลดต้นทุนการผลิต

- ช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

- เป็นตัวสร้างอาหารปลาขึ้นมาอีกชนิดหนึ่ง นับว่าเกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจในทางการประมงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4.7.3 ใช้ในการปรับสภาพสิ่งแวดล้อม**

- ช่วยกำจัดขยะมูลฝอย ทำให้บริเวณสะอาด ถูกสุขลักษณะอนามัย

- ช่วยลดอุบัติเหตุได้ การทำลายเศษพืชโดยการนำไปเผาตอ ซังข้าว หรือเศษหญ้าข้างถนนเป็นวิธีไม่ถูกต้องทำให้เกิดรถชน จราจรติดขัดเกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน และก่อให้เกิดอากาศเป็นพิษ ถ้านำเศษพืชเหล่านั้นมาทำเป็นปุ๋ยหมักก็จะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้

- เป็นการกำจัดวัชพืชน้ำทั้งหลายให้หมดไป ทำให้สัตว์น้ำได้รับแสงแดดเต็มที่ และเจริญเติบโตขึ้น

**2.4.8 ข้อควรคำนึงในการกองปุ๋ยหมัก** (สมศักดิ์, 2554)

1.อย่ากองปุ๋ยหมักให้มีขนาดกองใหญ่จนเกินไปเพราะจะทำให้เกิดความร้อนเกิน 70 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์ตายได้ ขนาดกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมคือ ความกว้างไม่เกิน 2-3 เมตร ความยาวไม่จำกัด สูงประมาณ 1-1.50 เมตร

2.ถ้ากองปุ๋ยหมักมีขนาดกองเล็กเกินไปจะทำให้เก็บรักษาความร้อนและความชื้นไว้ได้น้อย ทำให้เศษพืชสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักได้ช้า

3.อย่ารดน้ำกองปุ๋ยหมักชุ่มจนเกินไป เพราะจะทำให้การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมักไม่ดี อาจทำให้เกิดกรดอินทรีย์บางอย่างเป็นเหตุให้มีกลิ่นเหม็นอับได้ง่าย

4.ถ้าเกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมักมาก ต้องเพิ่มน้ำให้กองปุ๋ยหมัก มิฉะนั้นจุลินทรีย์ที่ย่อยซากพืชจะตายได้หรือกลับกองปุ๋ยหมักเพื่อช่วยให้ความร้อนลดลง

5.ถ้าจะมีการใช้ปูนขาว อย่าใช้ปุ๋ยเคมีพร้อมกับการใส่ปูนขาวเพราะจะทำให้ธาตุไนโตรเจนสลายตัวไป กรณีใช้ฟางข้าวในการกองปุ๋ยหมักไม่จำเป็นต้องใช้ปูนขาว

6. เศษวัสดุที่ใช้ในการกองปุ๋ยหมักมีทั้งประเภทที่สลายตัวเร็วเช่น ฟางข้าว ผักตบชวา เปลือกถั่วและต้นถั่ว เศษวัชพืชต่าง ๆ และประเภทที่สลายตัวยาก เช่น แกลบ ขี้เลื่อย ขี้ลีบข้าว กากอ้อย ขุยมะพร้าว ซังข้าวโพด ดังนั้นในการกองปุ๋ยหมักไม่ควรนำเอาเศษวัสดุที่สลายตัวเร็วและสลายตัวยากกองปนกัน เพราะจะทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่ไม่สม่ำเสมอกัน เนื่องจากเศษพืชบางส่วนยังสลายตัวไม่หมด

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เสาวนิตย์ และสุรางค์รัตน์ (2549) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยหมักอัดเม็ดที่ทำจากเศษผัก พบว่า เวลาในการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษผักให้สมบูรณ์อยู่ในช่วง 2-3 เดือน ถ้ามีการใช้วัสดุผสม เช่น ฟางข้าว และมูลวัว เวลาในการผลิตปุ๋ยหมักจะนานขึ้น โดยปุ๋ยหมักที่ได้จะผ่านขบวนการอัดเม็ดและเม็ดปุ๋ย แต่ละเม็ดมีค่าความต้านทานแรงกดแตกอยู่ในช่วง 5-6 กิโลกรัม ความสามารถในการละลายน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานของปุ๋ยหมักได้แก่ ความชื้น ปริมาณสารระเหยง่าย ปริมาณเถ้า คาร์บอนคงตัว สารอินทรีย์ และค่าความเป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด่าง ปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเฉลี่ยร้อยละ 1.28, 0.41 และ 2.7 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ลดาวัลย์ (2546) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้แห้งและขยะอินทรีย์ ด้วยวิธีหมักแบบใช้ออกซิเจน พบว่า สภาวะการหมักขยะอินทรีย์ร่วมกับเศษใบไม้สับและมูลค้างคาว ต้องมีการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักอย่างสม่ำเสมอเป็นสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมีค่าอุณหภูมิกองปุ๋ยระหว่าง 21-38 องศาเซลเซียส มีความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 6-8 ทำให้ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพทางธาตุอาหารตามสัดส่วนของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหมาะสมเท่ากับ 1.69 : 0.41 : 1.20

ธันวดี (2547) ศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยกระบวนการทำปุ๋ยหมัก มีการควบคุม C/N ratio เริ่มต้นที่ 30 และความชื้นตลอดกระบวนการหมักอยู่ระหว่างร้อยละ 50-60 พบว่า ปริมาณเศษอาหารต่อวัสดุหมัก ได้แก่ เศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าวที่เหมาะสมเท่ากับ 1:4 และในระหว่างการหมักปริมาณคาร์บอนมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงตลอดระยะเวลาหมัก โดยในวันที่ 90 ของการหมักปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 30.5-31.15 ปริมาณไนโตรเจนค่อย ๆ เพิ่มขึ้นโดยผักตบชวามีปริมาณสูงสุด เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำปุ๋ยหมักและวิเคราะห์ธาตุอาหาร พบว่า ปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองมีธาตุไนโตรเจนสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน โดยปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด ขณะที่ธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน

สุทธี และอภิเศก (2553) ศึกษาคุณลักษณะของสารเร่งชีวภาพในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาผสมมูลวัว และเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ทำปุ๋ยหมักปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) สภาพความเป็นกรด-ด่าง และค่า C/N ratio ในปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวาผสมมูลวัวโดยใช้สารเร่งชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน การหมักใช้ผักตบชวาผสมมูลวัวอัตราส่วน 3:1 ทำการหมักแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งการเปรียบเทียบจะแบ่งเป็น 3 รูปแบบคือ บ่อที่ไม่ใส่สารเร่งชีวภาพ (A1) บ่อที่ใส่สารเร่งชีวภาพอัตราส่วน 1:100 (A2) และบ่อที่ใส่สารเร่งชีวภาพอัตราส่วน 1:50 (A3) แต่ละรูปแบบดำเนินการ 3 ซ้ำ ควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 50-70 ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นทุกวัน และพลิกกลับกองปุ๋ยหมักทุก 10 วัน ผลการวิจัยพบว่า สารเร่งชีวภาพที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาล มีกลิ่นหอมหมักดอง วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้เท่ากับ 3.5 เมื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ย่อยเซลลูโลสได้เท่ากับ $1.2 \times 10^{7}$ CFU/ml จากนั้นนำสารเร่งชีวภาพที่ได้ไปใช้เป็นสารเร่งปุ๋ยหมัก เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการทำปุ๋ยหมักของทั้ง 3 รูปแบบพบว่า บ่อที่ใส่สารเร่งชีวภาพอัตราส่วน 1:50 (A3) ใช้เวลาหมักเร็วกว่าบ่อใส่สารเร่งชีวภาพอัตราส่วน 1:10 (A2) และบ่อที่ไม่ใส่สารเร่งชีวภาพ (A1) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมักที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) สภาพความเป็นกรด-ด่าง และค่า C/N ratio ของปุ๋ยหมักในบ่อ A1, A2 และ A3 ไม่มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องอาจ (2542) ศึกษาการใช้ระบบอัดอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณอากาศ และปริมาณน้ำทิ้งในกองหมักต่อประสิทธิภาพของการหมักและคุณภาพปุ๋ยที่ได้จากกระบวนการหมัก โดยมีสภาวะของการทดลองได้แก่ อัตราการเติมอากาศ 0.8, 0.4 และ 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของของแข็งระเหยต่อวัน และสัดส่วนของปริมาณตะกอนน้ำทิ้งในกองหมักเท่ากับร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักกองหมัก ประสิทธิภาพของการหมักศึกษาโดยการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สุดคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 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 ของผักตบชวามีค่าต่ำที่สุดคือ 11.53 ส่วนฟางข้าวและเศษผักมีอัตราส่วน C/N เท่ากับ 17.57 และ 13.94 ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.06-0.08 ส่วนฟางข้าวและผักตบชวามีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01-0.03 และ 0.01-0.02 ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.22-0.53 ส่วนผักตบชวาและเศษผักมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18-0.48 และ 0.17-0.28 ตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในปุ๋ยหมัก พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนสูงสุดคือร้อยละ 2.70 ส่วนเศษผักและฟางข้าวมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.18-1.77 โดยปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองมีค่าไนโตรเจนสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน ดังนั้นในการใช้งานควรมีการปรับปรุงปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

ปัญญาพร และคณะ (2557) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักอินทรีย์ของโรงงานผลิตอาหารและวัชพืชน้ำ โดยทำการศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย จากใบเตย เผือก และผักตบชวา โดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน ได้แก่ อัตราการยุบตัว ความชื้น และอุณหภูมิ ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและคุณภาพปุ๋ยหมัก โดยศึกษาปัจจัยดังนี้ ระยะเวลาในการหมักทั้ง 2 วิธี ใช้ระยะเวลาในการหมัก 42 วัน ปริมาณความชื้นในถังควบคุมมีค่าเท่ากับ 85.64% และในถังที่มีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน ถังที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 85.89% และ 82.30% ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ถังควบคุม 7.70 ถังที่มีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันมีค่า 7.79 และ 7.93 การนำไฟฟ้าถังควบคุม 1.92 mS/cm ถังที่มีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน 1.98 และ 2.11 mS/cm ธาตุอาหารของพืช (ไนโตรเจน,ฟอสฟอรัส,โพแทสเซียม) ถังควบคุมมีปริมาณไนโตรเจน 3.29% โพแทสเซียม 1.37% ฟอสฟอรัส 0.31% ซึ่งปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร แต่ฟอสฟอรัสยังต่ำกว่าเกณฑ์ ส่วนถังที่มีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน มีปริมาณไนโตรจน 2.96% และ 3.19% โพแทสเซียม 1.5% และ 1.24% ฟอสฟอรัส 0.45% และ 0.27% ซึ่งปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมเป็นไปตามเกณฑ์ ดัชนีการงอกของเมล็ดชุดควบคุมไม่ใส่ปุ๋ย 1.49 ถังควบคุมที่ระยะ 15 cm 2.38, 30 cm 1.47 ถังที่มีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันถังที่ 1 ที่ระยะ 15 cm 2.10, 30 cm 2.30 ถังที่ 2 ที่ระยะ 15 cm 3.35, 30 cm 3.54 เมื่อเปรียบผลวิเคราะห์ระหว่างวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันกับวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เติมอากาศแบบธรรมดา พบว่าอัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ได้ ถังที่มีการเติมอากาศแบบธรรมดา 4.78:1 ส่วนในถังเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน 4.14:1 และ 3.77:1 ตามลำดับ การหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน ไม่แตกต่างจากถังควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุหมักเริ่มต้นมีความชื้นสูงและมีขนาดเล็ก ทำให้อากาศแพร่ผ่านกองปุ๋ยได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

## 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

### 3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องยูวี-สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Genesys 10S ยี่ห้อ Thermo Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น AAS-200 ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องย่อยไนโตรเจน ยี่ห้อ Gerhardt ประเทศเยอรมนี
4. เครื่องกลั่นไนโตรเจน รุ่น KI ยี่ห้อ Gerhardt ประเทศเยอรมนี
5. เครื่องวัดพีเอช รุ่น Pocket pH Tester ยี่ห้อ Hanna ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า รุ่น C680 ยี่ห้อ Consort ประเทศเบลเยียม
7. เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น ML204/01 ยี่ห้อ Memmert ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
8. ตู้อบ รุ่น UN 55 ยี่ห้อ Memmert ประเทศเยอรมนี
9. เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Orbital Shaker ยี่ห้อ Gallenkamp ประเทศอังกฤษ
10. เครื่องบดวัสดุการหมัก
11. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
12. เทอร์โมมิเตอร์
13. โถดูดความชื้น
14. บ่อวงคอนกรีตเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 60 เซนติเมตร
15. ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว สูง 1 เมตร
16. ตาข่ายไนลอน
17. สายวัดความยาว
18. ตลับเมตร
19. เชือกฟาง
20. ถาดปลูกต้นไม้
21. ฟองน้ำ
22. เมล็ดผักบุ้งจีน
23. กระดาษกรองเบอร์ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. เครื่องแก้วต่างๆ
25. ตะแกรงเหล็ก
26. ไส้เดือนสายพันธุ์ AF จาก Afworm ฟาร์ม AF 2 หมู่ 6 ต. หนองงูเหลือม อ. เมือง จ. นครปฐม
27. หัวเชื้อจุลินทรีย์ Best-DM จากบริษัท Best Care International (Thailand) Co., Ltd.

### 3.1.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ($H_2SO_4$ 96%) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
2. กรดไนตริก ($HNO_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
3. กรดบอริก ($H_3BO_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie ประเทศอินเดีย
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
5. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
6. โพแทสเซียมซัลเฟต ($K_2SO_4$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Rankem ประเทศอินเดีย
7. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
8. แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
9. แอมโมเนียมเมตาวานาเดต ($NH_4VO_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
10. คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
11. แบเรียมไดฟีนีลลามีนซัลโฟเนต (BDS) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Acros Organic ประเทศเบลเยียม
12. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 วัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง (รูปที่ 3.1)

1. ผักตบชวา จากชุมชนหลวงพรต เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
2. จอก จากชุมชนหลวงพรต เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
3. ใบมะม่วง จากชุมชนหลวงพรต เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
4. หญ้าแพรก จากชุมชนหลวงพรต เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

(ก) (ข) (ค) (ง)

**รูปที่ 3.1** วัสดุหมักเริ่มต้น (ก) ผักตบชวา (ข) จอก (ค) ใบมะม่วงแห้ง (ง) หญ้าแพรก

### 3.2 การเตรียมบ่อปุ๋ยหมัก

(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 3.2** การเตรียมบ่อหมักปุ๋ย (ก) บ่อวงคอนกรีต (ข) ท่อเติมอากาศ (ค) ติดสายวัดความยาวและการติดตั้งท่อเติมอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เตรียมบ่อวงคอนกรีตเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 60 เซนติเมตร สูง 35 เซนติเมตร บ่อละ 2 วงซ้อนกัน (ดังรูปที่ 3.2ก) จำนวนทั้งหมด 4 บ่อ โดยบ่อที่ 1 เป็นบ่อควบคุม (ไม่มีการเติมอากาศ) บ่อที่ 2 เป็นบ่อเติมอากาศ และบ่อที่ 3 ,4 เป็นบ่อเติมอากาศและใช้ไส้เดือนช่วยในการย่อยสลาย

2. นำอิฐมาวางมุม 4 มุม แล้วนำตะแกรงเหล็กและตาข่ายไนลอนมาวางบนอิฐเพื่อใช้เป็นฐาน ดังรูปที่ 3.2ก

3. นำบ่อวงคอนกรีตเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 60 เซนติเมตรมาซ้อนกัน 2 วง ดังรูปที่ 3.2ก

4. ตัดท่อขนาด 1.5 นิ้วให้มีความยาว 1 เมตร โดยเจาะรูท่อขนาด 0.25 นิ้วทั้งหมด 160 รู แต่ละรูห่างกัน 0.5 นิ้ว ตามรูปที่ 3.2ข

5. นำท่อไปตั้งในบ่อ 2, 3, 4 บ่อละ 2 ท่อ โดยตั้งให้ห่างกัน 15 เซนติเมตร ตามรูปที่ 3.2ค

6. ติดสายวัดความยาวด้านในถังตามแนวดิ่ง ดังรูปที่ 3.2ค

**3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง**

**3.3.1 การหาค่า C/N ratio ของวัสดุเริ่มต้นที่จะใช้ในการหมักปุ๋ย**

1. นำวัสดุเริ่มต้นที่จะใช้ในการหมักไปหาค่าความชื้น ค่าคาร์บอนและค่าไนโตรเจน (ตารางที่ 3.1)

2. นำค่าความชื้น ค่าคาร์บอน และค่าไนโตรเจน ที่ได้มาคำนวณหาค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เริ่มต้นของการหมักปุ๋ย (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก)

**3.3.2 การเตรียมวัสดุการหมักปุ๋ย**

1. ทำการบดวัสดุเริ่มต้นโดยบดผักตบชวา จอก ใบมะม่วงแห้งและหญ้าแพรกด้วยเครื่องบด บดให้มีขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร
2. ผสมผักตบชวา จอกและใบมะม่วงในอัตราส่วนจากการคำนวณในข้อ 3.3.1 ให้เข้ากันเพื่อมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เริ่มต้น 30 : 1 ในบ่อที่ 1, 2, 3 (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก) โดยที่บ่อที่ 1 เป็นบ่อควบคุม (ไม่มีการเติมอากาศ) บ่อที่ 2 เป็นบ่อที่มีการเติมอากาศโดยมีการติดตั้งท่อเติมอากาศ และบ่อที่ 3 เป็นบ่อที่มีการเติมอากาศร่วมกับการเติมไส้เดือน 1 กิโลกรัม
3. ผสมผักตบชวา จอกและหญ้าแพรกในอัตราส่วนจากการคำนวณในข้อ 3.3.1 ให้เข้ากันในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เริ่มต้น 30 : 1 ในบ่อที่ 4 (ดูรายละเอียดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณในภาคผนวก ก) โดยที่บ่อที่ 4 เป็นบ่อที่มีการเติมอากาศร่วมกับการเติมไส้เดือน 1 กิโลกรัม

4. ทำการเติมไส้เดือนบ่อที่ 3 และบ่อที่ 4 บ่อละ 1 กิโลกรัม หลังจากอุณหภูมิลดลงจากวันที่เริ่มหมักเป็นเวลา 10 วัน
5. ศึกษาคุณลักษณะของวัสดุหมักเริ่มต้นก่อนการหมักดังแสดงในตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะเริ่มต้นของวัสดุหมัก

| **พารามิเตอร์** | **วิธีวิเคราะห์ที่ใช้** |
|---|---|
| อุณหภูมิ | เทอร์โมมิเตอร์แบบแก้ว |
| ความชื้น | อบที่ 70 °C 12 ชั่วโมง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |
| การนำไฟฟ้า | EC Meter (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |
| ความเป็นกรดด่าง | pH Meter (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |
| คาร์บอน | Walkley-Black (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |
| ไนโตรเจน | Total Kjeldahl Nitrogen (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |
| ฟอสฟอรัส | UV-Spectrophotometer (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |
| โพแทสเซียม | Atomic Absorption Spectrophotometer (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |

### 3.3.3 ศึกษาสภาวะระหว่างการหมักปุ๋ยอินทรีย์

1. นำวัสดุหมักที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.1 ใส่บ่อหมักแต่ละบ่อที่ได้เตรียมไว้ คลุมบ่อด้วยตาข่ายไนลอน
2. วัดอุณหภูมิห้อง อุณหภูมิของปุ๋ยที่ตำแหน่งกึ่งกลางความสูงของปุ๋ยและวัดอัตราการยุบตัวของปุ๋ยทุกวัน ที่เวลาเดียวกัน
3. นำตัวอย่างที่กึ่งกลางของบ่อหมักมาวิเคราะห์สภาวะระหว่างการหมักโดยใช้วิธีดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.2** วิธีวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย

| พารามิเตอร์ | วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ | ความถี่ในการวัด |
|---|---|---|
| อุณหภูมิ | เทอร์โมมิเตอร์แบบแก้ว | ทุกวัน |
| อัตราการยุบตัว | สายวัดความยาว | ทุกวัน |
| ความชื้น | อบที่ 70 °C 12 ชั่วโมง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) | 1 ครั้ง/สัปดาห์ |
| การนำไฟฟ้า | EC Meter (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) | ทุกวัน |
| ความเป็นกรดด่าง | pH Meter (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) | ทุกวัน |
| คาร์บอนทั้งหมด | Walkley-Black (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) | 1 ครั้ง/สัปดาห์ |
| ไนโตรเจนทั้งหมด | Total Kjeldahl Nitrogen (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) | 1 ครั้ง/สัปดาห์ |
| ฟอสฟอรัส | UV-Spectrophotometer (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) | 2 ครั้ง/สัปดาห์ |
| โพแทสเซียม | Atomic Absorption Spectrophotometer (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) | 2 ครั้ง/สัปดาห์ |

### 3.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์

ทำการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ โดยเก็บตัวอย่างจากปุ๋ยแต่ละถัง ที่ได้จากการหมักเป็นเวลา 37 วัน และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของปุ๋ยดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

**ตารางที่ 3.3** วิธีวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

| พารามิเตอร์ | วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ |
|---|---|
| ลักษณะของปุ๋ยที่ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ | |
| สี | สังเกตด้วยตา (ปุ๋ยต้องเป็นสีดำ) |
| กลิ่น | ดมกลิ่น (ต้องไม่มีกลิ่นฉุน) |
| ความอ่อนนุ่มและยุ่ยของปุ๋ย | สัมผัสด้วยมือ (ปุ๋ยต้องขาดจากกันง่าย ไม่เป็นก้อน) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.3 (ต่อ)** วิธีวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์

| พารามิเตอร์ | วิธีวิเคราะห์ |
|---|---|
| ความชื้น | สัมผัสด้วยมือ (ต้องไม่เกิน 60 %) |
| ความเป็นกรดด่าง | pH Meter (pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ 5.5-8.5 ) |
| การนำไฟฟ้า | EC Meter (EC ต้องไม่เกิน 6 dS/m) |
| ไนโตรเจน | Total Kjeldahl Nitrogen (N ต้องไม่น้อยกว่า 1 %) |
| ฟอสฟอรัส | UV-Spectrophotometer ($P_2O_5$ ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 %) |
| โพแทสเซียม | Atomic Absorption Spectrophotometer ($K_2O$ ต้องไม่น้อยกว่า 1.0 % ) |

