สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน

T107813

นางสาว พรสุดา ท่าชัน
นางสาว รติกร นุชนา
นางสาว รุ่งรพี บุญมี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วพ 9857
2549
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107813
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553
b 12212167
i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

# Production of Compost from Sludge obtained Municipal Wastewater Treatment Plant using Chimney Convection Aeration Technique

MISS PORNSUDA THAHIN

MISS RATIKORN NOOCHANA

MISS RUNGRAPEE BOONMEE

A Special Project Submitted in Partial Fulfillmemt of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

| | |
|---|---|
| **โครงงานพิเศษเรื่อง** | การผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน |
| **นักศึกษา** | นางสาวพรสุดา ท่าหิน<br>นางสาวรติกร นุชนา<br>นางสาวรุ่งรพี บุญมี |
| **ภาควิชา** | เคมี |
| **สาขา** | เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ดร.สุวรรณี จรรยาพูน |

**ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต**

| คณะกรรมการ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ประธานกรรมการ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ | ..... |
| กรรมการ ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค | ..... |
| กรรมการ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน | ..... |

.....

(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

**หัวหน้าภาควิชา**

**ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**โครงงานพิเศษเรื่อง** การผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน

**นักศึกษา** นางสาวพรสุดา ท่าหิน
นางสาวรติกร นุชนา
นางสาวรุ่งรพี บุญมี

**ภาควิชา** เคมี

**สาขา** เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

**ปีการศึกษา** 2549

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

## บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ เป็นการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเป็นวัสดุหมักและใช้หญ้าขนเป็นตัวเพิ่มคาร์บอน โดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน โดยศึกษาสภาวะในการหมักปุ๋ยและศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่ผลิตโดยวิธีทั่วไป(แบบกลับกอง) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดทดลองมีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน และชุดควบคุมที่ใช้วิธีหมักปุ๋ยทั่วไป จากผลการทดลองพบว่า สภาวะในการหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันมีค่าใกล้เคียงกับการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป แต่มีปริมาณความชื้นสูงกว่า และการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักโดยเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเค็ม และปริมาณธาตุอาหารหลัก (N:P:K) พบว่า ปุ๋ยหมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับปุ๋ยที่หมักโดยวิธีทั่วไป ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานของปุ๋ยหมักโดยมีปริมาณอินทรียวัตถุ 41.34% อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 12.4/1 ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.13 ความเค็ม 3.17 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร และปริมาณธาตุอาหารหลัก (N:P:K) 1 : 3 : 3.9 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปุ๋ยที่หมักโดยวิธีทั่วไป อย่างไรก็ตาม วิธีหมักปุ๋ยโดยการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน มีความสะดวก และรวดเร็วกว่า นั่นคือ ไม่ต้องกลับกองเพื่อเติมอากาศ ลดจำนวนครั้งการรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น และปุ๋ยหมักสมบูรณ์ในระยะเวลาเร็วขึ้น ส่วนการทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมัก พบว่า ปุ๋ยหมักที่ทำจากกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนไม่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

คำสำคัญ : ปุ๋ยหมัก, การเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน, กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน

**Special Project Title** Production of Compost from Sludge obtained from Municipal Wastewater Treatment Plant using Chimney Convection Aeration Technique

**Name** Miss Pornsuda Thahin
Miss Ratikorn Noochana
Miss Rungrapee Boonmee

**Department** Chemistry

**Program** Environmental Resource of Chemistry

**Special Project Advisor** Dr. Suwannee Junyapoon

**Academic Year** 2549

**Abstract**

This special project studied production of compost using Chimney Convection Aeration technique. Sludge obtained from municipal wastewater treatment plant was used as composting material and Paragrass was used as carbon addition. Conditions for composting and efficiency of compost using Chimney Convection Aeration technique and conventional method were investigated. The experiments were divided into two groups : one was composting using Chimney Convection Aeration technique and the other was conventional method. It was found that composting conditions using Chimney Convection Aeration technique were similar to that of conventional method but the moisture content was higher. Organic matter, C/N ratio, pH, conductivity and nutrient content in compost using Chimney Convection Aeration technique were 41.34%, 12.4/1, 7.13, 3.17 mS/cm and 1:3:3.9, respectively which is similar to the characteristics of compost using conventional method. However, the former technique was convenient and had shorter composting period. For toxicity test, compost from municipal wastewater sludge was not toxic.

Keywords : compost, chimney convection aeration technique, sludge from municipal wastewater treatment plant

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการโครงงานพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์, ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค และดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ที่กรุณาเสนอแนะและแก้ไขเพิ่มเติมในโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่คอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมีที่ใช้ในการทดลองและข้อมูลต่าง ๆ ในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบคุณพี่ ๆ นักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำด้วยดีมาโดยตลอดนอกเหนือจากบุคคลที่กล่าวมาแล้วยังมีอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์และให้กำลังใจทางผู้จัดทำโครงงานพิเศษใคร่ขอขอบคุณพระคุณมา ณ ที่นี้

นางสาวพรสุดา ท่าหิน
นางสาวรติกร นุชนา
นางสาวรุ่งรพี บุญมี

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูปภาพ | ซ |
| สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้ | ฌ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความสำคัญและที่มา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 3 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 ปุ๋ยหมัก | 4 |
| 2.2 การทำปุ๋ยหมัก | 8 |
| 2.3 การดูแลรักษากองปุ๋ยหมัก | 11 |
| 2.4 หลักการพิจารณาการหมักปุ๋ยที่สมบูรณ์ | 11 |
| 2.5 มาตรฐานของปุ๋ยหมัก | 12 |
| 2.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลาย | 12 |
| 2.7 วัสดุที่ใช้ในการหมักปุ๋ย | |
| 2.7.1 กากตะกอน | 16 |
| 2.7.2 หญ้าขน | 17 |
| 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 18 |

# สารบัญ(ต่อ)


หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 22

3.2 การเตรียมถังหมัก 23

3.3 การเตรียมวัสดุหมัก 25

3.4 การศึกษาสภาวะในการหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันและวิธีการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป 26

3.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่หมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันและวิธีการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป 28

3.6 การทดสอบความเป็นพิษด้วยการงอกและความยาวรากของเมล็ด 31

บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปราย

4.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุที่ใช้ในการหมัก 32

4.2 ผลการวิเคราะห์สภาวะเของวัสดุหมักในระหว่างการหมัก

4.2.1 อัตราการยุบตัวของปุ๋ย 34

4.2.2 อุณหภูมิ 35

4.2.3 ปริมาณความชื้น 37

4.2.4 ค่าความเป็นกรด – ด่าง 39

4.2.5 ค่าการนำไฟฟ้า 40

4.2.6 กลิ่น 42

4.2.7 อัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน ( C/N ratio) 43

4.3 การเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยวิธีชิมนีย์คอนเวคชันและโดยวิธีทั่วไป 44

4.4 การทดสอบความเป็นพิษด้วยปุ๋ยหมัก 45

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 46

5.2 ข้อเสนอแนะ 46

เอกสารอ้างอิง 47

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 49

ภาคผนวก ข 50

ภาคผนวก ค 66

ภาคผนวก ง 80

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งและ
ปริมาณธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักต่างๆ 7
ตารางที่ 2.2 ลักษณะของปุ๋ยหมักที่หมักเสร็จสมบูรณ์แล้ว 11
ตารางที่ 2.3 ลักษณะของปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี 12
ตารางที่ 2.4 ปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนของการบำบัดน้ำเสียชุมชน 16
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และความถี่ในการวัด 28
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน
และหญ้าขนที่ใช้ในการหมัก 33
ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะเริ่มต้นของวัสดุหมัก 33
ตารางที่ 4.3 ความถี่และปริมาณน้ำที่เติมในถังทดลองและถังควบคุม 37
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหมักจากกากตะกอน
ของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยวิธีชีมนีย์คอนเวคชัน
กับการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป 44

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะการแทนที่ของอากาศภายในกองปุ๋ย 10
รูปที่ 2.2 การเติมอากาศให้กองปุ๋ยหมักด้วยระบบท่อเติมอากาศ 10
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของถังหมักที่ 1 (ชุดควบคุม) 24
รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของถังหมักที่ 2 (ชุดทดลอง) 25
รูปที่ 4.1 ระดับความสูงของปุ๋ยภายในถังหมัก 34
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวันภายในถังหมัก 36
รูปที่ 4.3 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยภายในถังหมัก 38
รูปที่ 4.4 ค่าความเป็นกรด – ด่างของปุ๋ยหมัก 39
รูปที่ 4.5 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมัก 41
รูปที่ 4.6 ระดับกลิ่นในการหมักปุ๋ย 42
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า C/N ratio 43
รูปที่ 4.8 ความยาวของลำต้นและรากของต้นถั่วเขียว 48

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้

| | | |
|---|---|---|
| C/N | = | อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน |
| O.C. | = | อินทรีย์คาร์บอน |
| pH | = | ค่าความเป็นกรด-ด่าง |
| % | = | ร้อยละ |
| $^{o}$ C | = | องศาเซลเซียส |
| mS/cm | = | มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ปัจจุบันน้ำเสียชุมชนเป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดสำคัญที่ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ โดยปริมาณน้ำเสียชุมชนมีปริมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปนิยมใช้ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge ) ซึ่งก่อให้เกิดกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันมีการนำกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียไปใช้ประโยชน์น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้น จากการที่องค์ประกอบของกากตะกอนส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์จึงสามารถใช้เป็นวัสดุหมักเริ่มต้นในการผลิตปุ๋ยหมัก อย่างไรก็ตาม การผลิตปุ๋ยหมักต้องมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องเติมวัสดุหมักร่วมที่มีปริมาณคาร์บอนสูง ได้แก่ หญ้าขน การหมักปุ๋ยโดยทั่วไปต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณอากาศและการระบายอากาศ นอกจากนี้ ต้องใช้เวลานานในการหมักปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพดีเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช การผลิตปุ๋ยหมักโดยทั่วไปมักใช้วิธีการกลับกองปุ๋ยเพื่อเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยช่วยให้จุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนสามารถย่อยสลายสารอินทรียวัตถุได้ดีขึ้น รวมทั้งต้องมีการรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้เหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นการยุ่งยาก นอกจากนี้การหมักปุ๋ยโดยวิธีทั่วไปเป็นระบบเปิด ดังนั้นจึงเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคหรือสัตว์ที่เป็นพาหะของโรคต่างๆ ได้แก่ แมลงวัน

วิธีการหมักปุ๋ยโดยการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน เป็นการหมักปุ๋ยโดยอาศัยหลักการอากาศร้อนภายในกองปุ๋ยจะลอยตัวสูงขึ้น จากนั้นอากาศที่เย็นกว่าจากภายนอกจะไหลเข้าแทนที่ เป็นการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยโดยไม่ต้องใช้พลังงานและยังลดความถี่ในการเติมน้ำในกองปุ๋ย เนื่องจากมีการระบายไอน้ำเฉพาะท่อเติมอากาศจึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายและความยุ่งยากต่าง ๆในการหมักปุ๋ยโดยวิธีทั่วไป อีกทั้งสามารถหมักปุ๋ยให้สมบูรณ์ในเวลาอันสั้นกว่า

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาสภาวะในการทำปุ๋ยหมักและประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนที่ได้จากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันเปรียบเทียบกับวิธีการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป เพื่อให้ได้วิธีการหมักปุ๋ยที่สะดวก ไม่ต้องใช้พลังงานในการเติมอากาศ และช่วยลดเวลาในการหมักปุ๋ย นอกจากนี้ ยังเป็นการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะในการหมักปุ๋ยจากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและหญ้าขน โดย
   วิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน
2. ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน และหญ้าขน โดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะในการหมักปุ๋ยจากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและหญ้าขนโดยวิธี การเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันเปรียบเทียบกับการหมักปุ๋ยโดยวิธีทั่วไป โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ
   - อัตราส่วนกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียและหญ้าขน
   - อุณหภูมิภายในกองปุ๋ย
   - ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
   - ค่าความชื้น
   - อัตราการยุบตัวของกองปุ๋ย
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน และหญ้าขนที่หมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน และวิธีการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ
   - กลิ่นเหม็นที่เกิดในระหว่างการหมักปุ๋ย
   - ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย
   - คุณภาพปุ๋ย โดยตรวจสอบค่า C/N ratio, ความชื้น, ปริมาณอินทรียวัตถุ, ความเป็นกรดเป็นด่าง
   - ความสะดวกในการทำงาน

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบถังหมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน
3. ดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและหญ้าขนให้ได้ค่า C/N ratio เริ่มต้น 25 : 1

ตอนที่ 2 ศึกษาสภาวะในการหมักปุ๋ยจากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและหญ้าขนโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันเปรียบเทียบกับวิธีการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป

ตอนที่ 3 เปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันและวิธีการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป

ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่

- ปริมาณอินทรียวัตถุ
- อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน
- ระดับความเป็นกรด-ด่าง
- ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม
- ความเป็นพิษของปุ๋ย

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการหมักปุ๋ยที่สะดวกต่อการดำเนินการ และลดเวลาในการหมักปุ๋ย
2. ได้ปุ๋ยหมักจากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและหญ้าขน
3. เป็นการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือทิ้ง

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ปุ๋ยหมัก (Compost)

ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ได้มาจากการนำเอาเศษซากพืช เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด ต้นถั่วต่าง ๆ หญ้าแห้ง ผักตบชวา ของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนขยะมูลฝอยตามบ้านเรือนมาหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งจุลินทรีย์ เมื่อหมักเป็นระยะเวลาหนึ่ง เศษพืชจะเปลี่ยนสภาพเป็นผงเปื่อยยุ่ย สีน้ำตาลปนดำ สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินและเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชได้

การหมักปุ๋ยแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

1) การหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์ในที่ที่มีออกซิเจน (อากาศ) ได้ผลผลิตขั้นสุดท้ายจากกระบวนการเมตาบอลิซึม คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย น้ำ และความร้อน ดังสมการ 2.1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

$$\text{Organic matter} + O_2 \xrightarrow{\text{aerobic bacteria}} CO_2 + NH_3 + \text{other end products} + \text{energy} \qquad (2.1)$$

2) การหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้อากาศ คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์ ในที่ที่ไม่มีออกซิเจน ผลผลิตขั้นสุดท้ายคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน แอมโมเนีย ก๊าซอื่น ๆ อีกเล็กน้อย และสารอินทรีย์ขนาดเล็ก ดังสมการ 2.2 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ต่อเป็นไนเตรทโดย nitrifying bacteria ดังสมการ 2.3 – 2.5 (Wikipedia, 2006)

$$\text{Organic matter} \xrightarrow{\text{anaerobic bacteria}} CO_2 + CH_4 + NH_3 + H_2S + \text{other gases} + \text{end products} + \text{energy} \qquad (2.2)$$

Nitrosifying bacteria

$NH_3 + O_2 + 2\,e^- + 2\,H^+ \longrightarrow NH_2OH + H_2O$ (2.3)

$NH_2OH + H_2O + 1/2\,O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2\,H_2O + H^+$ (2.4)

Nitrifying bacteria

$NO_2^- + 1/2\,O_2 \longrightarrow NO_3^-$ (2.5)

กระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจนจะปล่อยพลังงานความร้อนออกมามากกว่า ทำให้อัตราการย่อยสลายเร็ว นิยมใช้กับขยะอินทรีย์ปริมาณมาก ๆ ส่วนกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อเสียคือ เกิดขึ้นช้าและเกิดกลิ่นเหม็นของ mercaptans และซัลไฟด์ ข้อดีของวิธีนี้คือทำได้ง่าย จะใช้กันมากในประเทศกำลังพัฒนาในการแปรสภาพของเสียจากบ้านเรือนและไร่นา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) โดยทั่วไปในกองปุ๋ยหมัก มีกระบวนการหมักแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศเกิดขึ้นทั้งสองกระบวนการ ขึ้นอยู่กับว่าจะเกิดสภาวะใดมากกว่ากัน

วิธีการหมักปุ๋ยอาจแบ่งเป็น mechanical และ non-mechanical หรือ on-site กับ off-site process หรืออาจแบ่งตามวิธีเดินระบบ คือ batch operation และ continuous หรือ semi-continuous ถ้าใช้อุณหภูมิเป็นเกณฑ์จะแบ่งเป็น mesophilic composting (25-40 °C) และ thermophilic composting (50-65 °C) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

**ข้อดีของการทำปุ๋ยหมัก**

1. ปฏิกิริยาทางชีวภาพจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นสารอินทรีย์ที่คงตัวซึ่งจะทำให้เกิดมลพิษน้อยกว่าเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อม
2. ระหว่างการหมักจะมีความร้อนเกิดขึ้นประมาณ 60 °C ซึ่งเพียงพอที่จะยับยั้งเชื้อโรค แบคทีเรีย ไวรัส ไข่พยาธิ ถ้าคงอุณหภูมินี้ไว้อย่างน้อย 1 วัน จะทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้นำไปใช้ได้อย่างปลอดภัย
3. ธาตุ N, P, K ที่มีอยู่ในของเสียส่วนมากจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนยากที่พืชจะนำไปใช้ หลังจากหมักปุ๋ยแล้วจะอยู่ในรูปของ เช่น $NO_3^-$ และ $PO_4^-$ ซึ่งพืชนำไปใช้ได้ง่าย ใช้ปรับปรุงแก้ไขดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ได้

**ข้อเสียของการทำปุ๋ยหมัก**

1. อาจมีลักษณะไม่คงที่ ขึ้นกับลักษณะของของเสีย
2. มีกลิ่นเหม็น
3. ปริมาณสารอาหารอาจไม่เพียงพอ
4. อันตรายจากเชื้อโรค ซึ่งอาจทำลายเชื้อโรคไม่หมดเนื่องวัสดุมีลักษณะไม่คงที่ ทำให้อุณหภูมิแปรผันมาก

**ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก**

1. ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์
2. ช่วยเปลี่ยนสภาพของดินจากดินเหนียวหรือดินทรายให้เป็นดินร่วน
3. ช่วยรักษาความชุ่มชื้นในดินได้ดีขึ้น
4. ทำให้การถ่ายเทอากาศในดินดี
5. สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมี
6. ไม่เป็นอันตรายต่อดิน แม้จะใช้ในปริมาณมากและติดต่อกันเป็นเวลานาน
7. ช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง เช่น กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย เศษอาหาร วัชพืช

ตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้ง และปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก แสดงดังตารางที่ 2.1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งและปริมาณธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักต่างๆ (มุกดา, 2545)

| ชนิดของปุ๋ยหมัก | % ธาตุอาหารของพืช | | |
|---|---|---|---|
| | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| ปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล | 1.52 | 0.22 | 0.18 |
| ปุ๋ยหมักจากหญ้าแห้ง | 1.23 | 1.26 | 0.76 |
| หญ้าหมัก+กระดูกป่น+มูลกระบือ | 0.82 | 1.43 | 0.59 |
| หญ้าหมัก+กระดูกป่น+มูลโค | 2.33 | 1.78 | 0.46 |
| หญ้าหมัก+กระดูกป่น+มูลแพะ | 1.11 | 4.04 | 0.48 |
| หญ้าหมัก+กระดูกป่น+มูลม้า | 0.82 | 2.83 | 0.33 |
| ปุ๋ยหมักจากใบจามจุรี | 1.45 | 0.19 | 0.49 |
| ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว | 0.85 | 0.11 | 0.76 |
| ปุ๋ยหมักฟางข้าว+มูลไก่ | 1.07 | 0.46 | 0.94 |
| ปุ๋ยหมักฟางข้าว+มูลโค | 1.51 | 0.26 | 0.98 |
| ปุ๋ยหมักฟางข้าว+มูลเป็ด | 0.91 | 1.30 | 0.79 |
| ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา | 1.43 | 0.48 | 0.47 |
| ปุ๋ยหมักผักตบชวา+มูลสุกร | 1.85 | 4.81 | 0.79 |
| ปุ๋ยอินทรีย์(เทศบาล)ชนิดอ่อน | 0.95 | 3.19 | 0.91 |
| ปุ๋ยอินทรีย์(เทศบาล)ชนิดปานกลาง | 1.34 | 2.44 | 1.12 |
| ปุ๋ยอินทรีย์(เทศบาล)ชนิดแรง | 1.48 | 2.96 | 1.15 |