### 3.3.5 ศึกษาดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีน

1. เพาะเมล็ดผักบุ้งจีนในน้ำสะอาด เพื่อให้งอกออกเป็นต้นกล้าก่อน

2. นำปุ๋ยจากแต่ละบ่อมาผสมกับดินและแกลบดำในอัตราส่วน 1:1:1 พร้อมทั้งผสมเฉพาะดินกับแกลบดำอัตราส่วน 1:1 เพื่อใช้เป็นชุดควบคุม

3. นำต้นกล้าที่มีขนาดใกล้เคียงกันมาวัดความยาวและจำนวนใบก่อนนำลงไปปลูกในหลุมที่เตรียมไว้

4. ทำการปลูกชุดละ 5 ต้น (รูปที่ 3.3)

5. รดน้ำทุกวัน พร้อมจดบันทึกความสูงและจำนวนใบ

6. ปลูกเป็นเวลา 14 วัน

**รูปที่ 3.3** หลุมสำหรับปลูกต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยจากขยะอินทรีย์และวัชพืชน้ำภายในชุมชนหลวงพรตโดยใช้ผักตบชวา จอกและใบมะม่วงแห้ง กับผักตบชวา จอกและหญ้าแพรกเป็นวัสดุในการหมักปุ๋ย โดยเปรียบเทียบวิธีการเติมอากาศแบบธรรมดา วิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน และวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับการใช้ไส้เดือน การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1) ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการหมักเริ่มต้น 2) ศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย 3) ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ ได้ผลการทดลองดังนี้

## 4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้หมักเริ่มต้น

จากการทดลองวิเคราะห์หาค่าความชื้น ปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจนและสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของผักตบชวา จอก ใบมะม่วงแห้งและหญ้าแพรก ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-1 ถึง ก-2, ภาคผนวก ก) จากนั้นทำการคำนวณอัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ในการหมักให้มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน 30:1 (ดูรายละเอียดของการคำนวณในภาคผนวก ก) จากการคำนวณพบว่าต้องใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักเปียกของผักตบชวาร่วมกับจอกต่อใบมะม่วงแห้ง 1:0.06 เท่ากับว่าใช้อัตราส่วนของผักตบชวา 1 กิโลกรัมต่อจอก 1 กิโลกรัมต่อใบมะม่วงแห้ง 0.12 กิโลกรัม เพราะฉะนั้นในการทดลองจะใช้ผักตบ 30 กิโลกรัม จอก 30 กิโลกรัมและใบมะม่วงแห้ง 3.5 กิโลกรัม มีน้ำหนักรวมทั้งหมด 63.5 กิโลกรัมต่อ 1 บ่อหมัก จำนวน 3 บ่อ แต่ในบ่อที่ 4 ต้องใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักเปียกของผักตบชวาร่วมกับจอกต่อหญ้าแพรก 1:0.12 เท่ากับว่าใช้อัตราส่วนของผักตบชวา 1 กิโลกรัมต่อจอก 1 กิโลกรัมต่อหญ้า 0.24 กิโลกรัม เพราะฉะนั้นในการทดลองจะใช้ผักตบ 30 กิโลกรัม จอก 30 กิโลกรัมและหญ้าแพรก 7 กิโลกรัม มีน้ำหนักรวมทั้งหมด 67 กิโลกรัม จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของการหมักเริ่มต้น ได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1 ถึง ข-5,ภาคผนวก ข) พบว่าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของทั้ง 4 บ่ออยู่ที่ประมาณ 30:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย การย่อยสลายที่ดีควรมีค่าประมาณ 30-35:1 (ธันวดี, 2547) อย่างไรก็ตาม การหมักเริ่มต้นนั้นมีความชื้นสูงถึงเกือบร้อยละ 90 เนื่องจากวัสดุหลักเป็นวัชพืชน้ำทำให้มีความชื้นสูง ยากต่อการถ่ายเทของอากาศทำให้เกิดการย่อยสลายช้าและเกิดกลิ่นเหม็นในตอนเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้หมักเริ่มต้น

| วัสดุหมัก | ความชื้น (%) | C (%) | N (%) | C/N ratio |
|---|---|---|---|---|
| ผักตบชวา | 87.75±2.80 | 10.93±1.42 | 0.44±0.03 | 24.84:1 |
| จอก | 92.83±1.38 | 3.14±0.68 | 0.23±0.04 | 13.65:1 |
| ใบมะม่วงแห้ง | 10.41±2.44 | 27.29±2.17 | 0.69±0.04 | 39.55:1 |
| หญ้าแพรก | 46.48±4.36 | 18.88±1.09 | 0.50±0.04 | 37.76:1 |

**ตารางที่ 4.2** คุณสมบัติเริ่มต้นของปุ๋ย

| คุณสมบัติ | บ่อควบคุม | บ่อเติมอากาศ | บ่อเติมอากาศ ร่วมกับไส้เดือน | บ่อเติมอากาศ ร่วมกับไส้เดือน โดยใช้หญ้า |
|---|---|---|---|---|
| ความชื้น (%) | 86.75±0.79 | 86.40±0.56 | 87.94±0.55 | 90.06±1.46 |
| อุณหภูมิ (°C) | 28 | 28 | 28 | 28 |
| ค่าความเป็นกรด-ด่าง | 6.40±0.02 | 6.24±0.03 | 6.21±0.02 | 6.18±0.01 |
| ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm) | 7.85±0.05 | 7.81±0.02 | 8.04±0.03 | 7.81±0.03 |
| ปริมาณคาร์บอน (%) | 7.69±0.08 | 7.10±0.55 | 7.67±0.61 | 6.47±0.31 |
| ปริมาณไนโตรเจน (%) | 0.25±0.02 | 0.21±0.01 | 0.24±0.02 | 0.21±0.02 |
| อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน | 31.01:1 | 33.54:1 | 31.90:1 | 31.50:1 |
| ปริมาณฟอสฟอรัส (%) | 0.21±0.01 | 0.21±0.03 | 0.24±0.01 | 0.24±0.03 |
| ปริมาณโพแทสเซียม (%) | 8.63±0.29 | 8.89±1.15 | 9.01±0.54 | 8.43±1.14 |

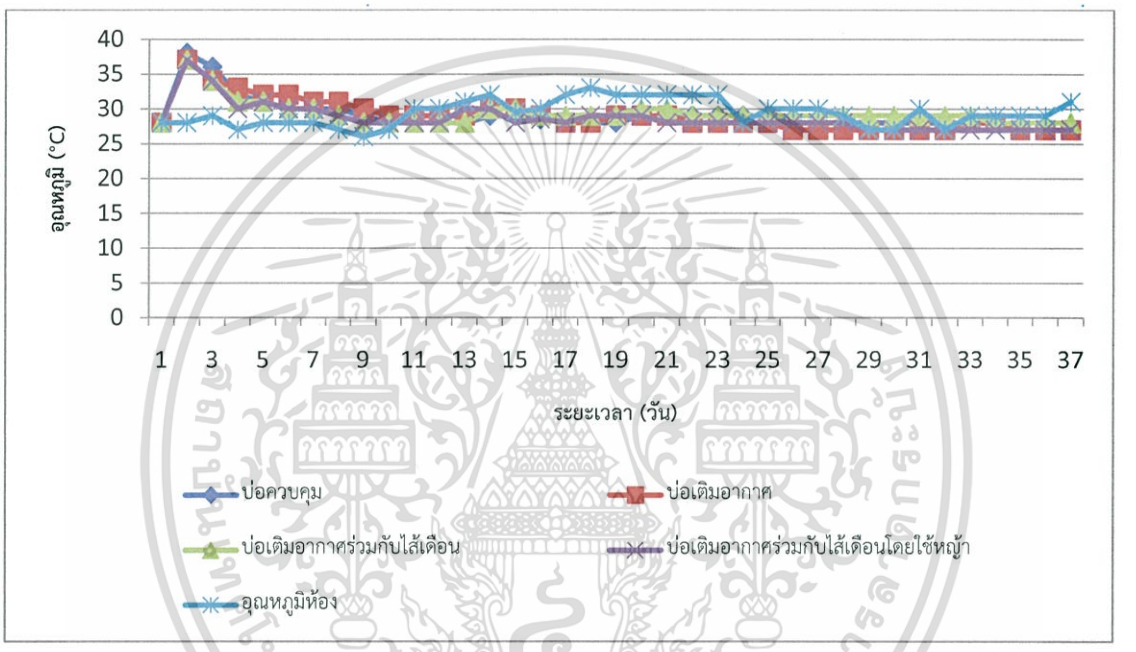
## 4.2 ผลการศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย

### 4.2.1 อุณหภูมิ

จากการทดลองได้ทำการวัดอุณหภูมิในบ่อปุ๋ยหมักทุกวันเป็นเวลาทั้งสิ้น 37 วัน โดยทำการวัดที่กึ่งกลางความสูงของปุ๋ยในช่วงเวลาเดียวกันตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-1, ภาคผนวก ค) พบว่าในวันแรกที่ได้ทำการผสมวัสดุที่ใช้ในการหมักเข้าด้วยกันแล้วนำใส่ในแต่ละบ่อแล้วทำการวัดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส ในวันที่ 2 อุณหภูมิสูงขึ้นไปถึง 37±1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียสในทุกๆบ่อและมีแนวโน้มลดลงของอุณหภูมิในวันถัดๆมา ซึ่งหลักการหมักปุ๋ยนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะคือ ระยะปรับตัว (Latent Phase) ระยะ Mesophilic Phase อุณหภูมิอยู่ที่ 25-45 องศาเซลเซียส Thermophilic Phase อุณหภูมิอยู่ที่ 45-60 องศาเซลเซียส และระยะการบ่ม (Maturation Phase) อุณหภูมิจะลดลงเหลือเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศโดยรอบ ซึ่งในการทดลองพบว่าอุณหภูมินั้นจะเพิ่มขึ้นถึงแค่ระยะ Mesophilic Phase และจะลดลงเรื่อยๆจนถึงอุณหภูมิห้อง ที่อุณหภูมิสูงไม่ถึงระยะ Thermophilic Phase เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นของการหมักสูงมากเกินไปจึงทำให้อากาศถ่ายเทไม่สะดวก ทำจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ



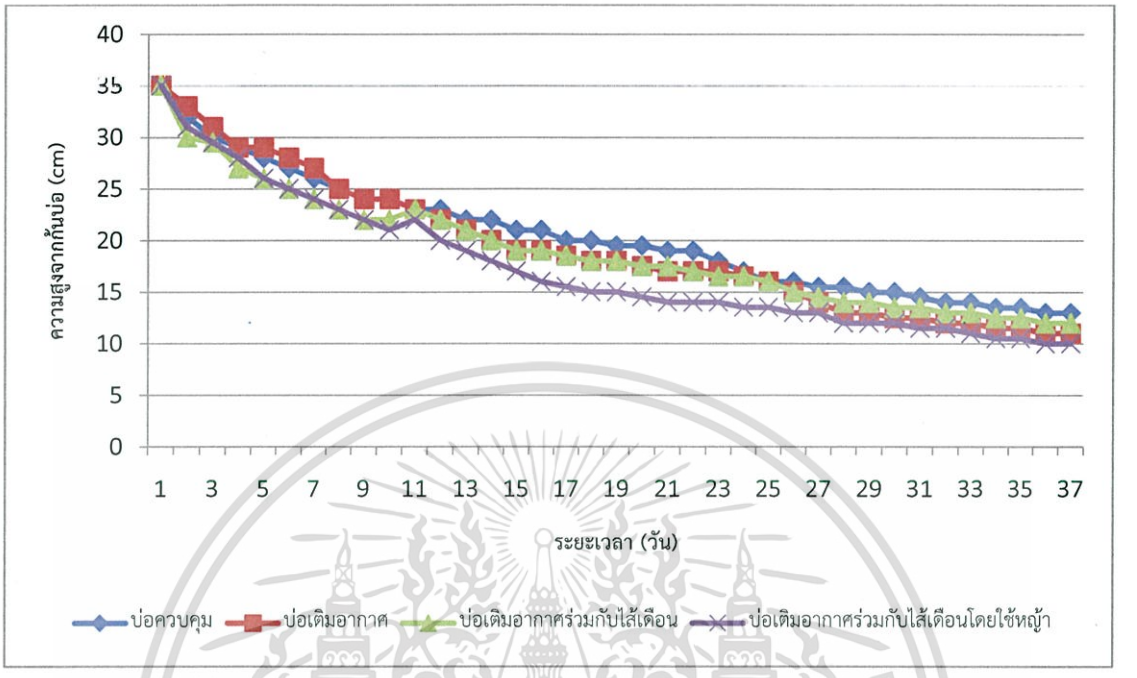

**รูปที่ 4.1** การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการหมักปุ๋ย

### 4.2.2 อัตราการยุบตัว

จากรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดตารางที่ ค-2, ภาคผนวก ค) ความสูงแรกเริ่มของแต่ละบ่อหมักนั้นเท่ากับ 35 เซนติเมตร ในสัปดาห์แรกอัตราการยุบลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากวัสดุที่ใช้นั้นจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่ายซึ่งในขั้นตอนการเตรียมวัสดุก็ได้มีการย่อยวัสดุให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับจุลินทรีย์ทำให้เกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน อุณหภูมิเข้าสู่ระยะการบ่มแล้ว (รูปที่ 4.1) จึงทำการเติมไส้เดือนลงไปในบ่อที่ 3 และ 4 สังเกตได้จากรูปที่ 4.2 ว่าอัตราการยุบของบ่อที่ 3 และ 4 เพิ่มมากขึ้น การใส่ไส้เดือนลงไปเพื่อช่วยในการย่อยสลายและทำให้ปุ๋ยนั้นร่วนมากยิ่งขึ้น หลังจากใส่ไส้เดือนแล้วพบว่าบ่อที่เติมอากาศนั้นสามารถย่อยสลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีกว่าบ่อควบคุมอย่างชัดเจน เนื่องจากอากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวกกว่าจึงทำให้เหมาะต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์รวมทั้งยังมีไส้เดือนที่ช่วยย่อยสลายอีกด้วย

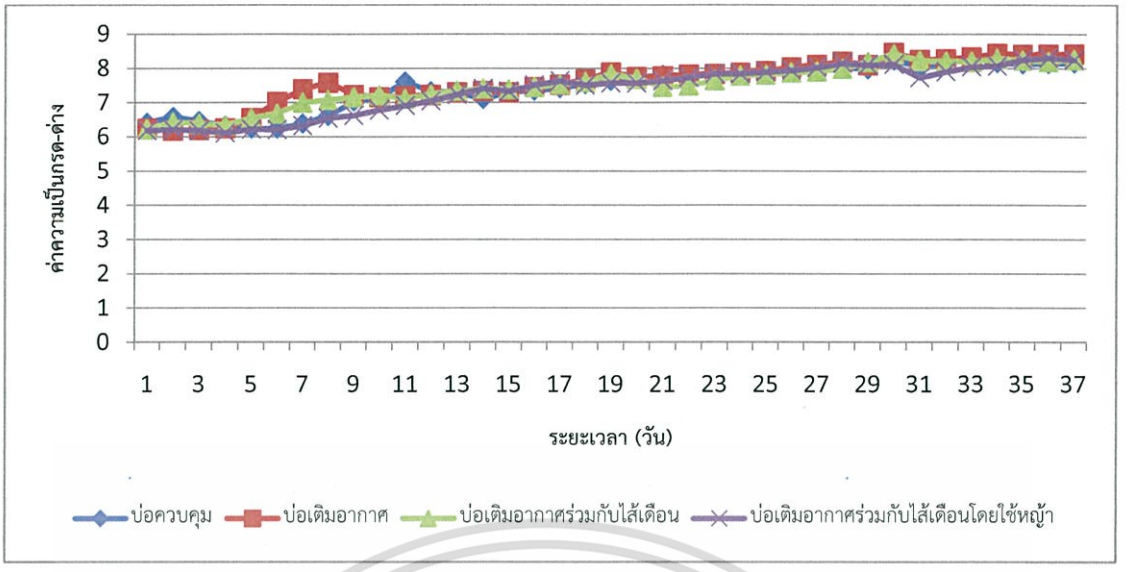



**รูปที่ 4.2** การเปลี่ยนแปลงอัตราการยุบตัวในระหว่างการหมักปุ๋ย

### 4.2.3 ความเป็นกรด-ด่าง

จากการทดลองทำการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างพบว่า ช่วงเริ่มต้นนั้นค่า pH ของทุกบ่อมีค่าประมาณ 6.2±0.2 ดังรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดตารางที่ ค 3-1 ถึงตารางที่ ค 3-4, ภาคผนวก ค) ซึ่งมีค่าเป็นกรดอ่อนๆอาจเนื่องจากสารอินทรีย์ในวัสดุหมักถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เกิดกรดอินทรีย์จากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำเกิดกลิ่นเหม็นเน่า เนื่องจากวัสดุหมักมีความชื้นสูง เมื่อผ่านไป 1 สัปดาห์ ความชื้นมีการระเหยไปทำให้อากาศเริ่มถ่ายเทเพียงพอที่จะให้จุลินทรีย์แบบใช้อากาศย่อยสลายสารอินทรีย์ นอกจากนี้การที่ค่า pH มีค่าเป็นด่างเล็กน้อยเนื่องจากจุลินทรีย์เปลี่ยนไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียจึงทำให้ค่า pH เริ่มสูงขึ้นจนเป็นกลางประมาณ 7-8 ซึ่งเป็นสภาวะที่ดีต่อการหมักปุ๋ย มาตรฐานปุ๋ยหมักกำหนดว่าค่าความเป็นกรด-ด่างนั้น ควรอยู่ในช่วง 7-8 (กรมวิชาการเกษตร, 2538)

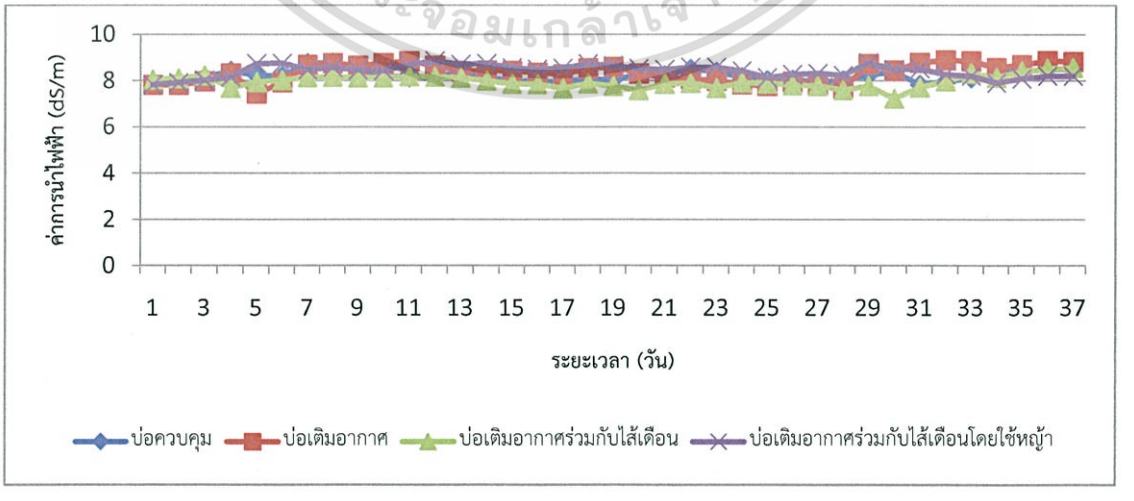
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.3** การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมักปุ๋ย

### 4.2.4 ค่าการนำไฟฟ้า

การวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดปริมาณความเข้มข้นของสารที่มีประจุละลายอยู่ในสารละลายที่ได้จากปุ๋ยหมัก จากรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดตารางที่ ค 4-1 ถึงตารางที่ ค 4-4, ภาคผนวก ค) ในวันแรกค่าการนำไฟฟ้าของทั้ง 4 บ่ออยู่ที่ 8.0±0.2 dS/m และตลอดช่วงการหมักค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 7-9 dS/m ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยที่ดีต้องไม่เกิน 6 dS/m (กรมวิชาการเกษตร, 2538) ซึ่งจากการทดลองค่าการนำไฟฟ้าเกินมาตรฐาน เนื่องจากปริมาณของโพแทสเซียมของวัสดุหมักปุ๋ยเริ่มต้นสูง เมื่อนำปุ๋ยมาละลายกับน้ำจะทำให้สารละลายมีไอออนบวกของโพแทสเซียมมาก ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงตามขึ้นด้วย

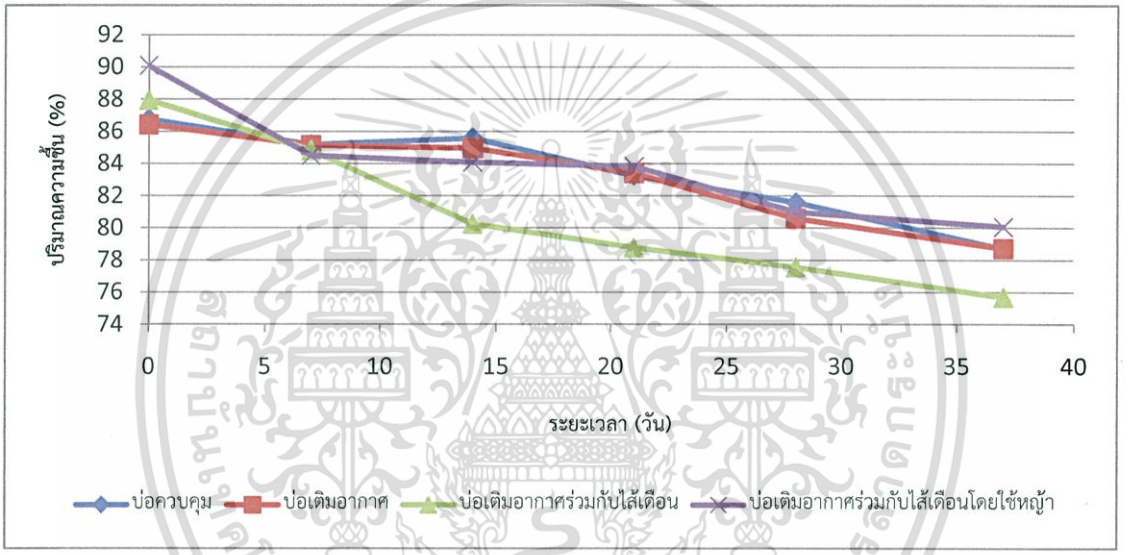



**รูปที่ 4.4** การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในระหว่างการหมักปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.5 ความชื้น

จากตารางที่ 4.2 ความชื้นเริ่มต้นของแต่ละบ่อสูงถึง 85-90 % โดยน้ำหนัก ซึ่งไม่เหมาะต่อการย่อยสลาย เนื่องจาก เมื่อมีความชื้นสูงจะให้เกิดการถ่ายเทของอากาศไม่สะดวก ทำให้เกิดเป็นภาวะอับอากาศ ส่งผลทำให้เกิดกลิ่นเหม็นอย่างรุนแรง เมื่อการหมักผ่านไปค่าความชื้นจะค่อยๆลดลง ดังรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดตารางที่ ค 5-1 ถึงตารางที่ ค 5-4, ภาคผนวก ค) เมื่อทำการหมักสิ้นสุดลงในบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนมีค่าความชื้นเท่ากับ 75.68 % ซึ่งลดลงมากบ่ออื่นๆ (78-80 %) ทั้งนี้เนื่องจากไส้เดือนมีการใช้ความชื้นและการถ่ายเทอากาศได้ดีกว่าบ่ออื่นๆ อย่างไรก็ตาม หลังจากการหมักปุ๋ยจะต้องนำปุ๋ยหมักมาตากไล่ความชื้น เพื่อให้มีความชื้นประมาณ 60 % ตามมาตรฐานความชื้นของปุ๋ย (กรมวิชาการเกษตร, 2538)



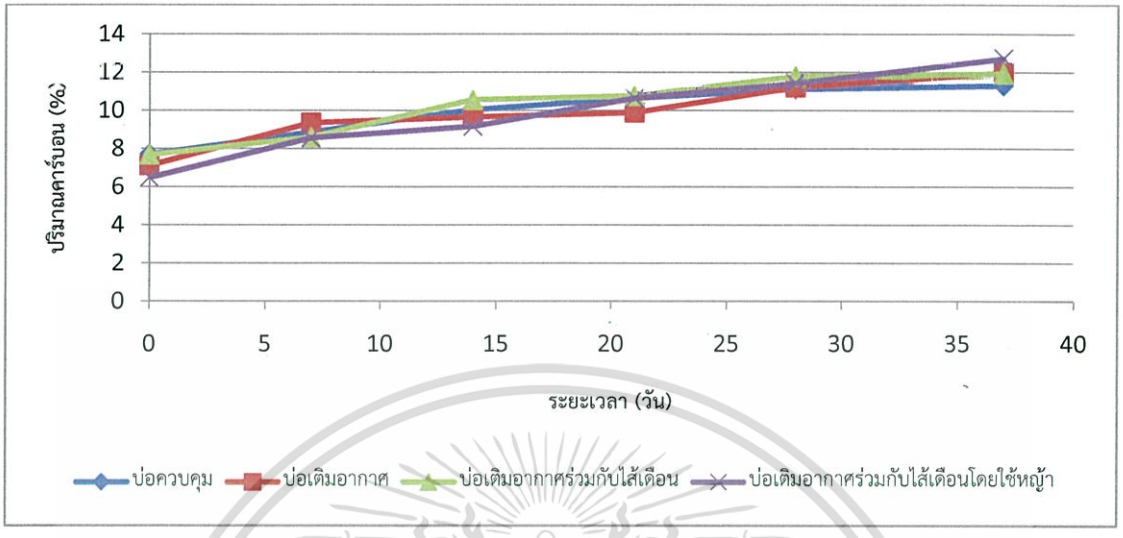

**รูปที่ 4.5** การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในระหว่างการหมักปุ๋ย

### 4.2.6 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

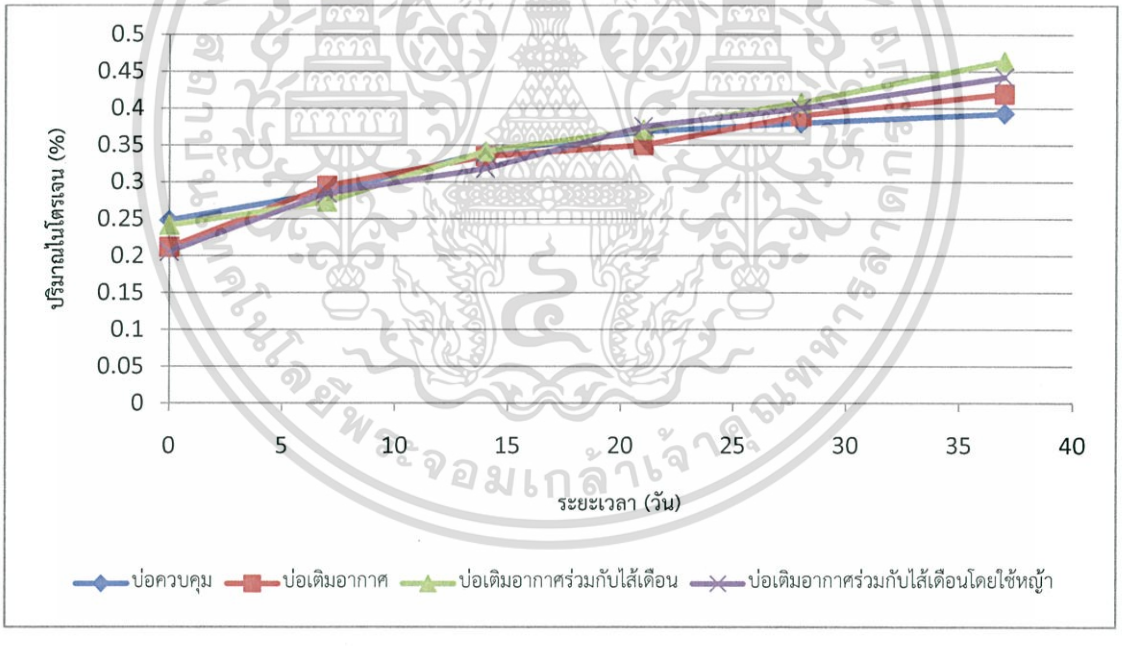
จากตารางที่ 4.2 ค่าคาร์บอนเริ่มต้นของทั้ง 4 บ่อเท่ากับ 7.69 %, 7.10 %, 7.67 % และ 6.47 % ตามลำดับ ค่าไนโตรเจนเริ่มต้นของทั้ง 4 บ่อเท่ากับ 0.25 %, 0.21 %, 0.24 %และ 0.21 % เมื่อทำการหมักผ่านไปเรื่อยๆปริมาณคาร์บอนกับปริมาณไนโตรเจนก็เพิ่มขึ้นดังแสดงรูปที่ 4.6 และ 4.7 (ดูรายละเอียดตารางที่ ค 6-1 ถึง ค 6.4 และตารางที่ ค 7-1 ถึง ค 7.4, ภาคผนวก ค) ซึ่งในช่วงแรกจะเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วเนื่องมาจากวัสดุย่อยสลายได้ง่าย จุลินทรีย์จะย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนให้มีขนาดเล็กลง จากรูปที่ 4.7 พบว่า ปริมาณของค่าไนโตรเจนของบ่อที่เติมอากาศร่วมกับไส้เดือนกับสูงกว่าบ่อควบคุมและบ่อเติมอากาศ เนื่องจากไส้เดือนที่ใส่ลงไปในระยะการบ่มของปุ๋ยนั้นเป็นตัวเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้กับปุ๋ยหมัก เมื่อทำการหมักเสร็จสิ้นพบว่าปริมาณของค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนในบ่อควบคุม บ่อเติมอากาศ บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนและบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้าเท่ากับ 0.39 %, 0.42 %, 0.46 % และ 0.44 % ตามลำดับ




**รูปที่ 4.6** การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในระหว่างการหมักปุ๋ย

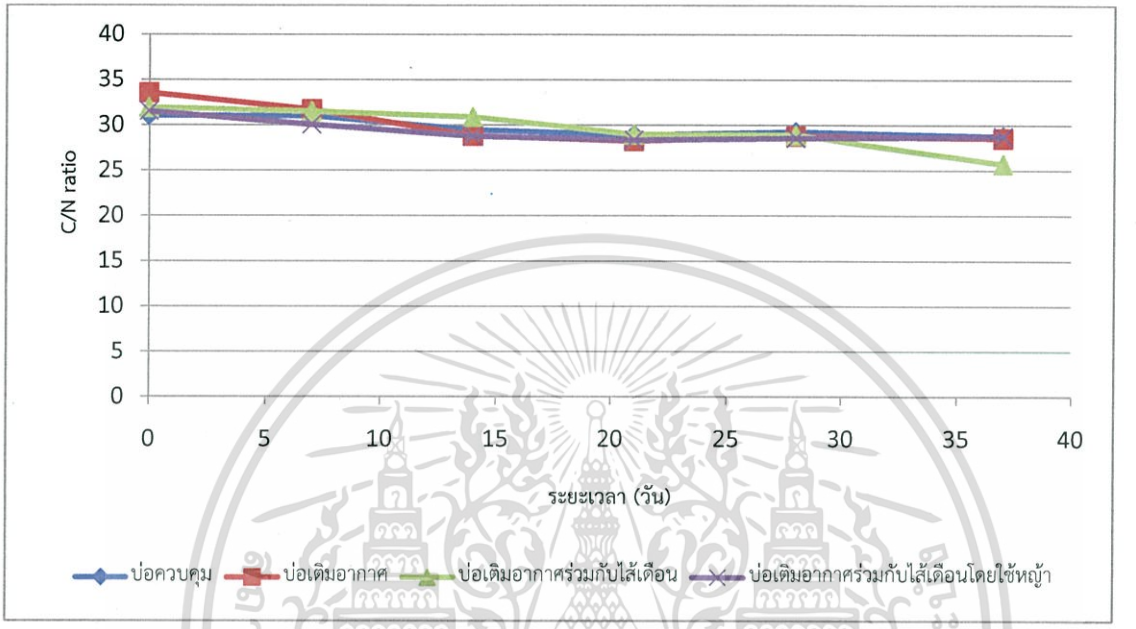



**รูปที่ 4.7** การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในระหว่างการหมักปุ๋ย

จากตารางที่ 4.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของทั้ง 4 บ่อเท่ากับ 31.01, 33.54, 31.90 และ 31.50 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทั้ง 4 บ่อ จะได้ดังรูปที่ 4.8 (ดูรายละเอียดตารางที่ ค 6-1 ถึง ค 6-4 และตารางที่ ค 7-1 ถึง ค 7-4, ภาคผนวก ค) เมื่อทำการหมักไปเรื่อยๆ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะค่อยๆลดลง เมื่อสิ้นสุดการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า ในบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนนั้นมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 25.67 โดยที่บ่อที่เหลือนั้นมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเกินมาตรฐานคือมีค่าอยู่ในช่วง 28.74±0.2 แสดงว่ามีอัตราการย่อยสลายที่ช้ากว่า ซึ่งปุ๋ยหมักที่ดีควรมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 25 อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยหมักควรมีค่าสัดส่วนของ C/N ในช่วงประมาณ 26-35 ซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อพืช

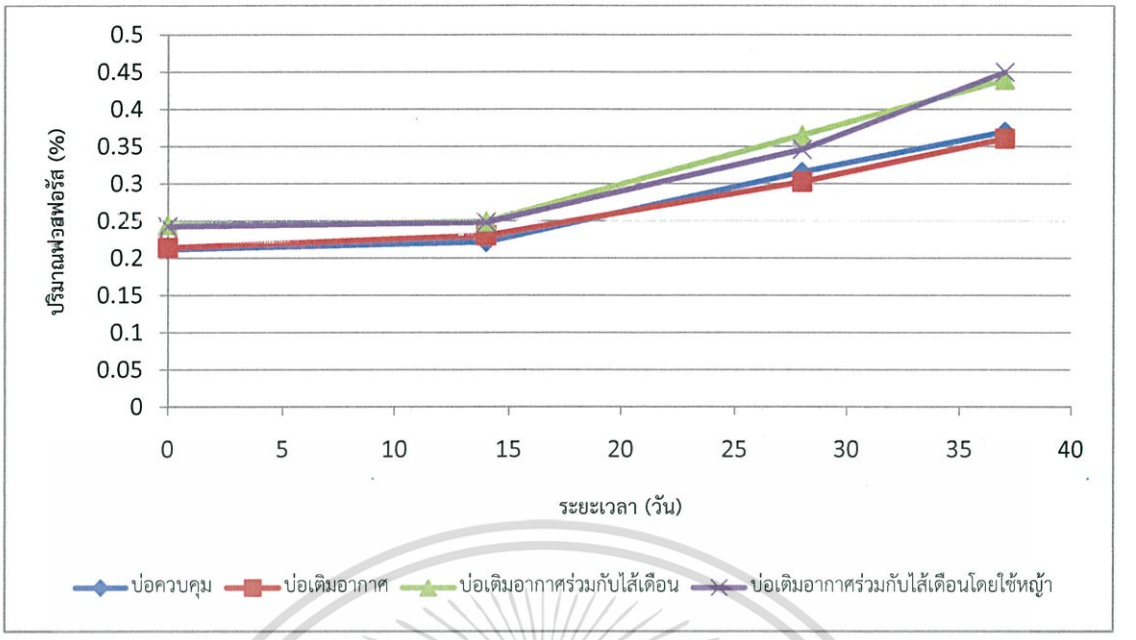



**รูปที่** 4.8 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในระหว่างการหมักปุ๋ย

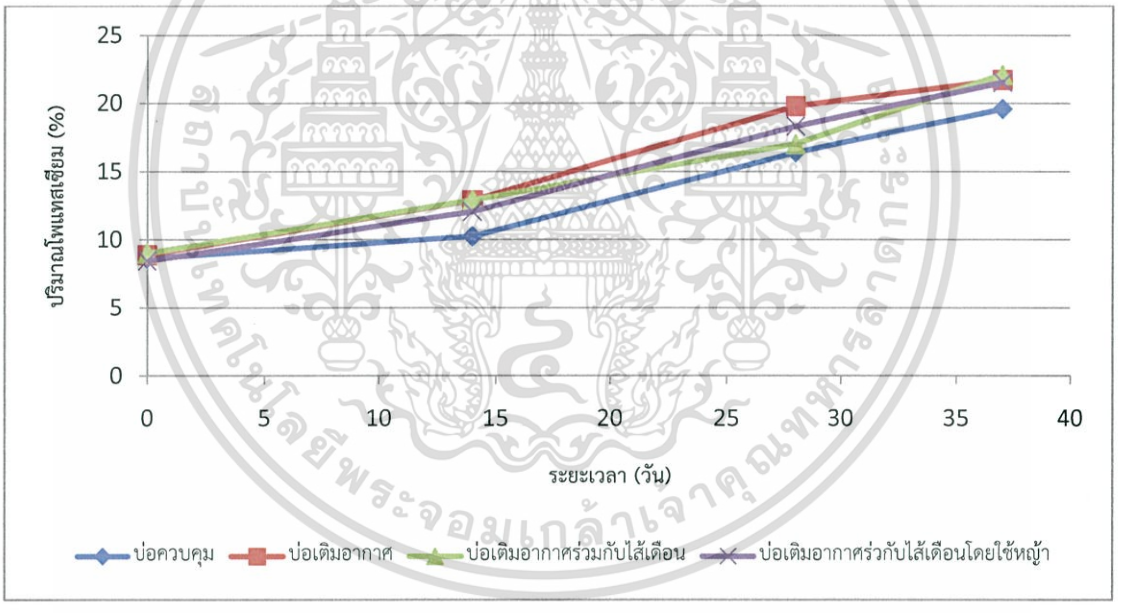
### 4.2.7 ปริมาณสารอาหารในปุ๋ย

จากตารางที่ 4.2 (ดูรายละเอียดตารางที่ ค 8-1 ถึง ค 8-4 และตารางที่ ค 9-1 ถึง ค 9-4, ภาคผนวก ค) ในการหมักเริ่มต้น ปริมาณของฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ในช่วง 0.21- 0.24 % และโพแทสเซียมมีค่าอยู่ในช่วง 8.43- 9.01 % เมื่อทำการหมักไปจนถึงวันสิ้นสุดพบว่า ปริมาณของฟอสฟอรัสและปริมาณของโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้น (รูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10) เช่นเดียวกับปริมาณของไนโตรเจน จุลินทรีย์จะใช้อินทรีย์วัตถุเป็นสารอาหารแล้วปลดปล่อยแร่ธาตุที่จำเป็นให้แก่พืชในปริมาณที่พืชต้องการอย่างเพียงพอ อีกทั้งไส้เดือนเมื่อทำการย่อยสลายแล้วก็สามารถเพิ่มสารอาหารให้กับปุ๋ยหมักอีกด้วย นอกจากนี้ วัสดุหลักที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีโพแทสเซียมมาก ทำให้ได้ปุ๋ยที่มีโพแทสเซียมสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมักปุ๋ย




**รูปที่** 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในระหว่างการหมักปุ๋ย

### 4.2.8 ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของปุ๋ย เมื่อสิ้นสุดการหมักได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 บ่อเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับการเติมไส้เดือนโดยใช้วัสดุในการหมักคือผักตบชวา จอก และใบมะม่วง สามารถหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้เวลาน้อยที่สุด มีลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยเป็นไปตามมาตรฐานกรมวิชาการเกษตร (2548) มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 8.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอยู่ในช่วง 6-8 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 25.67:1 ปุ๋ยหมักที่ดีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนควรมีค่า 25:1 มีค่าโพแทสเซียมเท่ากับ 22.10 % อย่างไรก็ตาม ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.46 % และปริมาณฟอสฟอรัส 0.44 % ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกรมวิชาการเกษตร (2548) รวมถึงปริมาณความชื้นเท่ากับ 75.68 % ที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานกรมวิชาการเกษตร (2548)

การหมักปุ๋ยในบ่อเติมอากาศเพียงอย่างเดียวมีอัตราการย่อยสลายช้ากว่าบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนเล็กน้อย ส่วนการหมักปุ๋ยในบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้วัสดุเริ่มต้นเป็นผักตบชวา จอกและหญ้า พบว่าหญ้าถูกย่อยสลายได้ยาก เมื่อสิ้นสุดการหมักเป็นเวลา 37 วัน ยังพบหญ้าบางส่วนไม่ถูกย่อยสลาย

**ตารางที่ 4.3** ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

| **พารามิเตอร์** | **บ่อควบคุม** | **บ่อเติมอากาศ** | **บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน** | **บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า** | **มาตรฐานปุ๋ยหมัก (กรมวิชาการเกษตร, 2538)** |
|---|---|---|---|---|---|
| สี | ปุ๋ยมีสีดำไม่ทั้งบ่อ ยังมีสีเขียวทางด้านล่างบ่อ | ปุ๋ยมีสีดำทั่วทั้งบ่อ | ปุ๋ยมีสีดำทั่วทั้งบ่อ | ปุ๋ยมีสีดำไม่ทั้งบ่อ ยังมีสีเขียวทางด้านล่างบ่อ | สีดำ |
| กลิ่น | มีกลิ่นเล็กน้อย | ไม่มีกลิ่น | ไม่มีกลิ่น | มีกลิ่นเล็กน้อย | ไม่มีกลิ่น |
| ความอ่อนนุ่มและยุ่ยของปุ๋ย | เนื้อปุ๋ยอ่อนนุ่มขาดได้ง่าย | เนื้อปุ๋ยอ่อนนุ่มขาดได้ง่าย | เนื้อปุ๋ยอ่อนนุ่มขาดได้ง่าย | ปุ๋ยมีลักษณะจับกันเป็นก้อนๆไม่ขาดจากกัน | เนื้อปุ๋ยอ่อนนุ่มขาดได้ง่าย |
| ความชื้น (%) | 78.70±0.25 | 78.71±0.05 | 75.68±0.12 | 80.05±0.08 | 60% |
| ความเป็นกรดด่าง | 8.15±0.04 | 8.41±0.02 | 8.25±0.05 | 8.25±0.02 | 5.5-8.5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3 (ต่อ)** ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

| พารามิเตอร์ | บ่อควบคุม | บ่อเติมอากาศ | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า | มาตรฐานปุ๋ยหมัก (กรมวิชาการเกษตร, 2538) |
|---|---|---|---|---|---|
| ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m) | 8.52±0.01 | 8.82±0.03 | 8.56±0.01 | 8.20±0.01 | ไม่เกิน 6 dS/m |
| C/N ratio | 28.76 | 28.54 | 25.67 | 28.74 | 25:1 |
| ไนโตรเจน (%) | 0.39±0.02 | 0.42±0.03 | 0.46±0.02 | 0.44±0.03 | ไม่น้อยกว่า 1.0 % |
| ฟอสฟอรัส (%) | 0.37±0.08 | 0.36±0.03 | 0.44±0.02 | 0.45±0.04 | ไม่น้อยกว่า 0.5 % |
| โพแทสเซียม (%) | 19.58±0.42 | 21.72±0.37 | 22.10±2.69 | 21.53±2.34 | ไม่น้อยกว่า 1.0 % |