## 2.2 การทำปุ๋ยหมัก (Composting)

การทำปุ๋ยหมัก (composting) คือ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพและทำให้ได้สารอินทรีย์ที่คงตัว สามารถนำไปใช้เพาะปลูกพืชได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ การทำปุ๋ยหมักยังหมายถึงการควบคุมกระบวนการหมักแบบใช้อากาศภายใต้อุณหภูมิที่จุลินทรีย์ mesophilic และ thermophilic bacteria เจริญได้ดี ทำให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ แร่ธาตุ และสารอินทรีย์ที่คงตัว โดยทั่วไป การทำปุ๋ยหมักใช้กับสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งและกึ่งของแข็ง เช่น อุจจาระจากส้วมซึม กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย มูลสัตว์ เศษวัสดุทางการเกษตร และขยะชุมชน เป็นต้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

**2.2.1 การทำปุ๋ยหมักโดยทั่วไป** แบ่งออกเป็น 5 แบบ (มุกดา, 2545)

แบบที่ 1 ปุ๋ยหมักค้างปี ใช้เศษพืชเพียงอย่างเดียวนำมาหมักทิ้งไว้ค้างปีก็สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมักได้ วิธีนี้ไม่ต้องดูแลรักษา จึงต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนาน เหมาะสำหรับผู้ที่ไม่มีเวลา

แบบที่ 2 ปุ๋ยหมักธรรมดาใช้มูลสัตว์ โดยใช้เศษพืชและมูลสัตว์ในอัตรา 100 :10 ถ้าเป็นเศษพืชขนาดเล็กนำมาคลุกผสมได้เลย แต่ถ้าเป็นเศษพืชขนาดใหญ่ให้นำมากองเป็นชั้น ๆ (แต่ละกองจะทำประมาณ 3 ชั้น แต่ละชั้นประกอบด้วยเศษพืชและรดน้ำ สูงประมาณ 30-40 เซนติเมตร แล้วโรยทับด้วยมูลสัตว์) แบบนี้จะใช้ระยะเวลาหมักน้อยกว่าแบบที่ 1 ถ้าใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุหมักจะใช้ระยะเวลาประมาณ 6-8 เดือน ขึ้นอยู่กับการดูแลรักษา

แบบที่ 3 ปุ๋ยหมักธรรมดาใช้ปุ๋ยเคมี โดยใช้เศษพืช มูลสัตว์ และปุ๋ยเคมีในอัตรา 100 :10 :1 ถ้าเป็นชิ้นส่วนเล็กนำมาคลุกผสมได้เลย ถ้าเป็นชิ้นส่วนใหญ่นำมากองเป็นชั้นเหมือนแบบที่ 2 เพียงแต่ในแต่ละชั้นจะเพิ่มปุ๋ยเคมี โดยโรยทับบนมูลสัตว์ แบบนี้ใช้ระยะเวลาในการหมักเร็วกว่าแบบที่ 2 กล่าว คือถ้าเป็นฟางข้าวจะใช้เวลาประมาณ 4-6 เดือน

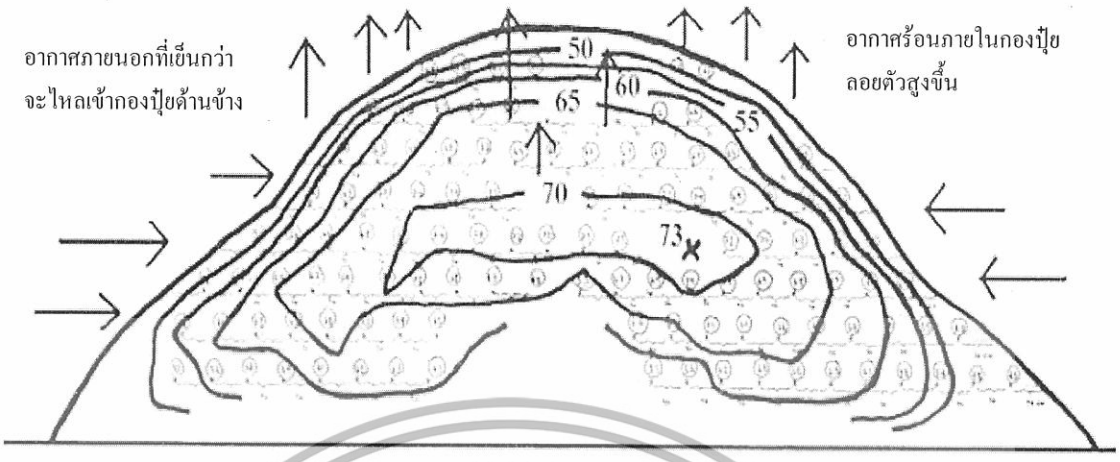
แบบที่ 4 ปุ๋ยหมักแผนใหม่ การทำปุ๋ยหมักแบบที่ 1-3 นั้น ใช้เวลาค่อนข้างนาน ต่อมากรมพัฒนาที่ดิน ได้ศึกษาค้นคว้าพบว่าการทำปุ๋ยหมักโดยใช้เวลาสั้นลง ทำได้โดยการใช้เชื้อจุลินทรีย์เร่งการย่อยสลายของเศษพืช ทำให้ได้ปุ๋ยหมักเร็วขึ้น นำไปใช้ได้ทันฤดูกาล สามารถใช้ระยะเวลาหมักเพียง 30-60 วัน

แบบที่ 5 ปุ๋ยหมักต่อเชื้อ ในการทำปุ๋ยหมักแบบที่ 4 นั้น จำเป็นต้องซื้อสารตัวเร่งเชื้อจุลินทรีย์ 1 ชุดทุกครั้งที่ทำปุ๋ยหมัก 1 ตัน ทำให้มีแนวความคิดว่าหากสามารถนำมาต่อเชื้อได้ก็จะเป็นการประหยัดและเกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรและผู้ทำปุ๋ยหมักทั่วไป กรมพัฒนาที่ดินจึงได้ทำการทดลองและพบว่าสามารถต่อเชื้อได้ โดยใช้ปุ๋ยหมักที่ทำในแบบที่ 4 กล่าวคือ หลังจากได้ปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้วในแบบที่ 4 ให้เก็บไว้ 50-100 กิโลกรัม การเก็บต้องเก็บไว้ในโรงเรือนที่ไม่ถูกแดดและ

ฝน ปุ๋ยหมักที่เก็บไว้ 50-100 กิโลกรัม สามารถนำไปต่อเชื้อทำปุ๋ยหมักได้อีก 1 ตัน การต่อเชื้อนี้สามารถทำการต่อได้เพียง 3 ครั้ง

**2.2.2 การผลิตปุ๋ยหมักระบบกองเติมอากาศ** (ธีระพงษ์ และคณะ, 2546 )

การหมักปุ๋ยระบบกองเติมอากาศอาศัยหลักการง่าย ๆ คือ จัดองค์ประกอบภายในกองปุ๋ยให้มีความเหมาะสมต่อการย่อยสลายเศษพืชด้วยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนให้มากที่สุด ได้แก่ การจัดรูปร่างกองปุ๋ย ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบที่เหมาะสม มีปริมาณจุลินทรีย์ที่เพียงพอ การย่อยเศษพืชให้มีขนาดเล็กลง และการรักษาความชื้นให้พอเหมาะอยู่เสมอ จะทำให้กองปุ๋ยสามารถสะสมความร้อนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายเอาไว้ในกองปุ๋ยได้ ความร้อนในกองปุ๋ยจะมีค่าสูง 60-70 องศาเซลเซียสใน 2-5 วันแรก จะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิก (thermphilic bacteria) ที่ชอบความร้อนสูง และหลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิลดลงเป็น 45-60 องศาเซลเซียส ก็จะมีการย่อยสลายต่อไปอีกด้วยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่าเมโซฟิลิก (mesophilic bacteria) เมื่อความร้อนในกองปุ๋ยลอยตัวสูงขึ้นตามธรรมชาติ อากาศภายนอกที่เย็นกว่าก็ไหลเข้ากองปุ๋ยทางด้านข้าง (รูปที่2.1) จึงเป็นการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยตลอดเวลา เป็นปรากฏการณ์เดียวกันกับการไหลของอากาศเย็นที่เข้าไปแทนที่อากาศร้อนของปล่องไฟ หรือที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ Chimney Convection (ธีระพงษ์ และคณะ, 2546) ในบางครั้งอาจมีการเติมอากาศด้วยท่อเติมอากาศให้แก่บริเวณกลางกองปุ๋ยเพิ่มเติม (รูปที่ 2.2) จะทำให้ภายในกองปุ๋ยมีออกซิเจนที่เพียงพอต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อยู่เสมอ ทำให้การย่อยสลายสามารถดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องพลิกกลับกองปุ๋ย และได้ปุ๋ยหมักคุณภาพดี ในเวลาเพียง 1 เดือน




รูปที่ 2.1 ลักษณะการแทนที่ของอากาศภายในกองปุ๋ย (ธีระพงษ์ และคณะ, 2546)

รูปที่ 2.2 การเติมอากาศให้กองปุ๋ยหมักด้วยระบบท่อเติมอากาศ (ธีระพงษ์ และคณะ, 2546)

**2.3 การดูแลรักษากองปุ๋ยหมัก**

หลังจากกองปุ๋ยหมักเสร็จแล้วจะต้องหมั่นตรวจดูแลกองปุ๋ยหมักอยู่เสมอโดยปฏิบัติดังนี้

1. ป้องกันไม่ให้สัตว์เข้าไปทำลายหรือคุ้ยเขี่ยกองปุ๋ยหมัก ถ้ากองแบบในคอกจะไม่มีปัญหาแต่ถ้ากองบนพื้นดินหรือในหลุมควรหาทางมะพร้าวหรือกิ่งไม้วางทับกองปุ๋ยหมักไว้กันสัตว์คุ้ยเขี่ย
2. พรมน้ำลงบนกองปุ๋ยหมักให้มีความชื้นพอเหมาะอยู่เสมอ คือ ไม่ให้แห้งหรือแฉะเกินไป
3. การกลับกองปุ๋ย นับเป็นสิ่งสำคัญในการทำปุ๋ยหมัก เพราะเป็นการเติมอากาศให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี นอกจากจะช่วยให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์แล้ว ยังเป็นการระบายความร้อนออกจากกองปุ๋ยอีกด้วย ยิ่งกลับกองปุ๋ยหมักบ่อยครั้งเท่าไรก็จะทำให้ได้ปุ๋ยหมักได้เร็วขึ้น เพราะทำให้เศษพืชย่อยสลายทั่วทั้งกอง และได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีอีกด้วย

**2.4 หลักการพิจารณาการหมักปุ๋ยที่สมบูรณ์**

การสังเกตว่ากองปุ๋ยหมักที่หมักเสร็จสมบูรณ์แล้วนั้น จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่สังเกตเห็นได้และไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ส่วนที่สังเกตเห็นได้ก็คือ ชิ้นส่วนของพืชจะมีขนาดเล็กลงและยุบตัวลงกว่าเมื่อเริ่มกอง สีของเศษพืชก็จะเปลี่ยนไป ส่วนที่สังเกตเห็นไม่ได้ก็คือปริมาณของจุลินทรีย์ การสังเกตว่าปุ๋ยหมักเสร็จสมบูรณ์หรือไม่ มีข้อสังเกตง่ายๆ ดังตารางที่ 2.2 (มุกดา, 2545)

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของปุ๋ยหมักที่หมักเสร็จสมบูรณ์แล้ว (มุกดา, 2545)

| พารามิเตอร์ | ลักษณะ |
|---|---|
| สีของปุ๋ย | สีน้ำตาลเข้มถึงดำ |
| อุณหภูมิ | อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยและนอกกองปุ๋ยใกล้เคียงกัน โดยมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง |
| ลักษณะปุ๋ย | ยุ่ย ไม่แข็งกระด้าง |
| กลิ่น | กลิ่นคล้ายธรรมชาติ |
| ค่า C/N ratio | $\leq$ 20 : 1 |

## 2.5 มาตรฐานของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี ได้มาตรฐานจะมีคุณลักษณะดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

| พารามิเตอร์ | ลักษณะของปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ |
|---|---|
| ค่า ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม | $\geq$ 1.0 : 1.0 : 0.5 |
| ปริมาณอินทรียวัตถุ | ร้อยละ 25 – 50 |
| อัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน | $\leq$ 20 : 1 |
| ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ | $\leq$ ร้อยละ 35 – 40 โดยน้ำหนัก |
| ความเป็นกรดเป็นด่าง | 6.0 – 7.5 |
| วัสดุเจือปนอื่น ๆ | ไม่มี |
| ปริมาณความร้อน | ไม่มีหลงเหลืออยู่ |

## 2.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลาย

กระบวนการย่อยสลายเศษพืชภายในกองปุ๋ยหมักนั้น เกิดขึ้น โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพของการย่อยสลายวัสดุเศษพืชนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักหลายประการ ดังนั้น สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ภายในกองปุ๋ยหมักเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์และมีผลต่ออัตราการย่อยสลายด้วย ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายมีดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

### 2.6.1 ลักษณะของเศษวัสดุ

ส่วนใหญ่ปุ๋ยหมักจะทำจากเศษพืช ลักษณะของเศษวัสดุจึงมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลาย ได้แก่ ขนาดของเศษวัสดุ ความสดของเศษวัสดุ เป็นต้น

ขนาดของเศษวัสดุ ถ้าเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กได้แก่ เศษปอและขุยไผ่ การผสมคลุกเคล้าจะสามารถทำได้ทั่วถึง มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ดังนั้น โอกาสที่จะถูกย่อยสลายจึงมีมากกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ ฟางข้าว และผักตบชวา ซึ่งการผสมคลุกเคล้าจะทำได้ไม่ทั่วถึงนัก แต่วัสดุที่มีขนาดใหญ่จะทำให้อากาศภายในกองปุ๋ยหมักมีการแพร่กระจาย หรือมีการระบายอากาศดีกว่าวัสดุที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากวัสดุขนาดใหญ่จะมีลักษณะโปร่งมากกว่า

ความสดของเศษพืช การทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชที่แห้งจะมีความสะดวกในการกองและการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักในด้านความชื้นและการระบายอากาศได้ดีกว่าในกรณีใช้เศษพืชสด เนื่องจากต้องระวังในเรื่องความชื้น เพราะการใช้เศษพืชสดจะมีปริมาณน้ำมากและการระบายอากาศไม่ดี อาจเกิดกระบวนการเน่าเสียภายในกองปุ๋ยจนเกิดกลิ่นเหม็นได้

ดังนั้น ในกรณีที่เป็นวัสดุเศษพืชสด อาจนำไปตากแดดประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ หรืออาจนำมาผสมกับวัสดุชนิดอื่น เช่น ฟางข้าวในระหว่างการทำปุ๋ยหมักได้

**2.6.2 องค์ประกอบทางเคมีของเศษวัสดุ**

โดยทั่วไป การทำปุ๋ยหมักจะพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษวัสดุนั้น ๆ ซึ่งสิ่งสำคัญอยู่ที่องค์ประกอบของไนโตรเจนซึ่งจะเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดอัตราการย่อยสลายวัสดุเศษพืชที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมักอาจแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ พวกที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น ผักตบชวา ต้นกล้วย ใบตอง เศษหญ้าสด ฯลฯ กับพวกที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว ฯลฯ

สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรียคาร์บอน เพื่อใช้เป็นแหล่งของพลังงาน และสร้างส่วนประกอบของเซลล์ กรณีไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายเพื่อใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน เพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ โดยวัสดุเศษพืชที่มีค่า C/N ratio ต่ำหรือมีปริมาณไนโตรเจนสูงจะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายสั้นกว่าวัสดุเศษพืชที่มีค่า C/N ratio สูง หรือมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ พบว่า C/N ratio ที่เหมาะสมในการย่อยสลายมีค่าประมาณ 25:1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) นอกจากนี้ ค่า C/N ratio สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาว่าปุ๋ยหมักนั้นหมักเสร็จสมบูรณ์หรือยัง โดยปกติถ้าปุ๋ยหมักมีค่า C/N ratio ลดลงต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20:1 ถือว่าสามารถนำปุ๋ยหมักดังกล่าวไปใช้ โดยไม่เป็นอันตรายต่อพืชและเป็นปุ๋ยหมักมีคุณภาพดี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

**2.6.3 ความชื้น**

ความชื้น เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญของจุลินทรีย์ โดยปกติภายในกองปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิสูงทำให้น้ำระเหยจากกองปุ๋ยตลอดเวลา ถึงแม้ว่าสารอินทรียวัตถุจะมีคุณสมบัติที่อุ้มน้ำได้ดีก็ตาม ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้ปริมาณความชื้นมากหรือน้อยเกินไป โดยระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายประมาณ 50-60% โดยน้ำหนัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

ถ้าความชื้นต่ำกว่า 40% การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ถ้าความชื้นมากเกินกว่า 80% จะทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป การระบายอากาศไม่ดี จนทำให้เกิดสภาพไม่มีอากาศ กระบวนการย่อยสลายจะเกิดได้ช้าเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเศษพืชส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการอากาศหรือต้องการออกซิเจนในการสร้างพลังงาน

นอกจากนี้ ความชื้นยังมีผลทางอ้อมต่อการระบายอากาศ คือ ถ้าความชื้นมีมากเกินไปการแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักจะเกิดได้ยาก ทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนและมีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดการหมักแบบไร้อากาศ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นภายในกองปุ๋ยหมัก และมีผลทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารจากวัสดุเศษพืชในระหว่างการทำปุ๋ยหมักด้วย เช่น ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนีย เป็นต้น

การตั้งกองปุ๋ยในที่โล่งแจ้งในฤดูฝน สิ่งที่ต้องระวัง คือ สภาพของฝนที่ตกหนักติดต่อกันนาน ๆ อาจทำให้ภายในกองปุ๋ยเปียกแฉะ ดังนั้น ถ้าเป็นช่วงที่มีฝนตกหนัก อาจป้องกันไม่ให้กองปุ๋ยเปียกแฉะโดยการปรับแต่งด้านบนของกองให้มีลักษณะโค้งมนเป็นรูปครึ่งวงกลม การกองในลักษณะนี้ ฝนที่ตกลงบนกองปุ๋ยส่วนใหญ่จะไหลออกไปทางด้านข้างของกอง ทำให้ด้านในของกองไม่เปียกแฉะ แต่ถ้าหมักกองปุ๋ยไประยะหนึ่ง จนเศษพืชเปื่อยมากแล้ว กองปุ๋ยจะดูดซับน้ำฝนได้ง่าย จึงควรหาวัสดุมาคลุมด้านบนของกองไว้ไม่ให้เปียกฝนจนแฉะ