### 4.3 ผลการศึกษาดัชนีการงอกของผักบุ้งจีน

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักทั้ง 4 บ่อ โดยศึกษาจากดัชนีการงอกของผักบุ้งจีน ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.4 (ดูรายละเอียดตารางที่ ง-1 ถึงตารางที่ ง-5, ภาคผนวก ง) พบว่าดัชนีการงอกของผักบุ้งจีนที่ปลูกในดิน+แกลบ+ปุ๋ยหมักที่ได้จากกระบวนการเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนมีดัชนีการงอกสูงกว่าชุดควบคุม เนื่องจากมีธาตุอาหารสูงกว่า นอกจากนี้ ยังพบว่าปุ๋ยที่ได้สามารถนำไปปลูกต้นไม้ได้โดยที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช เนื่องจากมีดัชนีการงอกที่ได้อยู่ในช่วง 6.5-7.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนหลังจากทำการปลูก 14 วัน

| พารามิเตอร์ | ดิน+แกลบ 1:1 | ดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อควบคุม 1:1:1 | ดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อเติมอากาศ 1:1:1 | ดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน 1:1:1 | ดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า 1:1:1 |
|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนใบเฉลี่ย (ใบ) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ความยาวลำต้นเฉลี่ย (cm) | 6.72±3.32 | 6.48±4.76 | 8.52±4.01 | 9.32±2.24 | 9.96±1.43 |
| ดัชนีการงอกเฉลี่ย | 4.61±2.76 | 4.74±4.06 | 5.79±3.37 | 6.94±1.98 | 7.24±1.47 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการหมักปุ๋ยจากผักตบชวา จอกและใบมะม่วงแห้ง โดยเปรียบเทียบสภาวะของการหมักระหว่างบ่อควบคุม (ไม่มีการเติมอากาศ), บ่อเติมอากาศแบบซิมนีย์คอนเวคชัน, บ่อเติมอากาศแบบซิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับไส้เดือน รวมถึงการเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในบ่อเติมอากาศแบบซิมนีย์คอนเวคชันร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้าแพรกแทนใบมะม่วงแห้ง พบว่าการหมักแบบเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้ใบมะม่วงแห้งจะหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้เวลา 37 วัน ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 8.25 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ประมาณ 25:1 และปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 22.10 % ซึ่งอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยไม่เป็นอันตรายต่อพืช ส่วนลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยอินทรีย์ สี กลิ่น เนื้อปุ๋ย โดยที่การหมักแบบเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้าแพรกแทนใบมะม่วงแห้งนั้นมีค่าใกล้เคียงกันกับการหมักแบบเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้ใบมะม่วงแห้ง แต่ว่าการหมักนั้นยังไม่สมบูรณ์เนื่องจากด้านล่างของบ่อหมักยังเป็นสีเขียวและยังมีกลิ่นเหม็นอยู่เล็กน้อย ส่วนการหมักที่เติมอากาศเพียงอย่างเดียวมีการหมักที่สมบูรณ์แต่มีธาตุอาหารน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.46 % และปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.44 % ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยเล็กน้อย ส่วนความชื้นของปุ๋ยที่ทำการหมักเสร็จสิ้นนั้นมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้จึงต้องนำมาตากหรือผึ่งให้ความชื้นออกจากปุ๋ยก่อนจะทำการเก็บปุ๋ยไว้ใช้งาน อีกทั้งค่าการนำไฟฟ้ายังเกินมาตรฐาน ค่าการนำไฟฟ้าไม่ควรเกิน 6 dS/m เนื่องจากปุ๋ยมีปริมาณของโพแทสเซียมสูง ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นอีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรตากวัสดุเริ่มต้นที่จะทำการหมักให้มีความชื้นลดลงก่อนนำมาทำการหมัก เนื่องจากวัสดุหลักที่ใช้เป็นวัชพืชน้ำจะทำให้มีความชื้นเริ่มต้นสูงจนเกินไป ทำให้ย่อยสลายได้ช้าในช่วงแรก

2. ควรทำการหมักในที่ที่ถ่ายเทอากาศได้สะดวก เนื่องจากในการหมักทำในมุมห้องอาจทำให้อากาศถ่ายเทเข้ากองปุ๋ยได้ไม่ดี

3. ใช้วัสดุหมักปุ๋ยเริ่มต้นที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


กรมควบคุมมลพิษ. 2555. กิจกรรมการลด คัดแยก และการใช้ประโยชน์ขยะอินทรีย์ [Online].Available : http://webcache.googleusercontent.com/ [ค้นหาวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2558]

กรมควบคุมมลพิษ. 2557. สถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชน [Online].Available : http://www.pcd.go.th [ค้นหาวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2558]

กรมวิชาการเกษตร. 2538. คำแนะนำการควบคุมวัชพืช กลุมงานวิทยาการวัชพืช กองพฤกษ ศาสตรและวัชพืชกรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ 144 หนา

กรมวิชาการเกษตร. 2548. คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก [Online].Available : http://aglib.doa.go.th [ค้นหาวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2558]

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2557. สรรพคุณ และประโยชน์ของหญ้าแพรก [Online].Available : http://www.mnre.go.th/ [ค้นหาวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2558]

การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ [Online].Available : http://pikul.lib.ku.ac.th/Fulltext_SUGAR/SUG021011/SUG021011c.pdf [ค้นหาวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2558]

การผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ [Online].Available : http://r07.ldd.go.th/Web/21_Q/manual2.pdf [ค้นหาวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2558]

การผลิตปุ๋ยหมักระบบกองเติมอากาศ [Online].Available : http://www.compost.mju.ac.th/aerated/prod/ [ค้นหาวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ.2558]

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมากแบบไม่พลิกกลับกอง วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 [Online].Available : http://www.compost.mju.ac.th/Maejo.Compost/hna_hlak.html [ค้นหาวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ.2558]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ไม่พลิกกลับกองวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1
[Online].Available : http://www.nstda.or.th/nstda-knowledge/4711-maejoengineering1-composting
[ค้นหาวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ.2558]

ข้อควรพิจารณาก่อนทำปุ๋ยหมัก. 2556. วารสารวิทยาศาสตร์ มข.ปีที่ 41 ฉบับที่ 3

คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. กรมพัฒนาที่ดิน แก้ไขครั้งที่ 01 วันที่บังคับใช้ กันยายน 2553.

คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน. กรมพัฒนาที่ดิน แก้ไขครั้งที่ 01 วันที่บังคับใช้ กันยายน 2553.

โครงการต้นปุ๋ย. 2554.
[Online].Available : http://agri.wu.ac.th/msomsak/ManureTree/PlantData.htm
[ค้นหาวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ.2558]

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. 2548. คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกอง ระบบเติมอากาศ พิมพ์ครั้งที่ 2. ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. 2547. การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

นงลักษณ์ ปูระณะพงษ์. 2537. เอกสารคู่มือการวิเคราะห์ดินและปุ๋ยเบื้องต้น. เชียงใหม่ : ภาควิชา ดินและปุ๋ย คณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.

นิรันดร์ หิรัญสุข. 2547. ศักยภาพไส้เดือนดินสายพันธุ์ African Nightcrawler ในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ และการผลิตปุ๋ยหมักในสภาพเลียนแบบธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักบัณฑิตศึกษา, สาขาปฐพีศาสตร์.

บพิธ จารุพันธ์ และ นันทพร จารุพันธ์. 2544. สัตววิทยา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, ภาควิชาสัตววิทยา. 451 หน้า.

ปัญญาพร อินทร์คง, รัชพล ประดิษฐ์ และศศิธร เอมอำไพ. 2557. การผลิตปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ของโรงงานผลิตอาหารและวัชพืชน้ำ โดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน. โครงงานพิเศษ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปุ๋ยหมักและจุลินทรีย์ที่เป็นตัวเร่งในการทำปุ๋ยหมัก
[Online].Available : http://www.thaigreenagro.com/aticle.aspx?id=1903
[ค้นหาวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2558]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ฟาร์มไส้เดือนเดช

[Online].Available : http://wormhut.blogspot.com/

[ค้นหาวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2558]

ภัทรา วงษ์พันธ์กมล. 2547. การหาประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์จากเศษผักและเศษใบไม้แห้งของเชื้อจุลินทรีย์เร่งปุ๋ยหมัก. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ เชียงใหม่

[Online].Available : http://pikul.lib.ku. ac.th/cgi-bin/agre.exe?rec_id=004889&database=agre&search_type=link&table=mona&backpath=/agre/mona&lang=thai &format _name=TFMON.

[ค้นหาวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2558]

ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ. 2546. การทาปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้แห้งและขยะโดยวิธีหมักแบบใช้ออกซิเจน. คณะวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ เชียงใหม่. 96 หน้า.

เลี้ยงไส้เดือนครบวงจร รวยยั่งยืนตำรับ “ฟาร์มลุงเครา”

[Online].Available : http://www.manager.co.th/iBizChannel/ViewNews.aspx?NewsID=956000015020

[ค้นหาวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2558]

เลี้ยงไส้เดือน ช่วยกำจัดเศษอาหาร สร้างปุ๋ยหมักให้แปลงผัก

[Online].Available : http://www.thaicityfarm.com/autopagev4/show_page.php?topic_id=460&auto_id=29&TopicPk

[ค้นหาวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2558]

ศูนย์กลางซื้อขายไส้เดือนดิน

[Online].Available : http://www.afworm.com/

[ค้นหาวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2558]

สมศักดิ์ จีรัตน์. 2554. การผลิตปุ๋ยหมักเพื่อใช้ในการปรับปรุงดินและรักษาสิ่งแวดล้อม.

[Online].Available : http://web.agri.cmu.ac.th

[ค้นหาวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2558]

4 สายพันธุ์ไส้เดือนดินที่ใช้เลี้ยงในการกำจัดขยะและผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน

[Online].Available : http://www.oknation.net/blog/earthworms/2007/12/02/entry-1

[ค้นหาวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2558]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สำนักงานสิ่งแวดล้อม. 2558 รายงานผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และสำรวจสภาพสิ่งแวดล้อม คลองแม่ข่า จังหวัดเชียงใหม่.
[Online].Available : http://reo01.mnre.go.th
[ค้นหาวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2558]

ส่วนดิน และปุ๋ย สถาบันพัฒนาและส่งเสริมปัจจัยการผลิตกรมส่งเสริมการเกษตร
[Online].Available : http// www.agriqua.doae.com
[ค้นหาวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2558]

เสาวนิตย์ แดงทองดี และสุรางค์รัตน์ พันแสง. 2549. การศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษผัก. วิทยานิพนธ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

สุธีร์ สุนิตย์สกุล และอภิเศก ปั้นสุวรรณ. 2553. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม ปีที่ 6 เล่มที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2553 หน้า 97-108 : สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

สุมา หนูแก้ว. 2549. การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพและปริมาณของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ต่างๆของไส้เดือนดิน. กำจัดขยะที่เป็นการค้าในระบบการผลิตพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. สำนักบัณฑิตศึกษา. สาขาปฐพีศาสตร์.

เสียงแจ่ว พิริยพฤนต์และนวลจันทร์ ภาสดา. 2537. ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก คู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ เรื่อง การปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ. กรมพัฒนาที่ดิน.

สุรชัย ทับทิม. 2530. วิธีการทำปุ๋ยหมักเพื่อเกษตรกร. กรุงเทพฯ : สหบูรพาสาส์น.

องอาจ เอี่ยมสำอางค์. 2542. การเร่งระยะเวลาการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักร่วมกับตะกอนฐ้าทิ้งโดยใช้ระบบเติมอากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อานัฐ ตันโช. 2543. การทำปุ๋ยจากขยะโดยใช้ไส้เดือนดิน. นิตยสารแม่โจ้ปริทัศน์. 1(6), 98-102.

อานัฐ ต้นโช. 2551. บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการทาปุ๋ยหมัก.
[Online].Available : http://www.maejonaturalfarming.org
[ค้นหาวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2558]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

# การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณหาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

การคำนวณหาสัดส่วนเริ่มต้นของวัสดุที่ใช้ในการหมักคำนวณโดย หาค่าความชื้นเริ่มต้น ปริมาณคาร์บอนและปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นของวัสดุนั้นๆดังตารางที่ ก-1 ถึง ก-4

**ตารางที่ ก-1** ความชื้นของวัสดุเริ่มต้น

| วัสดุ | น้ำหนักถ้วย (g) | น้ำหนักตัวอย่าง(g) | น้ำหนักถ้วย+ตัวอย่างหลังอบ(g) | เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%) | เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ย (%) | S.D. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ผักตบชวา | 29.7069 | 1.0433 | 29.8147 | 89.67 | 87.75 | 2.7977 |
| | 31.2799 | 1.0471 | 31.4418 | 84.54 | | |
| | 30.2958 | 1.0837 | 30.4145 | 89.04 | | |
| จอก | 29.7264 | 1.1666 | 29.8270 | 91.38 | 92.83 | 1.3811 |
| | 30.0157 | 1.0406 | 30.0887 | 92.98 | | |
| | 31.3536 | 1.1187 | 31.4193 | 94.13 | | |
| ใบมะม่วงแห้ง | 30.0315 | 1.0366 | 30.9454 | 11.55 | 10.41 | 2.4445 |
| | 32.8800 | 1.0232 | 33.8254 | 7.60 | | |
| | 30.0183 | 1.0773 | 30.9655 | 12.07 | | |
| หญ้าแพรก | 29.4859 | 1.0154 | 30.0562 | 43.83 | 46.45 | 4.3640 |
| | 29.3244 | 1.0161 | 29.8317 | 44.10 | | |
| | 31.2474 | 1.0597 | 31.7611 | 51.52 | | |

**ตารางที่ ก-2** ปริมาณคาร์บอนของวัสดุเริ่มต้น

| วัสดุ | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | ปริมาณFAS ใช้ (ml) | ปริมาณคาร์บอน (%) | ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ย (%) | S.D. |
|---|---|---|---|---|---|
| ผักตบชวา | 0.1199 | 14.10 | 9.59 | 10.93 | 1.4204 |
| | 0.1030 | 14.30 | 10.79 | | |
| | 0.1005 | 13.60 | 12.42 | | |
| จอก | 0.1233 | 18.40 | 2.53 | 3.14 | 0.6897 |
| | 0.1100 | 18.30 | 3.01 | | |
| | 0.1102 | 17.80 | 3.89 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-2 (ต่อ)** ปริมาณคาร์บอนของวัสดุเริ่มต้น

| วัสดุ | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | ปริมาณFAS ใช้ (ml) | ปริมาณคาร์บอน (%) | ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ย (%) | S.D. |
|---|---|---|---|---|---|
| ใบมะม่วงแห้ง | 0.1098 | 5.10 | 26.46 | 27.29 | 2.1700 |
| | 0.1038 | 5.60 | 27.05 | | |
| | 0.1003 | 5.40 | 28.38 | | |
| หญ้าแพรก | 0.1053 | 9.60 | 19.26 | 18.88 | 1.0908 |
| | 0.1160 | 9.50 | 17.65 | | |
| | 0.1008 | 9.80 | 19.73 | | |

**ตารางที่ ก-3** ปริมาณไนโตรเจนของวัสดุเริ่มต้น

| วัสดุ | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml) | ปริมาณไนโตรเจน (%) | ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย (%) | S.D. |
|---|---|---|---|---|---|
| ผักตบชวา | 1.0754 | 19.80 | 0.47 | 0.44 | 0.0306 |
| | 1.0436 | 18.40 | 0.45 | | |
| | 1.0261 | 16.50 | 0.41 | | |
| จอก | 1.0709 | 9.70 | 0.23 | 0.23 | 0.0400 |
| | 1.0155 | 7.60 | 0.19 | | |
| | 1.0884 | 11.60 | 0.27 | | |
| ใบมะม่วงแห้ง | 1.0146 | 28.90 | 0.73 | 0.69 | 0.0404 |
| | 1.0301 | 27.80 | 0.70 | | |
| | 1.0013 | 25.40 | 0.65 | | |
| หญ้าแพรก | 1.0022 | 19.60 | 0.50 | 0.50 | 0.0351 |
| | 1.0042 | 18.50 | 0.47 | | |
| | 1.0023 | 21.20 | 0.54 | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-4** ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุเริ่มต้น

| วัสดุ | เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%) | ปริมาณคาร์บอน (%) | ปริมาณไนโตรเจน (%) | C/N ratio |
|---|---|---|---|---|
| ผักตบชวา | 87.75 | 10.93 | .044 | 24.84 |
| จอก | 92.83 | 3.14 | 0.23 | 13.65 |
| ใบมะม่วงแห้ง | 10.41 | 27.29 | 0.50 | 39.55 |
| หญ้าแพรก | 46.48 | 18.88 | 0.69 | 37.76 |

## การคำนวณหาอัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ในการหมัก

โดยกำหนดค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เริ่มต้นเท่ากับ 30:1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) เพื่อเหมาะต่อการย่อยสลาย

1. คำนวณหาปริมาณความชื้นของผักตบชวา+จอก

$$\frac{87.75+92.83}{2} = 90.29\ \%$$

2. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของผักตบชวา+จอก

$$\frac{0.44+0.23}{2} = 0.335\ \%$$

3. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่อไนโตรเจนของผักตบชวา+จอก

$$\frac{24.84+13.65}{2} = 19.245$$

4. คำนวณหาคาร์บอนและไนโตรเจนของผักตบชวา+จอก 1 กิโลกรัม

จะมีผักตบชวา+จอกน้ำหนักแห้ง = $1 - [\frac{90.29}{100}] \times 1 = 0.0971$ กิโลกรัม

จะมีไนโตรเจน $= \frac{0.335}{100} \times 0.0971$

$= 0.325 \times 10^{-3}$ กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากคาร์บอนต่อไนโตรเจน = 19.245:1

ถ้ามีไนโตรเจน 1 กิโลกรัม จะมีคาร์บอน 19.245 กิโลกรัม

ถ้ามีไนโตรเจน $0.325\times10^{-3}$ กิโลกรัมจะมีคาร์บอน $= 19.245 \times (0.325\times10^{-3})$

$= 0.0063$ กิโลกรัม

5. คำนวณหาคาร์บอนและไนโตรเจนของใบมะม่วงแห้ง 1 กิโลกรัม

น้ำหนักแห้ง $= 1 - [\frac{10.41}{100}] \times 1 = 0.8959$ กิโลกรัม

จะมีไนโตรเจน $= \frac{0.69}{100} \times 0.8959$

$= 6.1817 \times 10^{-3}$ กิโลกรัม

เนื่องจากคาร์บอนต่อไนโตรเจน = 39.55:1

ถ้ามีไนโตรเจน 1 กิโลกรัม จะมีคาร์บอน 39.55 กิโลกรัม

ถ้ามีไนโตรเจน $6.1817\times10^{-3}$ กิโลกรัมจะมีคาร์บอน $= 39.55 \times (6.1817\times10^{-3})$

$= 0.2444$ กิโลกรัม

6. คำนวณหาคาร์บอนและไนโตเจนของหญ้าแพรก 1 กิโลกรัม

น้ำหนักแห้ง $= 1 - [\frac{46.48}{100}] \times 1 = 0.5352$ กิโลกรัม

จะมีไนโตรเจน $= \frac{0.50}{100} \times 0.5352$

$= 2.6760 \times 10^{-3}$ กิโลกรัม

เนื่องจากคาร์บอนต่อไนโตรเจน = 37.76:1

ถ้ามีไนโตรเจน 1 กิโลกรัม จะมีคาร์บอน 37.76 กิโลกรัม

ถ้ามีไนโตรเจน $2.6760\times10^{-3}$ กิโลกรัมจะมีคาร์บอน $= 37.76 \times (2.6760\times10^{-3})$

$= 0.1010$ กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 30:1

บ่อที่ใช้ผักตบชวา จอกและใบมะม่วงแห้งเป็นวัสดุเริ่มต้น

1. คำนวณหาปริมาณใบมะม่วงแห้งที่ใช้ต่อผักตบชวา+จอก

$$\frac{30}{1} = \frac{C_{ผักตบชวา+จอก} + x(C_{ใบมะม่วงแห้ง})}{N_{ผักตบชวา+จอก} + x(N_{ใบมะม่วงแห้ง})}$$

$$\frac{30}{1} = \frac{0.0063 + x(0.2444)}{0.325\times10^{-3} + x(6.1817\times10^{-3})}$$

$$0.00975+0.1855x = 0.0063+0.2444x$$

$$x = 0.0586 \text{ กิโลกรัม}$$

2. คำนวณหาคาร์บอนและไนโตเจนของใบมะม่วงแห้งที่ 0.0586 กิโลกรัม

น้ำหนักแห้ง $= 0.0586 - \frac{[10.41]}{100} \times 0.0586 = 0.0525$ กิโลกรัม

จะมีคาร์บอน $= 0.0586 \times 0.2444 = 0.0143$ กิโลกรัม

จะมีไนโตรเจน $= 0.0586\times 6.1817\times10^{-3} = 0.00036$ กิโลกรัม

3. คำนวณหาคาร์บอนและไนโตเจนของผักตบชวา+จอก+ใบมะม่วงแห้ง

จะมีคาร์บอน $= 0.0063 + 0.0143 = 0.0206$ กิโลกรัม

จะมีไนโตรเจน $= 0.325\times10^{-3} + 0.00036 = 0.685\times10^{-3}$ กิโลกรัม

4. หาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน $= \frac{0.0206}{0.685\times10^{-3}} = 31.3070:1$