**2.6.4 การระบายอากาศ**

ภายในกองปุ๋ยหมักจำเป็นต้องมีการระบายอากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อการเจริญและย่อยสลายเศษซากพืช การระบายอากาศหรือการเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ย อาจทำได้โดยการกลับกองปุ๋ย ซึ่งนอกจากจะมีผลดีในการระบายอากาศแล้ว ยังช่วยคลุกเคล้าเศษวัสดุต่าง ๆ ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ การกลับกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม จะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง และเป็นวิธีที่ไม่ต้องลงทุน แต่ต้องใช้แรงงานเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ไม่มีแรงงานเพียงพอในการกลับกองปุ๋ยหมัก อาจจะใช้วิธีการใช้ท่อสอดในกองปุ๋ยหมักเพื่อเป็นการช่วยระบายอากาศภายในกองปุ๋ยหมักได้ และจะช่วยลดแรงงานในการกลับกองปุ๋ยหมักได้

การทำปุ๋ยหมักโดยไม่มีการกลับกองปุ๋ย จะทำให้อัตราการย่อยสลายเศษพืชลดลง และการใช้แผ่นพลาสติกคลุมกองปุ๋ยหมักทั้งหมด ไม่ก่อให้เกิดผลดีในการทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากจะเป็นการเพิ่มเวลาในการหมักแล้ว จุลินทรีย์ยังไม่สามารถดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายได้ เนื่องจากมีออกซิเจนไม่เพียงพอและไม่มีการระบายอากาศเกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมัก ดังนั้น การกลับกองปุ๋ยหมักบ่อยครั้ง จะเป็นการเพิ่มอัตราการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักและทำให้เป็นปุ๋ยหมักเร็วขึ้น

**2.6.5 อุณหภูมิ**

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงให้เห็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมักว่าเกิดช้าหรือเร็ว ซึ่งเป็นตัวชี้บอกกิจกรรมการย่อยสลายเศษพืชโดยพวกจุลินทรีย์ อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการหมักเป็นเวลา 2-4 วัน คือ ประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส เนื่องจากในระยะแรกมีสารอินทรีย์ส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายปริมาณมาก อัตราการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นดีและปล่อยพลังงานความร้อนออกมาจากกระบวนการย่อยสลายสูง การที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักเปลี่ยนแปลงไป ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็เปลี่ยนไปเช่นกัน ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญ ได้แก่ พวกที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophilic bacteria) หลังจากที่อุณหภูมิสูงสุดแล้วจะค่อย ๆ ลดลง จนถึงระดับจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic bacteria) สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้น อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

- ความร้อนปานกลางอยู่ในช่วงไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
- ความร้อนสูงอยู่ในช่วงเกิน 40 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส

ในกรณีที่อุณหภูมิสูงเกินกว่า 70 องศาเซลเซียส จะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย ทำให้อัตราการย่อยสลายลดลงตามไปด้วยทำให้อุณหภูมิค่อย ๆ ลดลงจนถึงระดับที่เหมาะสม เชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดอยู่จะดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายต่อไป

ระดับของอุณหภูมิในกองปุ๋ยจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของชนิดวัสดุเหลือทิ้ง และขนาดของกองปุ๋ยหมักด้วย โดยวัสดุที่มีขนาดใหญ่ เช่น ฟางข้าว และผักตบชวา จะมีอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงระหว่าง 45-50 องศาเซลเซียส แต่วัสดุที่มีขนาดเล็ก เช่น กากอ้อย แกลบ จะมีอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

**2.6.6 ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)**

ค่าความเป็นกรด-ด่างจะมีค่าลดลงในช่วง 2-3 วันแรก เนื่องจากในช่วงแรกสามารถย่อยสลายวัสดุที่ย่อยสลายง่ายอย่างรวดเร็วและผลิตกรดอินทรีย์บางชนิด มีผลทำให้ pH ลดลงถึงระหว่าง 4.5-5.0 กรดอินทรีย์ที่ผลิตขึ้นจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายต่อไป เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารอินทรีย์ที่เหลือจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์คงที่ ดังนั้น จะทำให้ปุ๋ยมี pH สูงขึ้นอยู่ในช่วงระหว่าง 7.5-8.5

## 2.7 วัสดุที่ใช้ในการหมักปุ๋ย

### 2.7.1 กากตะกอน

การบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยทั่วไป นิยมใช้ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ทำให้เกิดปริมาณกากตะกอน (sludge) เป็นจำนวนมาก ซึ่งปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในกากตะกอนแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอนของการบำบัดน้ำเสียชุมชน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

| พารามิเตอร์ | ค่าเฉลี่ย (%) |
|---|---|
| ไนโตรเจน (N) | 4.49 |
| ฟอสฟอรัส (P) | 1.59 |
| โพแทสเซียม (K) | 0.31 |
| แคลเซียม (Ca) | 2.18 |
| แมกนีเซียม (Mg) | 0.29 |
| สารอินทรีย์ | 33 |

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**2.7.2 หญ้าขน** (ประวิทย์, 2546)

**ชื่อไทย :** หญ้าขน

**ชื่อสามัญ :** Paragrass, Buffalo grass, Panicum grass

**ชื่อวิทยาศาสตร์ :** *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf

**ชื่อวงศ์ :** POACEAE

เป็นหญ้าอายุหลายปี มีเถาเลื้อย เลื้อยคลุมดิน ลำต้นกลวง อวบน้ำ สูง 91-202 เซนติเมตร แตกรากตามข้อที่แตกดิน ลำต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.1-4.2 มิลลิเมตร ใบเรียวไปที่ปลายใบ กว้าง 1.4-1.6 เซนติเมตร ยาว 20.5 – 27.2 เซนติเมตร หน้าใบมีขนปกคลุมหนาแน่น กาบใบหุ้มลำต้นมีขอบสีม่วงมีขนจำนวนมาก ยาว 8.3 – 11.5 เซนติเมตร บริเวณข้อจะมีขนเป็นกระจุกสีขาว ลิ้นใบ ลักษณะเป็นแผงขนสั้น ๆ ยาว 1.0 – 1.5 มิลลิเมตร ต้นอ่อนมักเป็นสีม่วงแกมน้ำตาล ต้นแก่เป็นสีเขียว ช่อดอกแบบแยกแขนง ยาว 39.5-45.4 เซนติเมตร ประกอบด้วย 10-20 ช่อดอกย่อย หญ้าขนไทยจะติดดอกดี แต่ขึ้นในที่ดอนไม่ดีเท่าหญ้าขนต่างประเทศ ขยายพันธุ์โดยใช้ท่อนพันธุ์ หญ้าขน มีความชื้น 10.0% ประกอบด้วย โปรตีน 9.5% ไขมัน 3.5% กาก 27.9% แป้ง 36.6% และแร่ธาตุ 13.0%

- ในหญ้าขนอายุ 45 วัน มีวัตถุแห้ง 31% โปรตีน 8-3-13.4% ฟอสฟอรัส 0.33% โพแทสเซียม 2.70% แคลเซียม 0.32% ADF (Acid detergent fiber) 34.1–38.3% NDF (Neutral detergent fiber) 62.1– 68.2% DMD (Dry matter digestibility) 41.9-43.4%

- ในหญ้าขนอายุ 75 วัน ไนเตรท 835 พีพีเอ็ม ออกซาลิกแอซิด 44 มิลลิกรัม แทนนิน 0.1% ไม่พบไนไตรท์

หญ้าขน โดยทั่วไปมีปริมาณคาร์บอน 52.19% และไนโตรเจน 0.2 – 0.3% นิยมใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหญ้าขนมีปริมาณคาร์บอนสูง จึงนิยมใช้เป็นวัสดุร่วมเพื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนในปุ๋ย (มุกดา, 2545)

107813

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

จิตรลดา ดำรงสุกิจ (2543)

ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยหมักร่วมกับวัสดุอื่น ๆ ได้แก่ มูลวัว มูลไก่ มูลนกพิราบ รำละเอียด ยูเรีย และเชื้อจุลินทรีย์ F-60 ได้ทำการแปรผันอัตราส่วนของวัสดุต่าง ๆ ทั้งสิ้น 19 สูตร พบว่า ปริมาณรำละเอียดที่ปรับลดลงไม่มีผลต่อการหมัก การเติมยูเรียทำให้การหมักเสร็จเร็วขึ้น ปริมาณธาตุอาหารพืชในตะกอนหมักทั้ง 19 สูตรมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ไนโตรเจนทั้งหมด 1.0–2.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีมากที่สุดในปุ๋ยหมักจากมูลวัว, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 0.3–0.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีมากที่สุดในปุ๋ยหมักจากมูลไก่, และโพแทสเซียม 3.0 เปอร์เซ็นต์ มีเท่ากันในทุกสูตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ตามท้องตลาด พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารพืชใกล้เคียงกับปุ๋ยอินทรีย์เป็นปริมาณเพียงพอที่จะปลูกพืชได้ดีและมีราคาต้นทุนในการผลิตต่ำกว่า

นันทพร วิเศษสมบัติ (2545)

ศึกษาการหมักปุ๋ยโดยใช้กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบจานหมุนชีวภาพ เป็นวัสดุร่วมในการทำปุ๋ยหมักร่วมกับใบไม้ และเศษอาหาร โดยการหมักแบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 2 เดือน เพื่อศึกษาการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้กับปุ๋ยหมักโดยการเติมกากตะกอนเพื่อลดปริมาณขยะ โดยได้ทำการแบ่งสัดส่วนการผสมเป็น 8 ชุดการทดลอง และวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของปุ๋ยหมักทุก ๆ สัปดาห์ พบว่า ชุดการทดลองที่มีกากตะกอนเป็นส่วนประกอบจะมีปริมาณฟอสเฟตและปริมาณไนเตรทสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีกากตะกอนผสม โดยปุ๋ยหมักที่มีกากตะกอนเป็นส่วนประกอบมีปริมาณฟอสเฟต 0.08 เปอร์เซ็นต์ และไนเตรท 1.0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปุ๋ยหมักที่ไม่มีกากตะกอนเป็นส่วนประกอบมีปริมาณฟอสเฟต 0.04 เปอร์เซ็นต์ และไนเตรท 0.44 เปอร์เซ็นต์