บ่อที่ใช้ผักตบชวา จอกและหญ้าแพรกเป็นวัสดุเริ่มต้น

1. คำนวณหาปริมาณหญ้าแพรกที่ใช้ต่อผักตบชวา+จอก

$$\frac{30}{1} = \frac{0.0063 + x(0.1010)}{0.325\times10^{-3} + x(2.6760\times10^{-3})}$$

$$0.00975+0.08028x = 0.0063+0.1010x$$

$$x = 0.1667 \text{ กิโลกรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณหาคาร์บอนและไนโตเจนของหญ้าแพรกที่ 0.1167 กิโลกรัม

น้ำหนักแห้ง = $0.1167 - [\frac{46.48}{100}] \times 0.1167 = 0.0625$ กิโลกรัม

จะมีคาร์บอน = $0.1167 \times 0.1010 = 0.0118$ กิโลกรัม

จะมีไนโตรเจน = $0.1167 \times 2.6760 \times 10^{-3} = 0.3122 \times 10^{-3}$ กิโลกรัม

3. คำนวณหาคาร์บอนและไนโตเจนของผักตบชวา+จอก+หญ้าแพรก

จะมีคาร์บอน = $0.0063 + 0.0118 = 0.1596$ กิโลกรัม

จะมีไนโตรเจน = $0.325 \times 10^{-3} + 0.3122 \times 10^{-3} = 0.6372 \times 10^{-3}$ กิโลกรัม

4. หาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน = $\frac{0.0181}{0.6372 \times 10^{-3}} = 28.4055:1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

# วิเคราะห์คุณสมบัติของการหมักเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-1** ปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักเริ่มต้น

| บ่อ | น้ำหนักถ้วย (g) | | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | น้ำหนักหลังอบถ้วย+ตัวอย่าง (g) | %ความชื้น |
|---|---|---|---|---|---|
| บ่อควบคุม | ครั้งที่1 | 24.4825 | 1.3519 | 24.6528 | 87.40 |
| | ครั้งที่2 | 29.4862 | 1.1888 | 29.6410 | 86.98 |
| | ครั้งที่3 | 32.8790 | 1.2344 | 33.0533 | 85.88 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 86.75 |
| | S.D. | | | | 0.7860 |
| บ่อเติมอากาศ | ครั้งที่1 | 31.3538 | 1.1247 | 31.5066 | 86.41 |
| | ครั้งที่2 | 30.0278 | 1.0821 | 30.1811 | 85.83 |
| | ครั้งที่3 | 31.2792 | 1.1980 | 31.4356 | 86.94 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 86.40 |
| | S.D. | | | | 0.5560 |
| บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน | ครั้งที่1 | 30.1017 | 1.4642 | 30.2725 | 88.33 |
| | ครั้งที่2 | 30.3084 | 1.2071 | 30.4510 | 88.19 |
| | ครั้งที่3 | 30.1758 | 1.1191 | 30.3178 | 87.31 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 87.94 |
| | S.D. | | | | 0.5531 |
| บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า | ครั้งที่1 | 31.245 | 1.1618 | 31.3687 | 89.35 |
| | ครั้งที่2 | 30.0168 | 1.2274 | 30.1506 | 89.099 |
| | ครั้งที่3 | 29.7258 | 1.4270 | 29.8437 | 91.74 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 90.06 |
| | S.D. | | | | 1.4559 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-2** ปริมาณคาร์บอนในปุ๋ยหมักเริ่มต้น

| บ่อ | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณFASที่ใช้ (ml) | ปริมาณคาร์บอน (%) |
|---|---|---|---|---|
| บ่อควบคุม | ครั้งที่1 | 0.1115 | 15.60 | 7.70 |
| | ครั้งที่2 | 0.1333 | 14.80 | 7.61 |
| | ครั้งที่3 | 0.1179 | 15.30 | 7.77 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 7.69 |
| | S.D. | | | 0.0834 |
| บ่อเติมอากาศ | ครั้งที่1 | 0.1146 | 15.50 | 7.66 |
| | ครั้งที่2 | 0.1046 | 16.20 | 7.08 |
| | ครั้งที่3 | 0.1308 | 15.60 | 6.56 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 7.10 |
| | S.D. | | | 0.5489 |
| บ่อเติมอากาศ ร่วมกับไส้เดือน | ครั้งที่1 | 0.1234 | 14.90 | 8.06 |
| | ครั้งที่2 | 0.1099 | 15.50 | 7.98 |
| | ครั้งที่3 | 0.1485 | 14.70 | 6.96 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 7.67 |
| | S.D. | | | 0.6144 |
| บ่อเติมอากาศ ร่วมกับไส้เดือน โดยใช้หญ้า | ครั้งที่1 | 0.1290 | 15.90 | 6.20 |
| | ครั้งที่2 | 0.1374 | 15.20 | 6.81 |
| | ครั้งที่3 | 0.1219 | 16.00 | 6.40 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 6.47 |
| | S.D. | | | 0.3133 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-3** ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักเริ่มต้น

| บ่อ | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml) | ปริมาณไนโตรเจน (%) |
|---|---|---|---|---|
| บ่อควบคุม | ครั้งที่1 | 1.1319 | 10.40 | 0.23 |
| | ครั้งที่2 | 1.0270 | 10.70 | 0.26 |
| | ครั้งที่3 | 1.1981 | 11.60 | 0.24 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.25 |
| | S.D. | | | 0.0157 |
| บ่อเติมอากาศ | ครั้งที่1 | 1.2378 | 11.00 | 0.23 |
| | ครั้งที่2 | 1.2201 | 10.20 | 0.21 |
| | ครั้งที่3 | 1.2100 | 9.40 | 0.20 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.21 |
| | S.D. | | | 0.0144 |
| บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน | ครั้งที่1 | 1.2277 | 10.60 | 0.22 |
| | ครั้งที่2 | 1.3492 | 13.70 | 0.26 |
| | ครั้งที่3 | 1.2704 | 12.30 | 0.25 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.24 |
| | S.D. | | | 0.0200 |
| บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า | ครั้งที่1 | 1.2543 | 10.80 | 0.22 |
| | ครั้งที่2 | 1.2819 | 10.60 | 0.21 |
| | ครั้งที่3 | 1.3129 | 9.70 | 0.19 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.21 |
| | S.D. | | | 0.0161 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-4** ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักเริ่มต้น

| บ่อ | น้ำหนักตัวอย่าง(g) | | ปริมาณฟอสฟอรัสเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P (%) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป $P_2O_5$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| บ่อควบคุม | ครั้งที่1 | 1.2484 | 7.26 | 0.09 | 0.21 |
| | ครั้งที่2 | 1.1589 | 7.63 | 0.09 | 0.20 |
| | ครั้งที่3 | 1.3548 | 7.22 | 0.10 | 0.22 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.09 | 0.21 |
| | S.D. | | | 0.0049 | 0.0113 |
| บ่อเติมอากาศ | ครั้งที่1 | 1.2457 | 7.59 | 0.09 | 0.22 |
| | ครั้งที่2 | 1.0328 | 7.84 | 0.08 | 0.19 |
| | ครั้งที่3 | 1.3549 | 7.69 | 0.10 | 0.24 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.09 | 0.21 |
| | S.D. | | | 0.0117 | 0.0267 |
| บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน | ครั้งที่1 | 1.4210 | 7.75 | 0.11 | 0.25 |
| | ครั้งที่2 | 1.2549 | 7.98 | 0.10 | 0.23 |
| | ครั้งที่3 | 1.3676 | 8.02 | 0.11 | 0.25 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.11 | 0.24 |
| | S.D. | | | 0.0056 | 0.0129 |
| บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า | ครั้งที่1 | 1.3774 | 7.86 | 0.11 | 0.25 |
| | ครั้งที่2 | 1.5794 | 7.56 | 0.12 | 0.27 |
| | ครั้งที่3 | 1.1298 | 7.93 | 0.09 | 0.21 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.11 | 0.24 |
| | S.D. | | | 0.0151 | 0.0345 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-5** ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักเริ่มต้น

| บ่อ | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณโพแทสเซียมเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K (%) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป $K_2O$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| บ่อควบคุม | ครั้งที่1 | 1.2648 | 0.651 | 8.23 | 8.44 |
| | ครั้งที่2 | 1.3345 | 0.655 | 8.74 | 8.96 |
| | ครั้งที่3 | 1.2458 | 0.665 | 8.28 | 8.49 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 8.42 | 8.63 |
| | S.D. | | | 0.2793 | 0.2863 |
| บ่อเติมอากาศ | ครั้งที่1 | 1.0332 | 0.781 | 8.07 | 8.27 |
| | ครั้งที่2 | 1.2549 | 0.794 | 9.96 | 10.21 |
| | ครั้งที่3 | 1.0352 | 0.771 | 7.98 | 8.18 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 8.67 | 8.89 |
| | S.D. | | | 1.1201 | 1.1481 |
| บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน | ครั้งที่1 | 1.2976 | 0.698 | 9.06 | 9.28 |
| | ครั้งที่2 | 1.1480 | 0.713 | 8.19 | 8.39 |
| | ครั้งที่3 | 1.2648 | 0.721 | 9.12 | 9.35 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 8.79 | 9.01 |
| | S.D. | | | 0.52226 | 0.5353 |
| บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า | ครั้งที่1 | 1.0254 | 0.679 | 6.96 | 7.14 |
| | ครั้งที่2 | 1.2364 | 0.734 | 9.08 | 9.30 |
| | ครั้งที่3 | 1.2584 | 0.686 | 8.63 | 8.85 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 8.22 | 8.43 |
| | S.D. | | | 1.1142 | 1.1421 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค
# ผลการศึกษาสภาวะระหว่างการหมักปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ค-1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก

**ตารางที่ ค 1** อุณหภูมิของปุ๋ยหมักทั้ง 4 บ่อ

| ระยะเวลา (วัน) | อุณหภูมิห้อง (°C) | บ่อควบคุม (°C) | บ่อที่เติมอากาศ (°C) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน(°C) | ปอเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า (°C) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 28.0 | 28.0 | 28.0 | 28.0 | 28.0 |
| 2 | 28.0 | 38.0 | 37.0 | 37.0 | 37.0 |
| 3 | 29.0 | 36.0 | 34.0 | 34.0 | 34.0 |
| 4 | 27.0 | 32.0 | 33.0 | 31.0 | 30.0 |
| 5 | 28.0 | 31.0 | 32.0 | 31.0 | 31.0 |
| 6 | 28.0 | 30.0 | 32.0 | 30.0 | 30.0 |
| 7 | 28.0 | 30.0 | 31.0 | 30.0 | 30.0 |
| 8 | 27.0 | 30.0 | 31.0 | 29.0 | 29.0 |
| 9 | 26.0 | 29.0 | 30.0 | 28.0 | 28.0 |
| 10 | 27.0 | 28.0 | 29.0 | 28.0 | 28.0 |
| 11 | 30.0 | 28.0 | 29.0 | 28.0 | 28.0 |
| 12 | 30.0 | 28.0 | 29.0 | 28.0 | 28.0 |
| 13 | 31.0 | 28.0 | 29.0 | 28.0 | 30.0 |
| 14 | 32.0 | 29.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 |
| 15 | 29.5 | 29.0 | 30.0 | 30.0 | 28.0 |
| 16 | 30.0 | 28.5 | 29.0 | 29.0 | 28.5 |
| 17 | 32.0 | 28.0 | 28.0 | 29.0 | 28.0 |
| 18 | 33.0 | 28.0 | 28.0 | 29.0 | 29.0 |
| 19 | 32.0 | 28.0 | 29.0 | 29.0 | 29.0 |
| 20 | 32.0 | 29.0 | 29.0 | 30.0 | 29.0 |
| 21 | 32.0 | 29.0 | 29.0 | 30.0 | 28.0 |
| 22 | 32.0 | 29.0 | 28.0 | 29.0 | 28.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 1 (ต่อ)** อุณหภูมิของปุ๋ยหมักทั้ง 4 บ่อ

| ระยะเวลา (วัน) | อุณหภูมิห้อง (°C) | บ่อควบคุม (°C) | บ่อที่เติมอากาศ (°C) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน(°C) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า (°C) |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 32.0 | 29.0 | 28.0 | 29.0 | 28.0 |
| 24 | 28.0 | 29.0 | 28.0 | 29.0 | 28.0 |
| 25 | 30.0 | 29.0 | 28.0 | 29.0 | 28.0 |
| 26 | 30.0 | 28.0 | 27.0 | 29.0 | 28.0 |
| 27 | 30.0 | 28.0 | 27.0 | 29.0 | 28.0 |
| 28 | 29.0 | 28.0 | 27.0 | 29.0 | 28.0 |
| 29 | 27.0 | 28.0 | 27.0 | 29.0 | 27.0 |
| 30 | 27.0 | 28.0 | 27.0 | 29.0 | 27.0 |
| 31 | 30.0 | 28.0 | 27.0 | 29.0 | 27.0 |
| 32 | 27.0 | 28.0 | 27.0 | 29.0 | 27.0 |
| 33 | 29.0 | 28.0 | 28.0 | 29.0 | 27.0 |
| 34 | 29.0 | 28.0 | 28.0 | 28.0 | 27.0 |
| 35 | 29.0 | 27.0 | 27.0 | 28.0 | 27.0 |
| 36 | 29.0 | 27.0 | 27.0 | 28.0 | 27.0 |
| 37 | 31.0 | 27.0 | 27.0 | 28.0 | 27.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ค-2 ผลการศึกษาอัตราการยุบของปุ๋ยหมัก

**ตารางที่ ค 2** อัตราการยุบของปุ๋ยทั้ง 4 บ่อ

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อควบคุม (cm) | บ่อเติมอากาศ (cm) | บ่อเติมอากาศ ร่วมกับไส้เดือน (cm) | บ่อเติมอากาศ ร่วมกับไส้เดือนโดย ใช้หญ้า (cm) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 35.0 | 35.0 | 35.0 | 35.0 |
| 2 | 32.0 | 33.0 | 30.0 | 31.0 |
| 3 | 30.0 | 31.0 | 29.5 | 29.5 |
| 4 | 29.0 | 29.0 | 27.0 | 28.0 |
| 5 | 28.0 | 29.0 | 26.0 | 26.0 |
| 6 | 27.0 | 28.0 | 25.0 | 25.0 |
| 7 | 26.0 | 27.0 | 24.0 | 24.0 |
| 8 | 25.0 | 25.0 | 23.0 | 23.0 |
| 9 | 24.0 | 24.0 | 22.0 | 22.0 |
| 10 | 24.0 | 24.0 | 22.0 | 21.0 |
| 11 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 22.0 |
| 12 | 23.0 | 22.0 | 22.0 | 20.0 |
| 13 | 22.0 | 21.0 | 21.0 | 19.0 |
| 14 | 22.0 | 20.0 | 20.0 | 18.0 |
| 15 | 21.0 | 19.0 | 19.0 | 17.0 |
| 16 | 21.0 | 19.0 | 19.0 | 16.0 |
| 17 | 20.0 | 18.5 | 18.5 | 15.5 |
| 18 | 20.0 | 18.0 | 18.0 | 15.0 |
| 19 | 19.5 | 18.0 | 18.0 | 15.0 |
| 20 | 19.5 | 17.5 | 17.5 | 14.5 |
| 21 | 19.0 | 17.0 | 17.5 | 14.0 |
| 22 | 19.0 | 17.0 | 17.0 | 14.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 2 (ต่อ)** อัตราการยุบของปุ๋ยทั้ง 4 บ่อ

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อควบคุม (cm) | บ่อเติมอากาศ (cm) | บ่อเติมอากาศ ร่วมกับไส้เดือน (cm) | บ่อเติมอากาศร่วมกับ ไส้เดือนโดยใช้หญ้า (cm) |
|---|---|---|---|---|
| 23 | 18.0 | 17.0 | 16.5 | 14.0 |
| 24 | 17.0 | 16.5 | 16.5 | 13.5 |
| 25 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 13.5 |
| 26 | 16.0 | 15.0 | 15.0 | 13.0 |
| 27 | 15.5 | 14.0 | 14.5 | 13.0 |
| 28 | 15.5 | 13.0 | 14.0 | 12.0 |
| 29 | 15.0 | 13.0 | 14.0 | 12.0 |
| 30 | 15.0 | 12.5 | 13.5 | 12.0 |
| 31 | 14.5 | 12.5 | 13.5 | 11.5 |
| 32 | 14.0 | 12.0 | 13.0 | 11.5 |
| 33 | 14.0 | 12.0 | 13.0 | 11.0 |
| 34 | 13.5 | 11.5 | 12.5 | 10.5 |
| 35 | 13.5 | 11.5 | 12.5 | 10.5 |
| 36 | 13.0 | 11.0 | 12.0 | 10.0 |
| 37 | 13.0 | 11.0 | 12.0 | 10.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ค-3 ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยหมัก

**ตารางที่ ค 3-1** ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อควบคุม | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่1 | ครั้งที่2 | ครั้งที่3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 6.40 | 6.42 | 6.39 | 6.40 | 0.0153 |
| 2 | 6.50 | 6.59 | 6.63 | 6.57 | 0.0666 |
| 3 | 6.42 | 6.44 | 6.49 | 6.45 | 0.0361 |
| 4 | 6.31 | 6.30 | 6.33 | 6.31 | 0.0153 |
| 5 | 6.30 | 6.21 | 6.18 | 6.23 | 0.0624 |
| 6 | 6.17 | 6.24 | 6.28 | 6.23 | 0.0557 |
| 7 | 6.21 | 6.42 | 6.5 | 6.38 | 0.1498 |
| 8 | 6.53 | 6.62 | 6.67 | 6.61 | 0.0709 |
| 9 | 7.01 | 7.11 | 6.93 | 7.02 | 0.0902 |
| 10 | 7.09 | 7.12 | 7.23 | 7.15 | 0.0737 |
| 11 | 7.62 | 7.50 | 7.68 | 7.60 | 0.0917 |
| 12 | 7.32 | 7.35 | 7.28 | 7.32 | 0.0351 |
| 13 | 7.25 | 7.31 | 7.32 | 7.29 | 0.0379 |
| 14 | 7.01 | 7.18 | 7.09 | 7.09 | 0.0850 |
| 15 | 7.27 | 7.30 | 7.34 | 7.30 | 0.0351 |
| 16 | 7.32 | 7.35 | 7.33 | 7.33 | 0.0153 |
| 17 | 7.48 | 7.37 | 7.39 | 7.41 | 0.0584 |
| 18 | 7.52 | 7.52 | 7.54 | 7.53 | 0.0115 |
| 19 | 7.60 | 7.59 | 7.68 | 7.62 | 0.0493 |
| 20 | 7.72 | 7.73 | 7.74 | 7.73 | 0.0100 |
| 21 | 7.77 | 7.79 | 7.81 | 7.79 | 0.0200 |
| 22 | 7.75 | 7.79 | 7.80 | 7.78 | 0.0265 |
| 23 | 7.77 | 7.79 | 7.82 | 7.79 | 0.0252 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 3-1 (ต่อ)** ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อควบคุม | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 24 | 7.85 | 7.81 | 7.81 | 7.82 | 0.0231 |
| 25 | 7.86 | 7.89 | 7.87 | 7.87 | 0.0153 |
| 26 | 7.90 | 7.92 | 7.89 | 7.90 | 0.0153 |
| 27 | 7.92 | 7.95 | 7.98 | 7.95 | 0.0300 |
| 28 | 7.97 | 8.03 | 8.06 | 8.02 | 0.0458 |
| 29 | 7.96 | 7.97 | 7.98 | 7.97 | 0.0100 |
| 30 | 8.19 | 8.26 | 8.24 | 8.23 | 0.0361 |
| 31 | 8.00 | 8.07 | 8.08 | 8.05 | 0.0436 |
| 32 | 8.11 | 8.15 | 8.09 | 8.12 | 0.0305 |
| 33 | 8.23 | 8.32 | 8.29 | 8.28 | 0.0458 |
| 34 | 8.15 | 8.12 | 8.19 | 8.15 | 0.0351 |
| 35 | 8.14 | 8.10 | 8.12 | 8.12 | 0.0200 |
| 36 | 8.13 | 8.12 | 8.15 | 8.13 | 0.0153 |
| 37 | 8.15 | 8.11 | 8.19 | 8.15 | 0.0400 |