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูรและคณะ (2546)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมด้วยระบบกองเติมอากาศ ทำการศึกษาในระดับใช้งานจริงจากการหมักปุ๋ย 3 กอง แต่ละกองประกอบด้วยเศษพืชที่ผ่านการย่อย 6 ลบ.ม. และมูลโค 3 ลบ.ม. กองบนลานพื้นดินกลางแจ้ง ให้มีขนาดกว้าง×ยาว×สูง 2.5×3.5×1.0 เมตร เติมปุ๋ยยูเรีย หินฟอสเฟต และสารตัวเร่งในอัตรา 400, 200, และ 90 กรัม ตามลำดับ รักษาความชื้นที่ร้อยละ 45-55 โดยน้ำหนักเปียก เติม

อากาศให้กองปุ๋ยแต่ละกองวันละ 2 ครั้งๆ ละ 15 นาที ด้วยพัดลมขนาด 3 แรงม้า ผ่านทางท่อพีวีซีเจาะรูขนาด 4 นิ้ว ด้วยค่าอัตราการไหลของอากาศ 0.118, 0.147, และ 0.155 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20 พบว่า การหมักใช้เวลาประมาณ 30 วัน มีค่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมมีค่า 0.155 ลบ.ม./วินาที ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกองมีค่าสูงขึ้นอยู่ในช่วง 60-75 องศาเซลเซียส ที่เวลา 2-5 วัน ปุ๋ยที่ได้มีน้ำหนักเบา มีขนาดเล็กลง และไม่มีกลิ่น มีความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 198 กก./ลบ.ม. มีส่วนที่ไม่ย่อยสลายอยู่ในช่วงร้อยละ 1.9-3.2 มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 0.07 บาทต่อกิโลกรัมวัตถุดิบต่อเดือน และเมื่อคิดว่าในการผลิตใช้แรงงาน 2 คนต่อวัน ทำงานปีละ 120 วัน ผลิตปุ๋ยได้เฉลี่ยเดือนละ 18 ตัน จำหน่ายปุ๋ยกิโลกรัมละ 1.50 บาท พบว่า มีจุดคุ้มทุนที่ 0.37 ปี และ 1.36 ปี เมื่อไม่ใช้และใช้เครื่องย่อยเศษพืช ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ระบบกองเติมอากาศมีศักยภาพที่ชุมชนจะนำไปผลิตปุ๋ยหมักในเชิงอุตสาหกรรมได้ เพราะมีการทำงานที่ง่าย ใช้แรงงานน้อย ไม่ต้องมีการพลิกกลับกองปุ๋ย มีค่าลงทุนและค่าดำเนินการต่ำ ใช้พลังงานน้อย และยังเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร (2548)

จากการวิจัยและพัฒนาพบว่า การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชระบบกองเติมอากาศเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสม สามารถผลิตปุ๋ยหมักเสร็จภายในเวลา 1 เดือน โดยไม่ต้องพลิกกลับกองปุ๋ย มีค่าลงทุนและใช้พลังงานต่ำ ปุ๋ยที่ผลิตได้มีค่าตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ระบบมีความยืดหยุ่นสามารถออกแบบการวางท่ออากาศให้ผลิตปุ๋ยได้เดือนละ 10 กอง หรือเดือนละ 15 ตัน ช่วยให้เกษตรกรสามารถผลิตปุ๋ยหมักในเชิงพาณิชย์เป็นอาชีพเสริมได้ ผลจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี ภายในปี พ.ศ. 2548 จะมีการผลิตปุ๋ยหมักด้วยระบบนี้อย่างน้อย 150 แห่ง จาก 3 จังหวัดในประเทศไทย คือ จังหวัดเชียงใหม่ พะเยา และนครราชสีมา ซึ่งคาดว่าจะสามารถผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชแทนการเผาทำลายได้รวมกันประมาณ 10,000 ตันต่อปี คิดเป็นรายได้เสริม 14.6 ล้านบาทต่อปี

Barrington Suzelle. and Choiniere Denis. (2002)

ศึกษาการทำปุ๋ยหมักโดยการเติมอากาศแบบพาสซีฟ ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่าย ในขณะที่มีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับการหมักปุ๋ยโดยการเติมอากาศแบบแอกทีฟ การเติมอากาศแบบพาสซีฟต้องมีการออกแบบท่อเติมอากาศที่เหมาะสม เพื่อให้มีอัตราการเติมอากาศอย่างเพียงพอ โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในกองปุ๋ยกับบรรยากาศภายนอก และต้องมีการเติมวัสดุร่วมที่มีโครงสร้างในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเติมอากาศ ในที่นี้ใช้กิ่งไม้และหญ้าแห้ง

และควบคุมปริมาณความชื้นให้อยู่ระหว่าง 60–70 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยสูงสุดที่ 57 องศาเซลเซียส ในวันที่ 2 และ 6 ของการหมัก มีอัตราการเติมอากาศอยู่ระหว่าง 1.5 – 0.7 มิลลิกรัมของน้ำหนักแห้งต่ออากาศ 1 กิโลกรัม ในระหว่างการหมัก 20 วันแรก และลดลงในเวลาต่อมา เมื่อเปรียบเทียบวัสดุร่วมที่ใช้ พบว่าการหมักปุ๋ยร่วมกับหญ้าแห้งมีอัตราการเติมอากาศต่ำกว่าวัสดุร่วมที่เป็นกิ่งไม้

S.P.Mathur. and N.K.Patni. (2003)

ศึกษาความเป็นไปได้ในการทำปุ๋ยหมักจากวัสดุที่มีปริมาณความชื้นสูง ได้แก่ มูลสัตว์จากการทำปศุสัตว์ ร่วมกับถ่านหินที่ได้จากพืช ซึ่งเป็นถ่านหินจากระดับพื้นผิว 10 เซนติเมตร และปูนขาว 1 เปอร์เซ็นต์ ในการปกคลุมกองปุ๋ยด้านบน เพื่อลดกลิ่นเหม็นและปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง นอกจากนี้ ยังลดก๊าซแอมโมเนียและซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น จากการทดลองพบว่า กองปุ๋ยมีอุณหภูมิประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่าง 2 – 5 วัน สัปดาห์แรกของการหมัก และใช้ระยะเวลาในการหมักปุ๋ยจนได้ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ที่ 7 สัปดาห์ และพบว่าการใช้ถ่านหินและปูนขาวช่วยลดการเกิดก๊าซแอมโมเนียและซัลไฟด์ได้ดี เป็นการลดภาวะเสี่ยงในการเกิดภาวะเรือนกระจก

Zezama Alberto. and Aguayo Pablo. (2006)

การศึกษาวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพของขยะเทศบาลของอเมริกา ทำการทดลองใน 2 พื้นที่ซึ่งมีความแตกต่างกัน ชุดการทดลองที่ 1 ทำการเก็บตัวอย่างและวัดปริมาตรของขยะเทศบาล ณ เมืองคอนเซพซิออน ประเทศชิลี โดยใช้การหมักแบบครั้งและติดตามผลจากกระบวนการย่อยสลาย ชุดการทดลองที่ 2 ทำการเก็บตัวอย่าง ณ เมืองเอสทีลา ประเทศบราซิล โดยใช้การหมักแบบต่อเนื่อง จากการทดลอง ทำการแสดงผลโดยน้ำหนักเปียก พบว่า วัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในชุดทดลองของกระบวนการย่อยสลาย คือ 85.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 27 วัน ในชุดการทดลองที่ 1 พบว่า เหลือปริมาตรของวัสดุอยู่ 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเกิดการย่อยสลายและการระเหยออกของไอน้ำ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดในการฝังกลบ คือ 59 เปอร์เซ็นต์ และในชุดทดลองที่ 2 เหลือปริมาตรของวัสดุอยู่ 46.6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น มีความเป็นไปได้ว่าสามารถจะกำจัดและลดปริมาณของขยะเทศบาลได้โดยวิธีการหมัก

Gea Teresa. and Ferrer Pau. (2006)

ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนของน้ำเสีย และไขมันสัตว์มาทำการหมักปุ๋ย โดยใช้เทคโนโลยีการจัดการของเสีย ซึ่งจะใช้ปริมาณไขมัน 30 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับกากตะกอน เพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี และเป็นการหลีกเลี่ยงไม่ให้กองปุ๋ยมีอุณหภูมิสูงเกินปกติ จากการทดลองพบว่า ในสภาวะการหมักปุ๋ยสามารถลดปริมาณไขมันได้ 85 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม คือ 40 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาในการหมักปุ๋ยจนได้ปุ๋ยหมักที่เสถียรและสมบูรณ์ คือ 69 วัน และจากการตรวจสอบเอ็นไซม์ไลเปสซึ่งใช้ในการย่อยสลายไขมัน ในระหว่างการหมัก นอกจากนี้ พบว่า อุณหภูมิสูงสุดที่ 38.3 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.97

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# บทที่ 3
# การดำเนินการวิจัย

## 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

1. กากตะกอน จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง
2. หญ้าขน

3.1.2 อุปกรณ์

1. ถังพลาสติก ขนาด 200 ลิตร สูง 90 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร จำนวน 2 ถัง
2. ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.25 เซนติเมตร
3. ข้องอ 90 ° (ข้อต่อท่อ) จำนวน 1 อัน
4. ถวดตาข่าย
5. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) JENWAY รุ่น 6400 UV/Vis. ประเทศเยอรมัน
6. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) YOKOGAWA Co. Ltd ., ประเทศเกาหลี
7. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) DENVER INSTRUMENT MODEL 215 , ประเทศเยอรมัน
8. ตู้อบ (Drying Oven) MEMMERT , ประเทศเยอรมัน
9. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัท SARTORIUS AG GTTINGEN , ประเทศเยอรมัน
10. ตู้อบ (Drying Oven) MEMMERT , ประเทศเยอรมัน
11. ถ้วยระเหย (Evaporating dishes)
12. โถทำแห้ง ( Desicator)
13. เครื่อง Macro kjedahl
14. ขวดเจลดาห์ล (kjedahl flask)
15. เครื่องแก้วต่าง ๆ
16. จานเพาะเชื้อ
17. ตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

18. สำลี

19. เมล็ดถั่วเขียว

3.1.3 สารเคมี

1. สารเร่ง (พด. 1) ผลิตโดย กรมพัฒนาที่ดินกระทรวงเกษตรและสหกรณ์
2. โพแทสเซียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT
3. แอมโมเนียมอะซิเตต เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT
4. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT
6. กรดบอริค 3% เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT
7. กรดซัลฟูริก 0.05 นอร์มัล เกรด วิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT
8. เมทิลเพอเพิล อินดิเคเตอร์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT

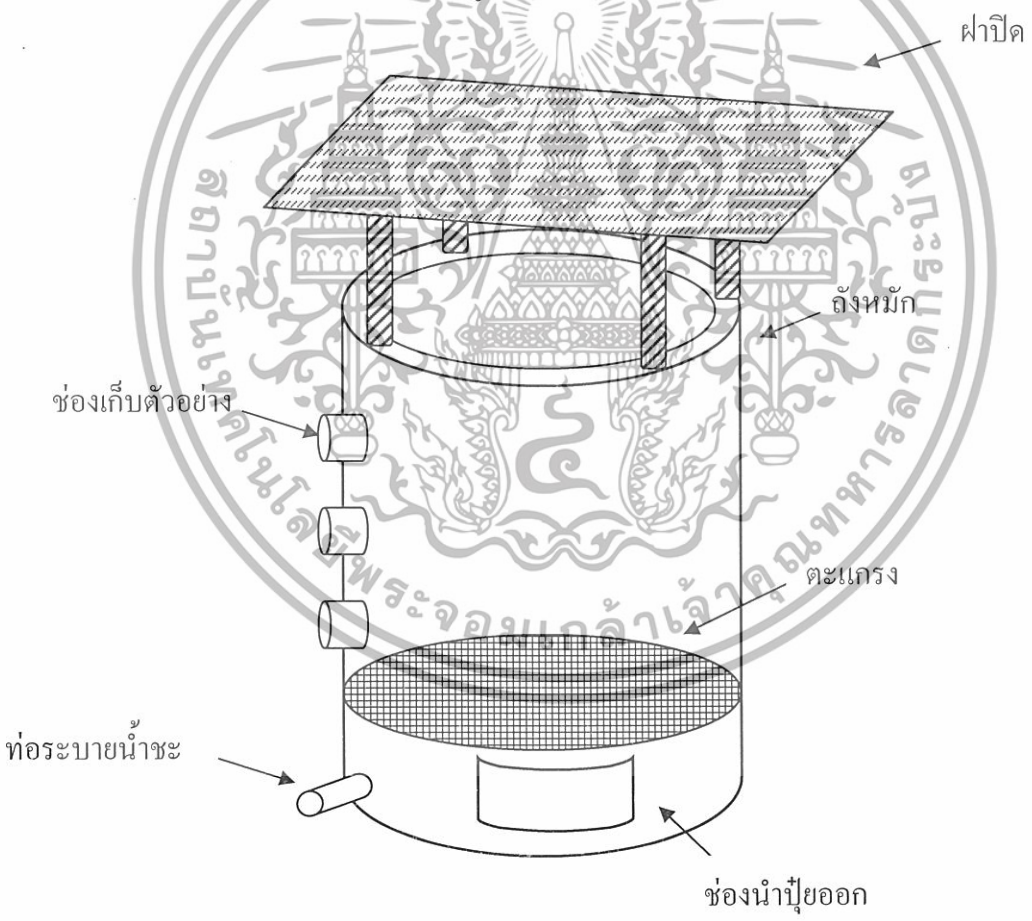
**3.2 การเตรียมถังหมัก**

3.2.1 ถังหมักที่ 1 (ชุดควบคุม)

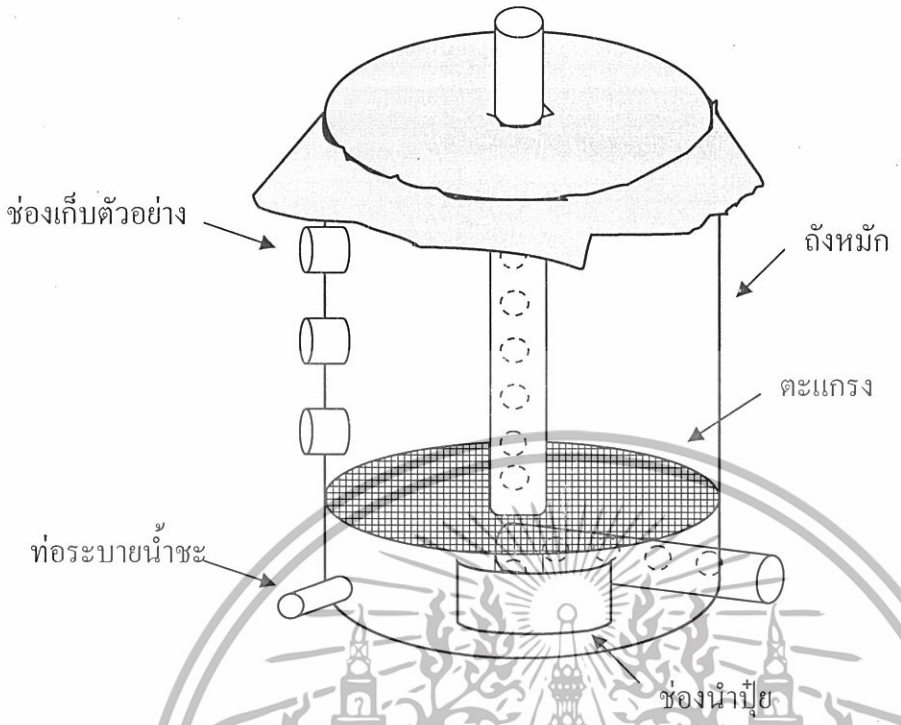
1. นำถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร เจาะรูบริเวณด้านข้างของถังในแนวดิ่ง 3 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.25 เซนติเมตร โดยให้สูงจากก้นถังขึ้นมาเป็นระยะ 30, 50 และ 70 เซนติเมตร ตามลำดับ เจาะช่องบริเวณสูงกว่าก้นถังขึ้นมา 15 เซนติเมตร ขนาด 20 × 15 ตารางเซนติเมตร 1 ช่อง โดยมีประตูเปิดปิดได้ และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร 1 ช่อง โดยสูงกว่าก้นถังขึ้นมา 5 เซนติเมตร
2. ตัดท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.25 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร
3. นำท่อ PVC ที่ตัดเรียบร้อยไปประกอบกับถังที่เจาะรูไว้ โดยยึดติดด้วยปืนกาว
4. วางตะแกรงเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ขนาด 0.5 เซนติเมตร ภายในถัง โดยให้ สูกว่าก้นถัง ขึ้นมา 20 เซนติเมตร
5. ตัดไม้ให้มีความยาว 15 เซนติเมตร นำไปติดบริเวณปากถังทั้ง 4 มุม ดังรูปที่ 3.1

3.2.2 ถังหมักที่ 2 (ชุดทดลอง)

1. เตรียมถังหมักเช่นเดียวกับถังหมักที่ 1
2. นำท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.25 เซนติเมตร (ดังรูปที่ 3.2 หน้า 26) มาตัดให้มีขนาด 100 เซนติเมตร และ 40 เซนติเมตร
3. เจาะรูท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ตลอดแนวความยาวท่อโดยให้ ห่างกัน 5 เซนติเมตร รอบท่อทั้งสี่ทิศ
4. นำท่อ PVC ที่เจาะรูเรียบร้อยแล้วมาต่อกันให้เป็นรูปตัวแอลโดยใช้ข้องอ 90 องศา เชื่อมต่อ
5. นำลวดตาข่ายขนาดพอดีกับท่อ PVC มาหุ้มท่อโดยใช้ปืนกาว จากนั้นนำไปประกอบกับถัง ดังรูปที่ 3.2




รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของถังหมักที่ 1(ชุดควบคุม)




รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของถังหมักที่ 2 (ชุดทดลอง)

**3.3 การเตรียมวัสดุหมัก**

3.3.1 วิเคราะห์อัตราส่วนองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) ของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและหญ้าขน

3.3.2 ผสมกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนกับหญ้าขนในอัตราส่วน C/N ratio ที่เหมาะสม คือ 25:1 (ภาคผนวก ก)

3.3.3 นำสารเร่ง (พด.1) (อัตราส่วน 100 กรัมต่อวัสดุ 1 ตัน) รดลงบนกองวัสดุหมักให้ทั่ว ปรับความชื้นให้เหมาะสม คือ 50-70% (มุกดา, 2545) แล้วคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน

3.3.4 วิเคราะห์อัตราส่วน C/N ratio, ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus), โพแทสเซียม (Potassium), ไนเตรท (Nitrate), pH, อุณหภูมิ, ความชื้น, ความหนาแน่น, การยุบตัวและกลิ่นของวัสดุหมักเริ่มต้น

**3.4 การศึกษาสภาวะในการหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันและวิธีการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป**