**ตารางที่ ค 3-2** ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 6.21 | 6.23 | 6.27 | 6.24 | 0.0306 |
| 2 | 6.19 | 6.20 | 6.15 | 6.18 | 0.0265 |
| 3 | 6.21 | 6.19 | 6.2 | 6.20 | 0.0100 |
| 4 | 6.2 | 6.29 | 6.24 | 6.24 | 0.0451 |
| 5 | 6.5 | 6.59 | 6.54 | 6.54 | 0.0451 |
| 6 | 6.95 | 6.98 | 7.09 | 7.01 | 0.0737 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 3-2 (ต่อ)** ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 7 | 7.30 | 7.48 | 7.37 | 7.38 | 0.0907 |
| 8 | 7.58 | 7.61 | 7.53 | 7.57 | 0.0404 |
| 9 | 7.12 | 7.25 | 7.28 | 7.22 | 0.0850 |
| 10 | 7.09 | 7.12 | 7.25 | 7.15 | 0.0850 |
| 11 | 7.16 | 7.20 | 7.17 | 7.18 | 0.0208 |
| 12 | 7.20 | 7.21 | 7.23 | 7.21 | 0.0152 |
| 13 | 7.29 | 7.30 | 7.28 | 7.29 | 0.0100 |
| 14 | 7.30 | 7.33 | 7.35 | 7.33 | 0.0252 |
| 15 | 7.27 | 7.32 | 7.29 | 7.29 | 0.0252 |
| 16 | 7.45 | 7.42 | 7.45 | 7.44 | 0.0173 |
| 17 | 7.51 | 7.52 | 7.50 | 7.51 | 0.0100 |
| 18 | 7.64 | 7.68 | 7.67 | 7.66 | 0.0208 |
| 19 | 7.79 | 7.91 | 7.91 | 7.87 | 0.0693 |
| 20 | 7.72 | 7.75 | 7.74 | 7.74 | 0.0153 |
| 21 | 7.70 | 7.79 | 7.78 | 7.76 | 0.0493 |
| 22 | 7.82 | 7.79 | 7.81 | 7.81 | 0.0153 |
| 23 | 7.79 | 7.85 | 7.84 | 7.83 | 0.0321 |
| 24 | 7.82 | 7.88 | 7.89 | 7.86 | 0.0379 |
| 25 | 7.89 | 7.92 | 7.91 | 7.91 | 0.0153 |
| 26 | 8.01 | 8.02 | 8.04 | 8.02 | 0.0153 |
| 27 | 8.09 | 8.07 | 8.11 | 8.09 | 0.0200 |
| 28 | 8.18 | 8.19 | 8.18 | 8.18 | 0.0058 |
| 29 | 8.04 | 8.11 | 8.12 | 8.09 | 0.0436 |
| 30 | 8.49 | 8.42 | 8.44 | 8.45 | 0.0361 |
| 31 | 8.23 | 8.24 | 8.27 | 8.25 | 0.0208 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 3-2 (ต่อ)** ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 32 | 8.24 | 8.29 | 8.25 | 8.26 | 0.0265 |
| 33 | 8.25 | 8.35 | 8.36 | 8.32 | 0.0608 |
| 34 | 8.42 | 8.36 | 8.48 | 8.42 | 0.0600 |
| 35 | 8.39 | 8.41 | 8.38 | 8.39 | 0.0153 |
| 36 | 8.38 | 8.40 | 8.42 | 8.40 | 0.0200 |
| 37 | 8.42 | 8.39 | 8.43 | 8.41 | 0.0208 |

**ตารางที่ ค 3-3** ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 6.19 | 6.23 | 6.21 | 6.21 | 0.0200 |
| 2 | 6.35 | 6.45 | 6.46 | 6.42 | 0.0608 |
| 3 | 6.32 | 6.42 | 6.41 | 6.38 | 0.0551 |
| 4 | 6.35 | 6.33 | 6.31 | 6.33 | 0.0200 |
| 5 | 6.51 | 6.55 | 6.52 | 6.53 | 0.0208 |
| 6 | 6.62 | 6.70 | 6.68 | 6.67 | 0.0416 |
| 7 | 6.98 | 6.97 | 7.03 | 6.99 | 0.0321 |
| 8 | 7.01 | 7.12 | 7.09 | 7.07 | 0.0569 |
| 9 | 7.12 | 7.21 | 7.11 | 7.15 | 0.0551 |
| 10 | 7.23 | 7.18 | 7.22 | 7.21 | 0.0265 |
| 11 | 7.11 | 7.07 | 7.12 | 7.10 | 0.0265 |
| 12 | 7.22 | 7.24 | 7.23 | 7.23 | 0.0100 |
| 13 | 7.31 | 7.35 | 7.36 | 7.34 | 0.0265 |
| 14 | 7.40 | 7.43 | 7.39 | 7.41 | 0.0208 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 3-3 (ต่อ)** ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 15 | 7.32 | 7.40 | 7.43 | 7.38 | 0.0569 |
| 16 | 7.45 | 7.44 | 7.44 | 7.44 | 0.0058 |
| 17 | 7.52 | 7.51 | 7.54 | 7.52 | 0.0153 |
| 18 | 7.56 | 7.61 | 7.60 | 7.59 | 0.0265 |
| 19 | 7.84 | 7.84 | 7.80 | 7.83 | 0.0231 |
| 20 | 7.69 | 7.71 | 7.67 | 7.69 | 0.0200 |
| 21 | 7.45 | 7.49 | 7.42 | 7.45 | 0.0351 |
| 22 | 7.48 | 7.49 | 7.48 | 7.48 | 0.0058 |
| 23 | 7.61 | 7.65 | 7.66 | 7.64 | 0.0265 |
| 24 | 7.78 | 7.79 | 7.76 | 7.78 | 0.0153 |
| 25 | 7.81 | 7.79 | 7.82 | 7.81 | 0.0153 |
| 26 | 7.85 | 7.88 | 7.89 | 7.87 | 0.0208 |
| 27 | 7.90 | 7.89 | 7.92 | 7.90 | 0.0153 |
| 28 | 7.97 | 7.98 | 8.00 | 7.98 | 0.0153 |
| 29 | 8.19 | 8.19 | 8.17 | 8.18 | 0.0115 |
| 30 | 8.40 | 8.43 | 8.42 | 8.42 | 0.0153 |
| 31 | 8.23 | 8.22 | 8.20 | 8.22 | 0.0153 |
| 32 | 8.12 | 8.23 | 8.26 | 8.20 | 0.0737 |
| 33 | 8.10 | 8.21 | 8.25 | 8.19 | 0.0777 |
| 34 | 8.28 | 8.25 | 8.29 | 8.27 | 0.0208 |
| 35 | 8.25 | 8.20 | 8.23 | 8.23 | 0.0252 |
| 36 | 8.22 | 8.18 | 8.17 | 8.19 | 0.0265 |
| 37 | 8.31 | 8.24 | 8.21 | 8.25 | 0.0513 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 3-4** ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 6.17 | 6.19 | 6.17 | 6.18 | 0.0115 |
| 2 | 6.17 | 6.19 | 6.25 | 6.20 | 0.0416 |
| 3 | 6.15 | 6.18 | 6.19 | 6.17 | 0.0208 |
| 4 | 6.05 | 6.10 | 6.17 | 6.11 | 0.0603 |
| 5 | 6.21 | 6.23 | 6.19 | 6.21 | 0.0200 |
| 6 | 6.15 | 6.21 | 6.23 | 6.20 | 0.0416 |
| 7 | 6.40 | 6.30 | 6.25 | 6.32 | 0.0764 |
| 8 | 6.58 | 6.51 | 6.52 | 6.54 | 0.0379 |
| 9 | 6.60 | 6.67 | 6.58 | 6.62 | 0.0473 |
| 10 | 6.72 | 6.81 | 6.79 | 6.77 | 0.0473 |
| 11 | 6.97 | 6.92 | 6.81 | 6.90 | 0.0819 |
| 12 | 7.03 | 7.05 | 7.02 | 7.03 | 0.0153 |
| 13 | 7.21 | 7.23 | 7.23 | 7.22 | 0.0115 |
| 14 | 7.42 | 7.35 | 7.43 | 7.40 | 0.0436 |
| 15 | 7.35 | 7.22 | 7.40 | 7.32 | 0.0929 |
| 16 | 7.50 | 7.52 | 7.49 | 7.50 | 0.0153 |
| 17 | 7.62 | 7.62 | 7.63 | 7.62 | 0.0058 |
| 18 | 7.45 | 7.51 | 7.52 | 7.49 | 0.0379 |
| 19 | 7.55 | 7.58 | 7.56 | 7.56 | 0.0153 |
| 20 | 7.59 | 7.52 | 7.58 | 7.56 | 0.0379 |
| 21 | 7.61 | 7.65 | 7.62 | 7.63 | 0.0208 |
| 22 | 7.71 | 7.73 | 7.73 | 7.72 | 0.0115 |
| 23 | 7.82 | 7.85 | 7.84 | 7.84 | 0.0153 |
| 24 | 7.83 | 7.84 | 7.83 | 7.83 | 0.0058 |
| 25 | 7.91 | 7.87 | 7.88 | 7.89 | 0.0208 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 3-4 (ต่อ)** ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 26 | 7.90 | 7.95 | 7.94 | 7.93 | 0.0265 |
| 27 | 7.99 | 8.04 | 8.02 | 8.02 | 0.0252 |
| 28 | 8.13 | 8.14 | 8.14 | 8.14 | 0.0058 |
| 29 | 8.05 | 8.11 | 8.12 | 8.09 | 0.0379 |
| 30 | 8.12 | 8.10 | 8.11 | 8.11 | 0.0100 |
| 31 | 7.72 | 7.70 | 7.75 | 7.72 | 0.0252 |
| 32 | 7.91 | 7.94 | 7.84 | 7.90 | 0.0513 |
| 33 | 8.10 | 8.04 | 7.96 | 8.03 | 0.0702 |
| 34 | 8.02 | 8.11 | 8.05 | 8.06 | 0.0458 |
| 35 | 8.22 | 8.25 | 8.26 | 8.24 | 0.0208 |
| 36 | 8.31 | 8.28 | 8.30 | 8.30 | 0.0153 |
| 37 | 8.25 | 8.23 | 8.26 | 8.25 | 0.0153 |

## ค-4 ผลการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมัก

**ตารางที่ ค 4-1** ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อควบคุม (dS/m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 7.89 | 7.86 | 7.79 | 7.85 | 0.0513 |
| 2 | 7.84 | 7.86 | 7.79 | 7.83 | 0.0361 |
| 3 | 8.12 | 8.15 | 8.15 | 8.14 | 0.0173 |
| 4 | 8.40 | 8.45 | 8.42 | 8.42 | 0.0252 |
| 5 | 8.49 | 8.10 | 8.06 | 8.22 | 0.2376 |
| 6 | 8.25 | 8.23 | 8.12 | 8.20 | 0.0700 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 4-1 (ต่อ)** ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อควบคุม (dS/m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 7 | 8.72 | 8.91 | 8.62 | 8.75 | 0.1473 |
| 8 | 8.79 | 8.73 | 8.82 | 8.78 | 0.0458 |
| 9 | 8.42 | 8.38 | 8.39 | 8.40 | 0.0208 |
| 10 | 8.26 | 8.19 | 8.24 | 8.23 | 0.0361 |
| 11 | 8.13 | 8.12 | 8.13 | 8.13 | 0.0058 |
| 12 | 8.14 | 8.18 | 8.17 | 8.16 | 0.0208 |
| 13 | 8.32 | 8.36 | 8.34 | 8.34 | 0.0200 |
| 14 | 8.17 | 8.11 | 8.10 | 8.13 | 0.0379 |
| 15 | 8.02 | 8.00 | 7.99 | 8.00 | 0.0153 |
| 16 | 7.95 | 7.94 | 7.94 | 7.94 | 0.0058 |
| 17 | 7.92 | 7.98 | 7.93 | 7.94 | 0.0321 |
| 18 | 8.1 | 8.00 | 8.12 | 8.07 | 0.0643 |
| 19 | 8.02 | 8.03 | 8.00 | 8.02 | 0.0153 |
| 20 | 8.26 | 8.24 | 8.29 | 8.26 | 0.0252 |
| 21 | 8.22 | 8.21 | 8.22 | 8.22 | 0.0058 |
| 22 | 8.52 | 8.51 | 8.47 | 8.50 | 0.0265 |
| 23 | 8.30 | 8.41 | 8.43 | 8.38 | 0.0700 |
| 24 | 8.16 | 8.19 | 8.09 | 8.15 | 0.0513 |
| 25 | 8.00 | 8.04 | 7.98 | 8.01 | 0.0306 |
| 26 | 8.07 | 8.03 | 8.04 | 8.05 | 0.0208 |
| 27 | 7.94 | 7.98 | 7.91 | 7.94 | 0.0351 |
| 28 | 7.92 | 8.02 | 8.10 | 8.01 | 0.0902 |
| 29 | 8.29 | 8.19 | 8.24 | 8.24 | 0.0500 |
| 30 | 8.44 | 8.39 | 8.36 | 8.40 | 0.0404 |
| 31 | 7.91 | 7.89 | 7.66 | 7.82 | 0.1389 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 4-1 (ต่อ)** ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อควบคุม (dS/m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 32 | 7.92 | 8.01 | 8.00 | 7.98 | 0.0493 |
| 33 | 8.10 | 8.12 | 8.09 | 8.10 | 0.0153 |
| 34 | 8.25 | 8.38 | 8.34 | 8.32 | 0.0666 |
| 35 | 8.32 | 8.45 | 8.43 | 8.40 | 0.0700 |
| 36 | 8.49 | 8.47 | 8.50 | 8.49 | 0.0153 |
| 37 | 8.51 | 8.53 | 8.52 | 8.52 | 0.0100 |

**ตารางที่ ค 4-2** ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศ (dS/m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 7.82 | 7.81 | 7.79 | 7.81 | 0.0153 |
| 2 | 7.81 | 7.80 | 7.80 | 7.80 | 0.0058 |
| 3 | 7.92 | 7.98 | 7.99 | 7.96 | 0.0379 |
| 4 | 8.21 | 8.32 | 8.40 | 8.31 | 0.0954 |
| 5 | 7.43 | 7.45 | 7.42 | 7.43 | 0.0153 |
| 6 | 7.89 | 7.92 | 7.95 | 7.92 | 0.0300 |
| 7 | 8.68 | 8.60 | 8.76 | 8.68 | 0.0800 |
| 8 | 8.71 | 8.75 | 8.80 | 8.75 | 0.0451 |
| 9 | 8.69 | 8.63 | 8.61 | 8.64 | 0.0416 |
| 10 | 8.72 | 8.75 | 8.76 | 8.74 | 0.0208 |
| 11 | 8.89 | 8.82 | 8.79 | 8.83 | 0.0513 |
| 12 | 8.64 | 8.67 | 8.62 | 8.64 | 0.0252 |
| 13 | 8.40 | 8.39 | 8.40 | 8.40 | 0.0058 |
| 14 | 8.48 | 8.42 | 8.40 | 8.43 | 0.0416 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 4-2 (ต่อ)** ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศ (dS/m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 15 | 8.46 | 8.39 | 8.38 | 8.41 | 0.0436 |
| 16 | 8.36 | 8.34 | 8.29 | 8.33 | 0.0361 |
| 17 | 8.29 | 8.24 | 8.26 | 8.26 | 0.0252 |
| 18 | 8.55 | 8.51 | 8.53 | 8.53 | 0.0200 |
| 19 | 8.59 | 8.59 | 8.58 | 8.59 | 0.0058 |
| 20 | 8.32 | 8.31 | 8.27 | 8.30 | 0.0265 |
| 21 | 8.12 | 8.14 | 8.10 | 8.12 | 0.0200 |
| 22 | 8.09 | 8.08 | 8.05 | 8.07 | 0.0208 |
| 23 | 7.99 | 8.01 | 7.98 | 7.99 | 0.0153 |
| 24 | 7.85 | 7.83 | 7.84 | 7.84 | 0.0100 |
| 25 | 7.77 | 7.79 | 7.75 | 7.77 | 0.0200 |
| 26 | 7.96 | 7.92 | 7.98 | 7.95 | 0.0306 |
| 27 | 7.75 | 7.85 | 7.84 | 7.81 | 0.0551 |
| 28 | 7.72 | 7.56 | 7.67 | 7.65 | 0.0819 |
| 29 | 8.72 | 8.71 | 8.74 | 8.72 | 0.0153 |
| 30 | 8.54 | 8.52 | 8.25 | 8.44 | 0.1620 |
| 31 | 8.80 | 8.74 | 8.78 | 8.77 | 0.0306 |
| 32 | 8.89 | 8.85 | 8.92 | 8.89 | 0.0351 |
| 33 | 8.84 | 8.87 | 8.83 | 8.85 | 0.0208 |
| 34 | 8.68 | 8.49 | 8.51 | 8.56 | 0.1044 |
| 35 | 8.71 | 8.68 | 8.64 | 8.68 | 0.0351 |
| 36 | 8.89 | 8.82 | 8.85 | 8.85 | 0.0351 |
| 37 | 8.79 | 8.83 | 8.84 | 8.82 | 0.0265 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 4-3** ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน (dS/m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 8.01 | 8.06 | 8.04 | 8.04 | 0.0252 |
| 2 | 8.13 | 8.06 | 8.10 | 8.10 | 0.0351 |
| 3 | 8.22 | 8.23 | 8.21 | 8.22 | 0.0100 |
| 4 | 7.69 | 7.70 | 7.64 | 7.68 | 0.0321 |
| 5 | 7.95 | 8.05 | 7.79 | 7.93 | 0.1311 |
| 6 | 7.98 | 8.01 | 8.05 | 8.01 | 0.0351 |
| 7 | 8.06 | 8.20 | 8.18 | 8.15 | 0.0757 |
| 8 | 8.09 | 8.15 | 8.23 | 8.16 | 0.0702 |
| 9 | 8.12 | 8.14 | 8.10 | 8.12 | 0.0200 |
| 10 | 8.15 | 8.12 | 8.09 | 8.12 | 0.0300 |
| 11 | 8.22 | 8.12 | 8.19 | 8.18 | 0.0513 |
| 12 | 8.14 | 8.15 | 8.16 | 8.15 | 0.0100 |
| 13 | 8.09 | 8.11 | 8.13 | 8.11 | 0.0200 |
| 14 | 7.99 | 7.98 | 7.98 | 7.98 | 0.0058 |
| 15 | 7.84 | 7.85 | 7.87 | 7.85 | 0.0153 |
| 16 | 7.85 | 7.84 | 7.81 | 7.83 | 0.0208 |
| 17 | 7.64 | 7.69 | 7.63 | 7.65 | 0.0321 |
| 18 | 7.89 | 7.84 | 7.86 | 7.86 | 0.0252 |
| 19 | 7.77 | 7.78 | 7.72 | 7.76 | 0.0321 |
| 20 | 7.56 | 7.59 | 7.58 | 7.58 | 0.0153 |
| 21 | 7.83 | 7.84 | 7.89 | 7.85 | 0.0321 |
| 22 | 7.89 | 7.84 | 7.93 | 7.89 | 0.0451 |
| 23 | 7.64 | 7.68 | 7.69 | 7.67 | 0.0265 |
| 24 | 7.96 | 7.88 | 7.91 | 7.92 | 0.0404 |
| 25 | 7.92 | 7.82 | 7.89 | 7.88 | 0.0513 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 4-3 (ต่อ)** ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน (dS/m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 26 | 7.78 | 7.79 | 7.83 | 7.80 | 0.0265 |
| 27 | 7.74 | 7.76 | 7.79 | 7.76 | 0.0252 |
| 28 | 7.61 | 7.60 | 7.55 | 7.59 | 0.0321 |
| 29 | 7.81 | 7.62 | 7.87 | 7.77 | 0.1305 |
| 30 | 7.28 | 7.17 | 7.22 | 7.22 | 0.0551 |
| 31 | 7.74 | 7.7 | 7.67 | 7.70 | 0.0351 |
| 32 | 7.93 | 7.99 | 8.01 | 7.98 | 0.0416 |
| 33 | 8.36 | 8.32 | 8.29 | 8.32 | 0.0351 |
| 34 | 8.31 | 7.94 | 8.12 | 8.12 | 0.1850 |
| 35 | 8.42 | 8.39 | 8.39 | 8.40 | 0.0173 |
| 36 | 8.51 | 8.54 | 8.49 | 8.51 | 0.0252 |
| 37 | 8.55 | 8.56 | 8.56 | 8.56 | 0.0058 |

**ตารางที่ ค 4-4** ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า (dS/m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 7.78 | 7.84 | 7.83 | 7.82 | 0.0321 |
| 2 | 7.91 | 7.90 | 7.93 | 7.91 | 0.0153 |
| 3 | 8.01 | 7.99 | 8.05 | 8.02 | 0.0306 |
| 4 | 8.10 | 8.15 | 8.20 | 8.15 | 0.0500 |
| 5 | 8.76 | 8.84 | 8.59 | 8.73 | 0.1277 |
| 6 | 8.75 | 8.79 | 8.69 | 8.74 | 0.0503 |
| 7 | 8.38 | 8.50 | 8.53 | 8.47 | 0.0794 |
| 8 | 8.52 | 8.61 | 8.58 | 8.57 | 0.0458 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 4-4 (ต่อ)** ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า (dS/m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 9 | 8.42 | 8.46 | 8.48 | 8.45 | 0.0306 |
| 10 | 8.47 | 8.41 | 8.40 | 8.43 | 0.0379 |
| 11 | 8.69 | 8.67 | 8.66 | 8.67 | 0.0153 |
| 12 | 8.89 | 8.82 | 8.83 | 8.85 | 0.0379 |
| 13 | 8.70 | 8.69 | 8.70 | 8.70 | 0.0058 |
| 14 | 8.75 | 8.71 | 8.73 | 8.73 | 0.0200 |
| 15 | 8.54 | 8.52 | 8.57 | 8.54 | 0.0252 |
| 16 | 8.48 | 8.49 | 8.48 | 8.48 | 0.0057 |
| 17 | 8.51 | 8.54 | 8.53 | 8.53 | 0.0153 |
| 18 | 8.75 | 8.72 | 8.69 | 8.72 | 0.0300 |
| 19 | 8.69 | 8.61 | 8.62 | 8.64 | 0.0436 |
| 20 | 8.52 | 8.52 | 8.51 | 8.52 | 0.0058 |
| 21 | 8.47 | 8.49 | 8.46 | 8.47 | 0.0153 |
| 22 | 8.56 | 8.57 | 8.59 | 8.57 | 0.0153 |
| 23 | 8.59 | 8.56 | 8.57 | 8.57 | 0.0153 |
| 24 | 8.42 | 8.43 | 8.41 | 8.42 | 0.0100 |
| 25 | 8.13 | 8.11 | 8.14 | 8.13 | 0.0153 |
| 26 | 8.24 | 8.26 | 8.28 | 8.26 | 0.0200 |
| 27 | 8.32 | 8.32 | 8.30 | 8.31 | 0.0115 |
| 28 | 8.23 | 8.19 | 8.24 | 8.22 | 0.0265 |
| 29 | 8.86 | 8.62 | 8.87 | 8.78 | 0.1415 |
| 30 | 8.51 | 8.56 | 8.39 | 8.49 | 0.0874 |
| 31 | 8.44 | 8.69 | 8.42 | 8.52 | 0.1504 |
| 32 | 8.32 | 8.21 | 8.25 | 8.26 | 0.0557 |
| 33 | 8.23 | 8.19 | 8.17 | 8.20 | 0.0306 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 4-4 (ต่อ)** ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า (dS/m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 34 | 7.85 | 7.94 | 7.92 | 7.90 | 0.0473 |
| 35 | 8.11 | 8.09 | 8.05 | 8.08 | 0.0306 |
| 36 | 8.20 | 8.22 | 8.17 | 8.20 | 0.0252 |
| 37 | 8.19 | 8.21 | 8.19 | 8.20 | 0.0115 |

## ค-5 ผลการศึกษาความชื้นของปุ๋ยหมัก

**ตารางที่ ค 5-1** ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักถ้วย (g) | | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | น้ำหนักหลังอบถ้วย+ตัวอย่าง (g) | ความชื้น (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 30.1022 | 1.3310 | 30.2997 | 85.16 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.3065 | 1.6488 | 30.5464 | 85.45 |
| | ครั้งที่ 3 | 31.2454 | 1.0185 | 31.3987 | 84.95 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 85.19 |
| | S.D. | | | | 0.2517 |
| 14 | ครั้งที่ 1 | 30.1005 | 1.1067 | 30.2561 | 85.94 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.3045 | 1.0936 | 30.4635 | 85.46 |
| | ครั้งที่ 3 | 31.2463 | 1.2511 | 31.4297 | 85.34 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 85.58 |
| | S.D. | | | | 0.3170 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 5-1 (ต่อ)** ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักถ้วย (g) | | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | น้ำหนักหลังอบถ้วย+ตัวอย่าง (g) | ความชื้น (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | ครั้งที่ 1 | 31.2454 | 1.1185 | 31.4323 | 83.29 |
| | ครั้งที่ 2 | 32.8786 | 1.2760 | 33.0964 | 82.93 |
| | ครั้งที่ 3 | 31.2773 | 1.4176 | 31.5108 | 83.53 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 83.25 |
| | S.D. | | | | 0.3006 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 31.242 | 1.3151 | 31.4824 | 81.72 |
| | ครั้งที่ 2 | 32.8786 | 1.4428 | 33.1399 | 81.89 |
| | ครั้งที่ 3 | 31.2735 | 1.6711 | 31.5889 | 81.13 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 81.58 |
| | S.D. | | | | 0.4008 |
| 37 | ครั้งที่ 1 | 31.2414 | 1.3242 | 31.5241 | 78.65 |
| | ครั้งที่ 2 | 32.8772 | 1.2690 | 33.1504 | 78.47 |
| | ครั้งที่ 3 | 31.2715 | 1.5197 | 31.5912 | 78.96 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 78.70 |
| | S.D. | | | | 0.2488 |

**ตารางที่ ค 5-2** ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักถ้วย (g) | | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | น้ำหนักหลังอบถ้วย+ตัวอย่าง (g) | ความชื้น (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 30.0159 | 1.1843 | 30.1942 | 84.94 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.1749 | 1.2185 | 30.3542 | 85.29 |
| | ครั้งที่ 3 | 30.0275 | 1.0920 | 30.1899 | 85.13 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 85.12 |
| | S.D. | | | | 0.1704 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 5-2 (ต่อ)** ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักถ้วย (g) | | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | น้ำหนักหลังอบถ้วย+ตัวอย่าง (g) | ความชื้น (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 30.0171 | 1.0177 | 30.1701 | 84.97 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.1753 | 1.4676 | 30.3953 | 85.01 |
| | ครั้งที่ 3 | 30.0269 | 1.4354 | 30.2446 | 84.83 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 84.94 |
| | S.D. | | | | 0.0917 |
| 21 | ครั้งที่ 1 | 30.0178 | 1.3862 | 30.2487 | 83.34 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.1008 | 1.2655 | 30.3136 | 83.18 |
| | ครั้งที่ 3 | 29.4828 | 1.2636 | 29.6892 | 83.67 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 83.40 |
| | S.D. | | | | 0.2452 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 30.0174 | 1.5128 | 30.3072 | 80.84 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.1001 | 1.0428 | 30.3072 | 80.14 |
| | ครั้งที่ 3 | 29.4824 | 1.2154 | 29.7162 | 80.76 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 80.58 |
| | S.D. | | | | 0.3851 |
| 37 | ครั้งที่ 1 | 30.0180 | 1.6285 | 30.3646 | 78.72 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.1000 | 1.2973 | 30.3756 | 78.76 |
| | ครั้งที่ 3 | 29.4818 | 1.3322 | 29.7662 | 78.65 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 78.71 |
| | S.D. | | | | 0.0525 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 5-3** ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักถ้วย (g) | | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | น้ำหนักหลังอบถ้วย+ตัวอย่าง (g) | ความชื้น (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 29.7238 | 1.2945 | 29.9267 | 84.33 |
| | ครั้งที่ 2 | 31.3542 | 1.0906 | 31.5202 | 84.78 |
| | ครั้งที่ 3 | 31.2820 | 1.1212 | 31.4462 | 85.35 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 84.82 |
| | S.D. | | | | 0.5157 |
| 14 | ครั้งที่ 1 | 24.4784 | 1.0768 | 24.6899 | 80.36 |
| | ครั้งที่ 2 | 32.8794 | 1.1482 | 33.1102 | 79.90 |
| | ครั้งที่ 3 | 29.4830 | 1.4308 | 29.7622 | 80.49 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 80.25 |
| | S.D. | | | | 0.3089 |
| 21 | ครั้งที่ 1 | 30.0262 | 1.1399 | 30.2689 | 78.71 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.1743 | 1.2676 | 30.4451 | 78.64 |
| | ครั้งที่ 3 | 31.3519 | 1.4760 | 31.6625 | 78.96 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 78.77 |
| | S.D. | | | | 0.1678 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 30.0250 | 1.4900 | 30.3598 | 77.53 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.1699 | 1.4588 | 30.4976 | 77.54 |
| | ครั้งที่ 3 | 31.3518 | 1.3454 | 31.6534 | 77.58 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 77.55 |
| | S.D. | | | | 0.0288 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 5-3 (ต่อ)** ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักถ้วย (g) | | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | น้ำหนักหลังอบถ้วย+ตัวอย่าง (g) | ความชื้น (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 30.0235 | 1.1837 | 30.3122 | 75.61 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.1693 | 1.2694 | 30.4762 | 75.82 |
| | ครั้งที่ 3 | 31.3504 | 1.5782 | 31.7354 | 75.61 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 75.68 |
| | S.D. | | | | 0.1244 |

**ตารางที่ ค 5-4** ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักถ้วย (g) | | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | น้ำหนักหลังอบถ้วย+ตัวอย่าง (g) | ความชื้น (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 24.4787 | 1.1364 | 24.6523 | 84.72 |
| | ครั้งที่ 2 | 32.8789 | 1.5332 | 33.1081 | 85.05 |
| | ครั้งที่ 3 | 29.4826 | 1.6519 | 29.7517 | 83.71 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 84.49 |
| | S.D. | | | | 0.6993 |
| 14 | ครั้งที่ 1 | 29.7245 | 1.1296 | 29.9028 | 84.22 |
| | ครั้งที่ 2 | 31.3525 | 1.0145 | 31.5055 | 84.92 |
| | ครั้งที่ 3 | 31.2789 | 1.0235 | 31.4519 | 83.10 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 84.08 |
| | S.D. | | | | 0.9186 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 5-4 (ต่อ)** ความชื้นของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักถ้วย (g) | | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | น้ำหนักหลังอบถ้วย+ตัวอย่าง (g) | ความชื้น (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | ครั้งที่ 1 | 29.7234 | 1.1182 | 29.9042 | 83.83 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.3039 | 1.4078 | 30.5314 | 83.84 |
| | ครั้งที่ 3 | 24.4734 | 1.2880 | 24.6828 | 83.74 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 83.80 |
| | S.D. | | | | 0.0541 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 29.7226 | 1.5352 | 30.0159 | 80.90 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.2999 | 1.4214 | 30.5717 | 80.88 |
| | ครั้งที่ 3 | 24.4738 | 1.0961 | 24.6805 | 81.14 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 80.97 |
| | S.D. | | | | 0.1479 |
| 37 | ครั้งที่ 1 | 29.7218 | 1.6571 | 30.0515 | 80.10 |
| | ครั้งที่ 2 | 30.2985 | 1.2790 | 30.5531 | 80.09 |
| | ครั้งที่ 3 | 24.4211 | 1.4701 | 24.7156 | 79.97 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | | 80.05 |
| | S.D. | | | | 0.0761 |

## ค-6 ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมัก

การคำนวณใช้วิธีของ walkley-black

$$\% OC = \frac{[N_1V_1(K_2Cr_2O_7)-N_2V_2(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O]\times 0.003\times 100\times f}{\text{gm dry sample}}$$

$N_1$ = นอร์มอลของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

$V_1$ = มล. ของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$N_2$ = นอร์มอลของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

$V_2$ = มล. ลของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

f = correction factor เท่ากับ 1.3 gm dry sample – น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง

**ตารางที่ ค 6-1** ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml) | คาร์บอน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 0.1073 | 14.90 | 9.27 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1495 | 13.80 | 8.09 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1166 | 14.50 | 9.20 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 8.85 |
| | S.D. | | | 0.6628 |
| 14 | ครั้งที่ 1 | 0.1762 | 11.20 | 9.74 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1364 | 13.20 | 9.72 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1210 | 13.40 | 10.64 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 10.03 |
| | S.D. | | | 0.5233 |
| 21 | ครั้งที่ 1 | 0.1683 | 12.50 | 8.69 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1299 | 12.90 | 10.66 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1071 | 13.10 | 12.56 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 10.64 |
| | S.D. | | | 1.9367 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 0.1179 | 12.80 | 11.91 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1194 | 13.60 | 10.45 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1459 | 11.80 | 10.96 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 11.11 |
| | S.D. | | | 0.7391 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 6-1 (ต่อ)** ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง(g) | | ปริมาณFASที่ใช้ (ml) | คาร์บอน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 0.1108 | 13.30 | 11.79 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1134 | 13.70 | 10.83 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1144 | 13.40 | 11.25 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 11.29 |
| | S.D. | | | 0.4804 |

**ตารางที่ ค 6-2** ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml) | คาร์บอน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 0.1074 | 14.10 | 10.71 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1284 | 13.90 | 9.26 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1531 | 13.70 | 8.02 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 9.33 |
| | S.D. | | | 1.3454 |
| 14 | ครั้งที่ 1 | 0.1340 | 14.20 | 8.44 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1229 | 13.80 | 9.84 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1118 | 13.90 | 10.64 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 9.64 |
| | S.D. | | | 1.1129 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 6-2 (ต่อ)** ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml) | คาร์บอน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 21 | ครั้งที่ 1 | 0.1271 | 13.50 | 9.97 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1416 | 13.30 | 9.23 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1326 | 12.90 | 10.44 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 9.88 |
| | S.D. | | | 0.6125 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 0.1253 | 12.60 | 11.52 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1251 | 13.30 | 10.44 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1154 | 13.10 | 11.66 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 11.21 |
| | S.D. | | | 0.6645 |
| 37 | ครั้งที่ 1 | 0.1021 | 13.60 | 12.22 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1168 | 12.90 | 11.85 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1105 | 13.30 | 11.82 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 11.97 |
| | S.D. | | | 0.2226 |

**ตารางที่ ค 6-3** ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml) | คาร์บอน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 0.1397 | 14.20 | 8.10 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1337 | 14.00 | 8.75 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1248 | 14.30 | 8.91 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 8.58 |
| | S.D. | | | 0.4301 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 6-3** (ต่อ) ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml) | คาร์บอน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 0.1137 | 13.60 | 10.98 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1413 | 13.20 | 9.38 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1038 | 14.00 | 11.27 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 10.54 |
| | S.D. | | | 1.0152 |
| 21 | ครั้งที่ 1 | 0.1255 | 13.20 | 10.57 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1215 | 12.90 | 11.40 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1269 | 13.30 | 10.30 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 10.75 |
| | S.D. | | | 0.5730 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 0.1192 | 12.50 | 12.27 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1159 | 13.40 | 11.10 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1125 | 13.10 | 11.96 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 11.78 |
| | S.D. | | | 0.6034 |
| 37 | ครั้งที่ 1 | 0.1355 | 12.30 | 11.08 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1201 | 12.50 | 12.18 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1143 | 12.70 | 12.45 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 11.90 |
| | S.D. | | | 0.7261 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 6-4** ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml) | คาร์บอน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 0.1100 | 15.20 | 8.51 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1299 | 15.10 | 7.36 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1037 | 14.80 | 9.78 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 8.55 |
| | S.D. | | | 1.2117 |
| 14 | ครั้งที่ 1 | 0.1112 | 14.30 | 9.99 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1340 | 14.10 | 8.59 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1362 | 13.80 | 8.88 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 9.15 |
| | S.D. | | | 0.7443 |
| 21 | ครั้งที่ 1 | 0.1228 | 13.40 | 10.48 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1061 | 13.90 | 11.21 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1262 | 13.40 | 10.20 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 10.63 |
| | S.D. | | | 0.5228 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 0.1044 | 13.90 | 11.39 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1078 | 13.40 | 11.94 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1125 | 13.70 | 10.92 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 11.42 |
| | S.D. | | | 0.5098 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 6-4** (ต่อ) ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml) | คาร์บอน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 0.1349 | 11.30 | 12.58 |
| | ครั้งที่ 2 | 0.1133 | 12.40 | 13.08 |
| | ครั้งที่ 3 | 0.1268 | 11.90 | 12.46 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 12.70 |
| | S.D. | | | 0.3311 |

## ค-7 ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมัก

การคำนวณ % N

$$\% N = \frac{(a-b)c \times 1.401}{g}$$

a = มล. ของกรดที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

b = มล. ของกรดที่ใช้ในการไทเทรต blank

c = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ (โมลาร์)

g = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (กรัม)

**ปริมาณกรดที่ใช้ในการไทเทรต blank เท่ากับ 0.1 มล.

ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ เท่ากับ 0.0183 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 7-1** ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml) | ไนโตรเจน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 1.0715 | 13.90 | 0.33 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2749 | 13.70 | 0.27 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.3265 | 13.20 | 0.25 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.29 |
| | S.D. | | | 0.0399 |
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.0428 | 15.10 | 0.37 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.1035 | 13.20 | 0.30 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.0152 | 13.90 | 0.35 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.34 |
| | S.D. | | | 0.0329 |
| 21 | ครั้งที่ 1 | 1.1670 | 18.30 | 0.40 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2989 | 17.40 | 0.34 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.1579 | 16.50 | 0.36 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.37 |
| | S.D. | | | 0.0295 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.1916 | 18.20 | 0.39 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2129 | 18.40 | 0.39 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.3547 | 19.30 | 0.36 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.38 |
| | S.D. | | | 0.0144 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 7-1 (ต่อ)** ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml) | ไนโตรเจน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.1414 | 18.50 | 0.41 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.1748 | 17.80 | 0.39 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2268 | 18.20 | 0.38 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.39 |
| | S.D. | | | 0.0184 |

**ตารางที่ ค 7-2** ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml) | ไนโตรเจน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 1.3272 | 13.20 | 0.25 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2145 | 14.00 | 0.29 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.0265 | 13.60 | 0.34 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.29 |
| | S.D. | | | 0.0421 |
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.1080 | 15.30 | 0.35 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.3084 | 15.40 | 0.30 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2085 | 16.70 | 0.35 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.33 |
| | S.D. | | | 0.0301 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 7-2 (ต่อ)** ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml) | ไนโตรเจน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 21 | ครั้งที่ 1 | 1.3079 | 17.20 | 0.34 |
| | ครั้งที่2 | 1.3644 | 18.20 | 0.34 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2057 | 17.70 | 0.37 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.35 |
| | S.D. | | | 0.0213 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.3560 | 19.20 | 0.36 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2394 | 19.90 | 0.41 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2882 | 20.10 | 0.40 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.39 |
| | S.D. | | | 0.0253 |
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.3134 | 19.70 | 0.38 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.1716 | 20.50 | 0.45 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2555 | 21.10 | 0.43 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.42 |
| | S.D. | | | 0.0330 |

**ตารางที่ ค 7-3** ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml) | ไนโตรเจน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 1.4031 | 14.30 | 0.26 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.3143 | 14.20 | 0.28 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2367 | 13.80 | 0.28 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.27 |
| | S.D. | | | 0.0124 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 7-3 (ต่อ)** ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml) | ไนโตรเจน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.2378 | 16.70 | 0.34 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2303 | 17.30 | 0.36 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2561 | 15.90 | 0.32 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.34 |
| | S.D. | | | 0.0181 |
| 21 | ครั้งที่ 1 | 1.2882 | 18.90 | 0.37 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.3487 | 18.20 | 0.34 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2576 | 19.50 | 0.40 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.37 |
| | S.D. | | | 0.0258 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.4657 | 23.50 | 0.41 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.3404 | 21.50 | 0.41 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.1774 | 18.70 | 0.41 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.41 |
| | S.D. | | | 0.0025 |
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.2093 | 23.10 | 0.49 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2346 | 21.30 | 0.44 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2612 | 22.90 | 0.46 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.46 |
| | S.D. | | | 0.0237 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 7-4** ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml) | ไนโตรเจน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 7 | ครั้งที่ 1 | 1.0384 | 13.50 | 0.33 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2350 | 13.00 | 0.27 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.3792 | 13.80 | 0.25 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.28 |
| | S.D. | | | 0.0407 |
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.1688 | 14.90 | 0.32 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2067 | 14.40 | 0.30 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2029 | 15.40 | 0.33 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.32 |
| | S.D. | | | 0.0125 |
| 21 | ครั้งที่ 1 | 1.0967 | 16.50 | 0.38 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.1648 | 17.20 | 0.38 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2265 | 17.60 | 0.37 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.38 |
| | S.D. | | | 0.0089 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.3892 | 19.30 | 0.35 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.1944 | 19.60 | 0.42 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2308 | 20.60 | 0.43 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.40 |
| | S.D. | | | 0.0397 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 7-4 (ต่อ)** ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml) | ไนโตรเจน (%) |
|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.2083 | 22.30 | 0.47 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2674 | 21.70 | 0.44 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.3485 | 22.10 | 0.42 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.44 |
| | S.D. | | | 0.0268 |

## ค-8 ผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมัก

การคำนวณ % P

$$\% P = \frac{r \times 100 \times d.f. \times 100}{10^6 S}$$

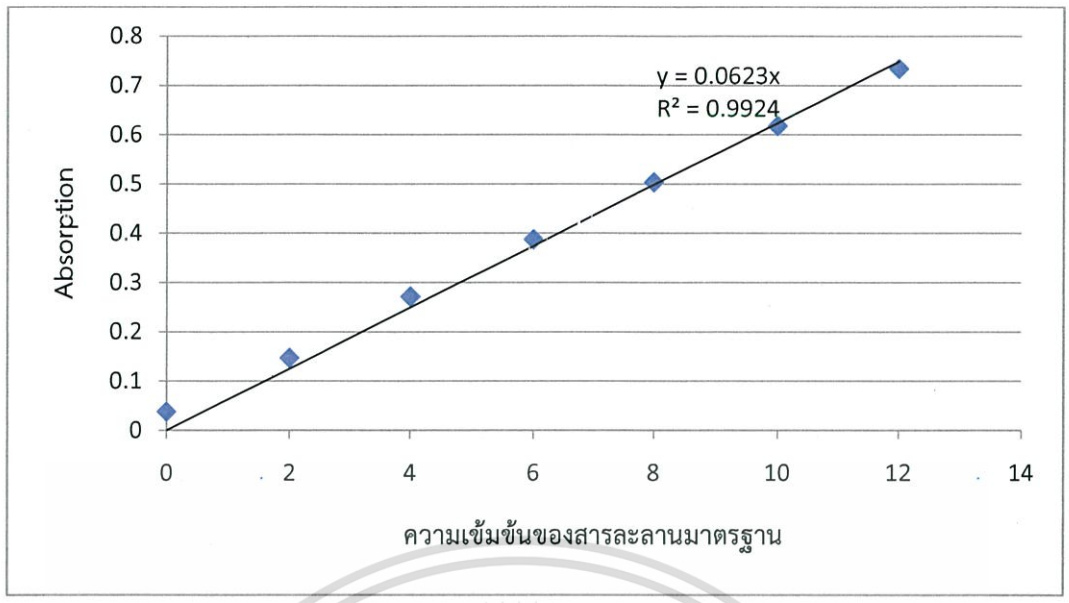
r = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องหน่อยเป็น ppm

d.f. = dilution factor เช่น 25/5 หรือ 25/1

S = น้ำนักตัวอย่างที่ชั่ง

ถ้าต้องการผลวิเคราะห์ในรูปของ $P_2O_5$ ใช้ factor 2.2914 คูณค่า P ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ ค-1 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

**ตารางที่ ค 8-1** ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณฟอสฟอรัสเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P (%) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป $P_2O_5$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.1169 | 8.59 | 0.10 | 0.22 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.0254 | 8.14 | 0.08 | 0.19 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2035 | 9.16 | 0.11 | 0.25 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.10 | 0.22 |
| | S.D. | | | 0.0134 | 0.0307 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.1003 | 10.65 | 0.12 | 0.27 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.3064 | 12.78 | 0.17 | 0.38 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.0249 | 12.56 | 0.13 | 0.29 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.14 | 0.32 |
| | S.D. | | | 0.0261 | 0.0597 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 8-1 (ต่อ)** ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณฟอสฟอรัสเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P (%) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป $P_2O_5$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.1155 | 14.31 | 0.16 | 0.37 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.0235 | 12.46 | 0.13 | 0.29 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.4268 | 13.81 | 0.20 | 0.45 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.16 | 0.37 |
| | S.D. | | | 0.0348 | 0.0797 |

**ตารางที่ ค 8-2** ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณฟอสฟอรัสเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P (%) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป $P_2O_5$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.1459 | 8.57 | 0.10 | 0.23 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2564 | 8.52 | 0.11 | 0.25 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.0987 | 8.75 | 0.10 | 0.22 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.10 | 0.23 |
| | S.D. | | | 0.0058 | 0.0133 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.2346 | 10.48 | 0.13 | 0.30 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.3359 | 11.92 | 0.16 | 0.36 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.0248 | 10.42 | 0.11 | 0.24 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.13 | 0.30 |
| | S.D. | | | 0.0263 | 0.0603 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 8-2 (ต่อ)** ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณฟอสฟอรัสเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P (%) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป $P_2O_5$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.2649 | 13.37 | 0.17 | 0.39 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.0048 | 14.11 | 0.14 | 0.32 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2546 | 12.82 | 0.16 | 0.37 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.16 | 0.36 |
| | S.D. | | | 0.0140 | 0.0321 |

**ตารางที่ ค 8-3** ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณฟอสฟอรัสเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P (%) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป $P_2O_5$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.0809 | 8.49 | 0.09 | 0.21 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.6569 | 9.31 | 0.10 | 0.25 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.3284 | 9.54 | 0.13 | 0.29 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.11 | 0.25 |
| | S.D. | | | 0.0175 | 0.0411 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.0938 | 12.89 | 0.14 | 0.32 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2684 | 12.54 | 0.16 | 0.36 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.3974 | 12.72 | 0.18 | 0.41 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.16 | 0.36 |
| | S.D. | | | 0.0184 | 0.0421 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 8-3 (ต่อ)** ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณฟอสฟอรัสเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P (%) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป $P_2O_5$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.3646 | 14.71 | 0.20 | 0.46 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2658 | 14.33 | 0.18 | 0.42 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.4269 | 13.52 | 0.19 | 0.44 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.19 | 0.44 |
| | S.D. | | | 0.0097 | 0.0223 |

**ตารางที่ ค 8-4** ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณฟอสฟอรัสเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P (%) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป $P_2O_5$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.1340 | 8.96 | 0.10 | 0.23 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.3520 | 9.12 | 0.12 | 0.28 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.0879 | 9.17 | 0.10 | 0.23 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.11 | 0.25 |
| | S.D. | | | 0.0131 | 0.0300 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.0902 | 12.15 | 0.13 | 0.30 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.1365 | 12.53 | 0.14 | 0.33 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.4268 | 12.45 | 0.18 | 0.41 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.15 | 0.35 |
| | S.D. | | | 0.0237 | 0.0544 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 8-4 (ต่อ)** ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณฟอสฟอรัสเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P (%) | ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป $P_2O_5$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.4299 | 14.59 | 0.21 | 0.49 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.3648 | 14.82 | 0.20 | 0.46 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2054 | 14.73 | 0.18 | 0.41 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 0.20 | 0.44 |
| | S.D. | | | 0.01641 | 0.0376 |

## ค-9 ผลการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมัก

การคำนวณ % K

$$\% K = \frac{r \times 100 \times d.f. \times 100}{10^6 S}$$

r = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องหน่วยเป็น ppm

S = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่ง

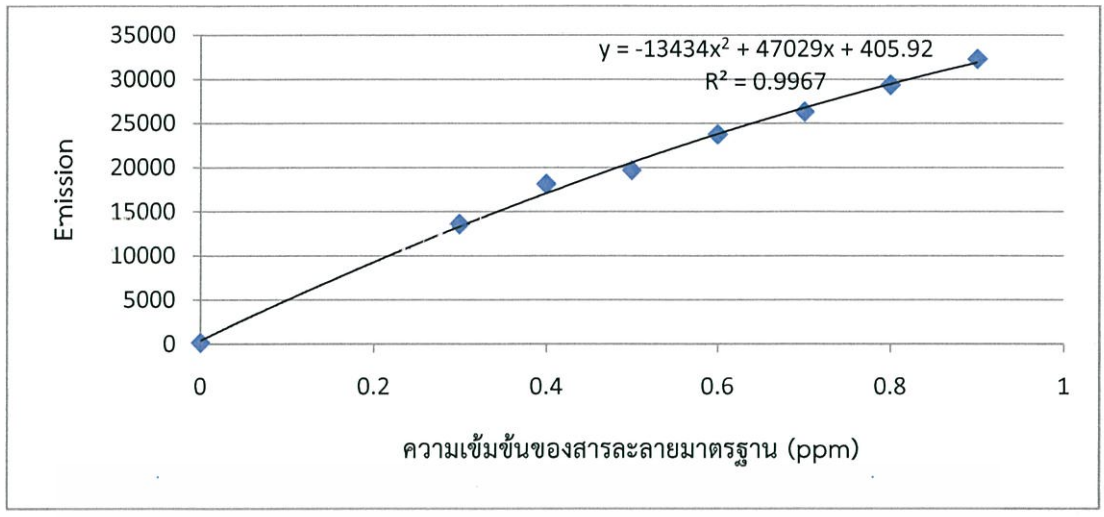
d.f. = dilution factor ควรจะเป็น 10/1 หรือ 20/1 หรือมากกว่า

ถ้าไม่ได้เจือจากสารละลายตัดค่า d.f. ออกไป

ถ้าต้องการผลวิเคราะห์ในรูปของ $K_2O$ ใช้ factor 1.205 คูณค่า K ที่ได้

**ทำการ dilution 2000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ค-2** กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

**ตารางที่ ค 9-1** ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณโพแทสเซียมเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K (%) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป $K_2O$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.0326 | 0.452 | 9.33 | 9.57 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2136 | 0.446 | 10.83 | 11.10 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.1203 | 0.438 | 9.81 | 10.06 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 9.99 | 10.24 |
| | S.D. | | | 0.7610 | 0.7800 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.2365 | 0.703 | 17.39 | 17.82 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.0354 | 0.679 | 14.06 | 14.41 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2971 | 0.637 | 16.53 | 16.94 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 15.99 | 16.39 |
| | S.D. | | | 1.7255 | 1.7687 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 9-1 (ต่อ)** ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อควบคุม

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณโพแทสเซียมเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K (%) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป $K_2O$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.0659 | 0.918 | 19.57 | 20.06 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.0254 | 0.921 | 18.89 | 19.36 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.0248 | 0.919 | 18.83 | 19.31 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 19.10 | 19.58 |
| | S.D. | | | 0.4096 | 0.4199 |

**ตารางที่ ค 9-2** ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณโพแทสเซียมเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K (%) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป $K_2O$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.2549 | 0.548 | 13.75 | 14.10 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.0245 | 0.486 | 9.96 | 10.21 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.4397 | 0.485 | 13.97 | 14.31 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 12.56 | 12.87 |
| | S.D. | | | 2.2549 | 2.3112 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.2664 | 0.832 | 21.07 | 21.60 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2394 | 0.779 | 19.31 | 19.79 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.0871 | 0.808 | 17.57 | 18.01 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 19.32 | 19.80 |
| | S.D. | | | 1.7527 | 1.7965 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 9-2 (ต่อ)** ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศ

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณโพแทสเซียมเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K (%) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป $K_2O$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.0213 | 0.912 | 18.63 | 19.09 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2233 | 0.893 | 21.85 | 22.39 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2556 | 0.920 | 23.10 | 23.68 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 21.19 | 21.72 |
| | S.D. | | | 2.3080 | 2.3657 |

**ตารางที่ ค 9-3** ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณโพแทสเซียมเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K (%) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป $K_2O$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.2023 | 0.524 | 12.60 | 12.92 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.0254 | 0.565 | 11.59 | 11.88 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.1498 | 0.592 | 13.61 | 13.95 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 12.60 | 12.92 |
| | S.D. | | | 1.0133 | 1.0386 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.2165 | 0.665 | 16.18 | 16.58 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2397 | 0.652 | 16.17 | 16.57 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.3489 | 0.647 | 17.45 | 17.89 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 16.60 | 17.01 |
| | S.D. | | | 0.7403 | 0.7588 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 9-3 (ต่อ)** ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณโพแทสเซียมเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K (%) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป $K_2O$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.0326 | 0.906 | 18.71 | 19.18 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2497 | 0.884 | 22.09 | 22.65 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.3298 | 0.898 | 23.88 | 24.48 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 21.56 | 22.10 |
| | S.D. | | | 2.6269 | 2.6926 |

**ตารางที่ ค 9-4** ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณโพแทสเซียมเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K (%) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป $K_2O$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | ครั้งที่ 1 | 1.3648 | 0.440 | 12.01 | 12.31 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.4876 | 0.503 | 14.97 | 15.34 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.0254 | 0.405 | 8.31 | 8.51 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 11.76 | 12.05 |
| | S.D. | | | 3.3368 | 3.4202 |
| 28 | ครั้งที่ 1 | 1.3697 | 0.695 | 19.04 | 19.51 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.2148 | 0.721 | 17.52 | 17.96 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2354 | 0.689 | 17.02 | 17.45 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 17.86 | 18.31 |
| | S.D. | | | 1.0503 | 1.0765 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค 9-4 (ต่อ)** ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า

| ระยะเวลา (วัน) | น้ำหนักตัวอย่าง (g) | | ปริมาณโพแทสเซียมเทียบจากกราฟมาตรฐาน (mg/L) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K (%) | ปริมาณโพแทสเซียมในรูป $K_2O$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 37 | ครั้งที่ 1 | 1.2545 | 0.856 | 21.48 | 22.01 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.0238 | 0.905 | 18.53 | 18.99 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.2874 | 0.894 | 23.02 | 23.59 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 21.01 | 21.53 |
| | S.D. | | | 2.2803 | 2.3373 |

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง
# ผลการศึกษาดัชนีการงอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ง-1** ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนโดยชุดควบคุม ดิน+แกลบ อัตราส่วน 1:1

| ระยะเวลา (วัน) | ชุดควบคุม | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ต้นที่ 1 | | ต้นที่ 2 | | ต้นที่ 3 | | ต้นที่ 4 | | ต้นที่ 5 | |
| | ความสูง (cm) | จำนวนใบ | ความสูง (cm) | จำนวนใบ | ความสูง (cm) | จำนวนใบ | ความสูง (cm) | จำนวนใบ | ความสูง (cm) | จำนวนใบ |
| 1 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0.4 | 0 | 0.6 | 0 | 0.6 | 0 |
| 2 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 |
| 3 | 0.0 | 0 | 1.0 | 0 | 0.0 | 0 | 1.5 | 2 | 0.0 | 0 |
| 4 | 0.7 | 0 | 1.2 | 2 | 0.0 | 0 | 1.9 | 2 | 0.0 | 0 |
| 5 | 0.8 | 0 | 2.1 | 2 | 0.0 | 0 | 2.6 | 2 | 0.5 | 0 |
| 6 | 1.3 | 2 | 2.9 | 2 | 0.0 | 0 | 3.3 | 2 | 1.3 | 2 |
| 7 | 2.4 | 2 | 3.5 | 2 | 0.0 | 0 | 4.2 | 2 | 1.4 | 2 |
| 8 | 2.7 | 2 | 3.7 | 2 | 0.0 | 0 | 5.0 | 2 | 1.9 | 2 |
| 9 | 3.1 | 2 | 4.7 | 2 | 0.0 | 0 | 5.9 | 2 | 2.4 | 2 |
| 10 | 3.9 | 2 | 5.6 | 2 | 0.0 | 0 | 6.4 | 2 | 3.6 | 2 |
| 11 | 4.2 | 2 | 7.2 | 2 | 0.7 | 0 | 6.7 | 2 | 4.2 | 2 |
| 12 | 4.4 | 2 | 8.1 | 2 | 1.1 | 2 | 7.2 | 2 | 5.1 | 2 |
| 13 | 5.2 | 2 | 8.5 | 2 | 1.3 | 2 | 9.1 | 2 | 6.0 | 2 |
| 14 | 5.7 | 2 | 9.1 | 2 | 1.7 | 2 | 10.2 | 2 | 6.9 | 2 |
| ดัชนีการงอก | 4.02 | | 6.71 | | 0.78 | | 7.80 | | 3.74 | |
| ความยาวลำต้นเฉลี่ย (cm) | 6.72 | | | | | | | | | |
| S.D. | 3.3184 | | | | | | | | | |
| ดัชนีการงอก(เฉลี่ย) | 4.61 | | | | | | | | | |
| S.D. | 2.7577 | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ง-2** ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนโดยดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อควบคุม อัตราส่วน 1:1:1

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อควบคุม | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ต้นที่ 1 | | ต้นที่ 2 | | ต้นที่ 3 | | ต้นที่ 4 | | ต้นที่ 5 | |
| | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) |
| 1 | 0.5 | 0 | 0.4 | 0 | 0.6 | 0 | 0.6 | 0 | 0.5 | 0 |
| 2 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 |
| 3 | 1.3 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.7 | 0 |
| 4 | 2.2 | 2 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 1.1 | 2 |
| 5 | 3.1 | 2 | 0.7 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 2.5 | 2 |
| 6 | 4.4 | 2 | 1.5 | 2 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 3.7 | 2 |
| 7 | 6.2 | 2 | 1.6 | 2 | 0.0 | 0 | 0.4 | 0 | 4.8 | 2 |
| 8 | 7.3 | 2 | 2.1 | 2 | 0.0 | 0 | 0.4 | 0 | 5.6 | 2 |
| 9 | 8.0 | 2 | 2.4 | 2 | 0.0 | 0 | 0.7 | 0 | 6.9 | 2 |
| 10 | 8.9 | 2 | 2.9 | 2 | 0.5 | 0 | 0.8 | 0 | 8.2 | 2 |
| 11 | 9.5 | 2 | 3.5 | 2 | 0.7 | 0 | 0.9 | 0 | 9.1 | 2 |
| 12 | 10.0 | 2 | 4.4 | 2 | 1.0 | 0 | 1.2 | 0 | 9.9 | 2 |
| 13 | 11.0 | 2 | 4.7 | 2 | 1.3 | 2 | 1.4 | 2 | 10.0 | 2 |
| 14 | 13.0 | 2 | 5.2 | 2 | 2.1 | 2 | 2.2 | 2 | 10.4 | 2 |
| **ดัชนีการงอก** | 9.84 | | 3.26 | | 1.05 | | 1.31 | | 8.26 | |
| **ความยาวลำต้นเฉลี่ย (cm)** | 6.48 | | | | | | | | | |
| **S.D.** | 4.7631 | | | | | | | | | |
| **ดัชนีการงอก(เฉลี่ย)** | 4.74 | | | | | | | | | |
| **S.D.** | 4.0611 | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ง-3** ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนโดยดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อเติมอากาศ อัตราส่วน 1:1:1

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ต้นที่ 1 | | ต้นที่ 2 | | ต้นที่ 3 | | ต้นที่ 4 | | ต้นที่ 5 | |
| | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) |
| 1 | 0.4 | 0 | 0.5 | 0 | 0.4 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 |
| 2 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 |
| 3 | 0.8 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.6 | 0 | 0.7 | 0 |
| 4 | 1.0 | 2 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 1.8 | 2 | 1.3 | 2 |
| 5 | 2.3 | 2 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 2.9 | 2 | 3.1 | 2 |
| 6 | 2.9 | 2 | 0.0 | 0 | 0.8 | 0 | 4.2 | 2 | 3.9 | 2 |
| 7 | 3.1 | 2 | 0.6 | 0 | 1.1 | 2 | 4.9 | 2 | 4.3 | 2 |
| 8 | 3.9 | 2 | 1.1 | 0 | 1.2 | 2 | 5.7 | 2 | 5.8 | 2 |
| 9 | 5.2 | 2 | 1.3 | 2 | 1.9 | 2 | 6.9 | 2 | 7.1 | 2 |
| 10 | 6.2 | 2 | 2.0 | 2 | 2.3 | 2 | 8.5 | 2 | 8.6 | 2 |
| 11 | 7.7 | 2 | 2.4 | 2 | 2.5 | 2 | 9.1 | 2 | 10.1 | 2 |
| 12 | 8.2 | 2 | 2.9 | 2 | 3.1 | 2 | 10.3 | 2 | 10.6 | 2 |
| 13 | 9.2 | 2 | 3.4 | 2 | 3.3 | 2 | 11.6 | 2 | 10.8 | 2 |
| 14 | 10.4 | 2 | 3.7 | 2 | 4.9 | 2 | 12.8 | 2 | 11.0 | 2 |
| ดัชนีการงอก | 6.82 | | 2.05 | | 2.37 | | 8.95 | | 8.73 | |
| ความยาวลำต้นเฉลี่ย (cm) | 8.56 | | | | | | | | | |
| S.D. | 4.0104 | | | | | | | | | |
| ดัชนีการงอก(เฉลี่ย) | 5.79 | | | | | | | | | |
| S.D. | 3.3683 | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ง-4** ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนโดยดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน อัตราส่วน 1:1:1

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือน | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ต้นที่ 1 | | ต้นที่ 2 | | ต้นที่ 3 | | ต้นที่ 4 | | ต้นที่ 5 | |
| | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) |
| 1 | 0.6 | 0 | 0.5 | 0 | 0.4 | 0 | 0.6 | 0 | 0.7 | 0 |
| 2 | 0.0 | 0 | 0.6 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 |
| 3 | 0.9 | 0 | 1.2 | 2 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.7 | 2 |
| 4 | 1.4 | 2 | 1.8 | 2 | 0.7 | 0 | 0.8 | 2 | 1.9 | 2 |
| 5 | 2.8 | 2 | 2.6 | 2 | 1.2 | 2 | 2.0 | 2 | 2.3 | 2 |
| 6 | 3.6 | 2 | 2.9 | 2 | 1.4 | 2 | 2.9 | 2 | 3.2 | 2 |
| 7 | 4.1 | 2 | 3.8 | 2 | 1.9 | 2 | 3.4 | 2 | 4.6 | 2 |
| 8 | 4.4 | 2 | 4.9 | 2 | 2.6 | 2 | 3.6 | 2 | 5.9 | 2 |
| 9 | 5.2 | 2 | 6.2 | 2 | 2.8 | 2 | 4.5 | 2 | 7.2 | 2 |
| 10 | 6.7 | 2 | 7.5 | 2 | 3.5 | 2 | 5.2 | 2 | 8.9 | 2 |
| 11 | 7.3 | 2 | 8.1 | 2 | 4.2 | 2 | 6.4 | 2 | 9.4 | 2 |
| 12 | 8.5 | 2 | 9.0 | 2 | 5.3 | 2 | 7.1 | 2 | 10.4 | 2 |
| 13 | 8.9 | 2 | 10.8 | 2 | 5.3 | 2 | 7.7 | 2 | 10.5 | 2 |
| 14 | 9.9 | 2 | 11.3 | 2 | 5.6 | 2 | 9.1 | 2 | 10.7 | 2 |
| **ดัชนีการงอก** | 7.56 | | 8.37 | | 3.94 | | 6.05 | | 8.78 | |
| **ความยาวลำต้นเฉลี่ย (cm)** | 9.32 | | | | | | | | | |
| **S.D.** | 2.2387 | | | | | | | | | |
| **ดัชนีการงอก(เฉลี่ย)** | 6.94 | | | | | | | | | |
| **S.D.** | 1.9759 | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ง-5** ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนโดยดิน+แกลบ+ปุ๋ยจากบ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้า อัตราส่วน 1:1:1

| ระยะเวลา (วัน) | บ่อเติมอากาศร่วมกับไส้เดือนโดยใช้หญ้าแพรก | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ต้นที่ 1 | | ต้นที่ 2 | | ต้นที่ 3 | | ต้นที่ 4 | | ต้นที่ 5 | |
| | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) | ความสูง (cm) | จำนวน (ใบ) |
| 1 | 0.5 | 0 | 0.7 | 0 | 0.5 | 0 | 0.6 | 0 | 0.4 | 0 |
| 2 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.4 | 0 |
| 3 | 0.0 | 0 | 0.7 | 0 | 0.6 | 0 | 1.1 | 2 | 1.7 | 2 |
| 4 | 0.6 | 0 | 1.5 | 2 | 1.2 | 2 | 1.3 | 2 | 2.2 | 2 |
| 5 | 1.5 | 2 | 2.0 | 2 | 1.9 | 2 | 2.3 | 2 | 2.8 | 2 |
| 6 | 2.2 | 2 | 2.7 | 2 | 2.8 | 2 | 2.5 | 2 | 3.4 | 2 |
| 7 | 2.9 | 2 | 3.5 | 2 | 3.4 | 2 | 3.1 | 2 | 4.8 | 2 |
| 8 | 3.4 | 2 | 4.2 | 2 | 5.2 | 2 | 3.9 | 2 | 6.1 | 2 |
| 9 | 4.4 | 2 | 5.6 | 2 | 5.9 | 2 | 5.4 | 2 | 7.3 | 2 |
| 10 | 5.1 | 2 | 7.1 | 2 | 6.4 | 2 | 6.8 | 2 | 8.9 | 2 |
| 11 | 5.3 | 2 | 7.8 | 2 | 7.0 | 2 | 7.9 | 2 | 10.3 | 2 |
| 12 | 6.0 | 2 | 8.1 | 2 | 7.3 | 2 | 8.5 | 2 | 11.2 | 2 |
| 13 | 8.2 | 2 | 8.5 | 2 | 7.8 | 2 | 8.7 | 2 | 11.3 | 2 |
| 14 | 11.0 | 2 | 9.4 | 2 | 8.2 | 2 | 9.4 | 2 | 11.8 | 2 |
| **ดัชนีการงอก** | 5.55 | | 7.22 | | 6.71 | | 7.15 | | 9.57 | |
| **ความยาวลำต้นเฉลี่ย (cm)** | 9.96 | | | | | | | | | |
| **S.D.** | 1.4311 | | | | | | | | | |
| **ดัชนีการงอกเฉลี่ย** | 7.24 | | | | | | | | | |
| **S.D.** | 1.4652 | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้