3.4.1 ใส่วัสดุหมักที่เตรียมไว้ใส่ในถังหมัก ทั้งสองถังให้เท่ากันโดยให้ถังที่ 1 เป็นชุดควบคุม และถังที่ 2 เป็นชุดทดลอง วางฝาปิดให้เรียบร้อยโดยถังที่ 2 ปิดปากถังให้สนิท ระบายอากาศเฉพาะทางท่อระบายอากาศ

3.4.2 ทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูง 30, 50 และ 70 เซนติเมตร นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ ค่าต่าง ๆ ได้แก่

1. วัดอุณหภูมิ (Temperature) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ระยะ 30, 50 และ70 เซนติเมตรจากก้นถัง
2. วัดอัตราการยุบตัว โดยใช้ตลับเมตรวัดระยะจากปากถังถึงระดับปุ๋ย 4 จุด รอบถังในทิศตรงกันข้าม นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยอัตราการยุบตัวของปุ๋ยหมัก
3. วัดกลิ่นโดยใช้อาสาสมัครมาดมกลิ่น 10 คน ทำการสำรวจกลิ่น 2 สัปดาห์/ครั้ง แล้วบันทึกผลลงในใบประเมิน
4. วิเคราะห์หาค่าความชื้น โดยนำวัสดุหมักไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 – 12 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถแก้วป้องกันความชื้น (desiccator) จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่หายไป (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
5. วิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยนำวัสดุหมักที่บดละเอียดมาเติมน้ำกลั่น คนให้เข้ากัน แล้วตั้งไว้ 60 นาที นำไปวัด pH ด้วยเครื่อง pH meter (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
6. วิเคราะห์หาค่าการนำไฟฟ้า โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เก็บไว้ค้างคืน วัดค่าการนำไฟฟ้า ด้วยเครื่อง Conductivity (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
7. วิเคราะห์หาปริมาณอินทรียคาร์บอน โดยนำวัสดุหมักที่บดละเอียด เติมโพแทสเซียมไดโครเมต และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไทเทรตกับเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
8. วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน โดยนำวัสดุหมักที่อบแห้งสนิท ไปทำการย่อยและการกลั่นตามมาตรฐานในคู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

9. วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส โดยนำวัสดุหมักที่อบแห้งสนิท ไปทำการย่อย แล้วทำให้เกิดสี วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
10. วิเคราะห์หาค่าไนเตรท
    1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างวัสดุหมักที่อบแห้งสนิท 5.0 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
    2) เติมน้ำยาสกัดโพแทสเซียมคลอไรด์ 50 มิลลิลิตร ทำการเขย่า 30 นาที
    3) นำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง whatman เบอร์ 42
    4) นำสารละลายที่ได้ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำยาสกัด โพแทสเซียมคลอไรด์
    5) นำสารละลายที่เตรียมไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท โดยวิธีบลูซีน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
11. วิเคราะห์หาค่าโพแทสเซียม โดยนำวัสดุหมักที่อบแห้งสนิท เติมน้ำยาสกัดแอมโมเนียมอะซิเตต นำไปกรองแล้วนำสารละลายที่ได้วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมโดยใช้ Atomic Absorption Spectrophotometer

การวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์จะทำซ้ำ 3 ครั้ง

พารามิเตอร์และความถี่ในการวัดสภาวะในการหมักปุ๋ยดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และความถี่ในการวัด

| พารามิเตอร์ | วิธีวัด | ความถี่ในการวัด |
|---|---|---|
| 1. อุณหภูมิ | Thermometer | ทุกวัน |
| 2. การยุบตัว | วัดด้วยตลับเมตร | 2 วัน/ครั้ง |
| 3. pH | pH meter | 1 ครั้ง/สัปดาห์ |
| 4. กลิ่น | ดมกลิ่น | 2 สัปดาห์/ครั้ง |
| 5. ความชื้น | Evaporation ที่ 103-105°C | 1 ครั้ง/สัปดาห์ |
| 6. ค่าการนำไฟฟ้า | Conductivity | 1 ครั้ง/สัปดาห์ |
| 7. Organic carbon | Wet oxidation | 1 ครั้ง/เดือน |
| 8. Total kjeldahl nitrogen(TKN) | Titration | 1 ครั้ง/เดือน |
| 9. Total Phosphorus | Spectrophotometry | ครบ 2 เดือน |
| 10. Potassium | Atomic Absorption Spectrophotometry | ครบ 2 เดือน |
| 11. Nitrate | Spectrophotometry | ครบ 2 เดือน |

**3.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่หมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันและการหมักโดยวิธีทั่วไป**

วิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก ดังนี้

3.5.1 อัตราส่วนไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม

1) วิเคราะห์หาค่าไนโตรเจน (Total kjeldahl nitrogen)

1.1 ชั่งปุ๋ยหมักที่อบแห้งสนิทของทั้ง 2 วิธี 0.1 กรัม บนกระดาษกรองและห่อใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 800 มิลลิลิตร หรือหลอดย่อย digestion tube ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 3 ตัวอย่าง

1.2 เติมสารโพแทสเซียมซัลเฟต ($K_2SO_4$) 3.5 กรัมและสารผงซิลิเนียม (Se) 0.0035 กรัม

1.3 เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ลงใน Kjeldahl flask หรือ 15 มิลลิลิตร ลงในหลอดแก้ว

1.4 นำไปย่อยใน Kjeldahl digestion apparatus เปิดเตาหมุนเบอร์ 2 ใช้อุณหภูมิประมาณ 100– 400 องศาเซลเซียส หรือ digestion block

ใช้อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใสใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงหรือ 6 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น

1.5 ใส่สารละลายกรดบอริก 50 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ 4 – 5 หยด นำไปวางรองรับ distillate จากเครื่องกลั่นให้ ปลายหลอดแก้วจุ่มอยู่ในสารละลายบอริกแล้วนำ Kjeldahl flask ที่มีสารละลายตัวอย่าง (สารละลายใส) มาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 50 มิลลิลิตร ทำการกลั่น (ประมาณ 1 ชั่วโมง) จนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรต

สำหรับเครื่องกลั่นสำหรับ block : ใส่สารละลายกรดบอริก 50 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ผสม 4 – 5 หยด นำหลอดแก้วที่มีสารละลายตัวอย่าง (สารละลายใส) มาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 50 มิลลิลิตร จนได้ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ใช้เวลาประมาณ 7 – 10 นาที แล้วนำไปไทเทรต

1.6 ไทเทรตของเหลวที่กลั่นได้ด้วยกรดเกลือเข้มข้น จนสีเปลี่ยนจากเขียวเป็นสีม่วง

1.7 ทำแบลงค์เช่นเดียวกับข้อ 1.1-1.6 โดยไม่ใส่ตัวอย่างปุ๋ยในการย่อย

2) วิเคราะห์หาค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus)

2.1) เตรียมกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

2.2) ชั่งปุ๋ยหมักที่อบแห้งสนิทของทั้ง 2 วิธี 0.1 กรัม บนกระดาษกรองและห่อใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 800 มิลลิลิตร หรือหลอดย่อย digestion tube ขนาด 250 มิลลิลิตรจำนวน 3 ตัวอย่าง

2.3) เติมสารโพแทสเซียมซัลเฟต ($K_2SO_4$) 3.5 กรัม และสารผงซิลิเนียม (Se) 0.0035 กรัม

2.4) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ลงใน Kjeldahl flask หรือ 15 มิลลิลิตร ลงในหลอดแก้ว

2.5) นำไปย่อยใน Kjeldahl digestion apparatus เปิดเตาหมุนเบอร์ 2 ใช้อุณหภูมิประมาณ 100– 400 องศาเซลเซียส หรือ digestion

block ใช้อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง หรือ 6 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น

2.6) นำสารละลายใสใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยใช้น้ำกลั่น

2.7) นำสารละลายตัวอย่างที่ปรับปริมาตรแล้ว 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร

2.8) เติมน้ำยาที่ทำให้เกิดสี 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยใช้น้ำกลั่น

2.9) ทำการเขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสี 30 นาที

2.10) นำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้ Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

3) วิเคราะห์หาค่าโพแทสเซียม

3.1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างวัสดุหมักที่อบแห้งสนิท 5.0 กรัม ใส่ขวดรูป ชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2) เติมน้ำยาสกัดแอมโมเนียมอะซิเตต 50 มิลลิลิตร ทำการเขย่า 30 นาที

3.3) นำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง whatman เบอร์ 41

3.4) นำสารละลายที่ได้ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำยาสกัดแอมโมเนียมอะซิเตต

3.5) นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมโดยใช้ Atomic Absorption Spectrophotometer

3.5.2 อัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

1) วิเคราะห์หาค่าคาร์บอน (Organic carbon)

1.1) ชั่งปุ๋ยหมักที่บดละเอียดของทั้ง 2 วิธี จำนวน 100 มิลลิกรัม ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 3 ตัวอย่าง

1.2) เติมโพแทสเซียมไดโครเมต 1 นอร์มอล 25 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ภายในตู้ควันแล้วเขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ค้างคืน

1.3) เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

1.4) เติมอินดิเคเตอร์เมทธิวเรด 0.5 มิลลิลิตร

1.5) ไทเทรตกับเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 นอร์มอล จนจุดยุติเปลี่ยนสีฟ้าเป็นสีน้ำตาลแดง

1.6) อ่านปริมาตรของตัวไทเทรต (titrant) ที่ได้นำไปคำนวณหาอินทรีย์คาร์บอน

2) หาค่าอัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

3.5.3 ปริมาณความชื้น

1) ใช้ถ้วยระเหย (Evaporating dishes) ที่อบจนน้ำหนักคงที่

2) ชั่งปุ๋ยหมักทั้ง 2 วิธี 2 - 5 กรัม จำนวน 3 ตัวอย่าง โดยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 – 12 ชั่วโมง

4) ให้เย็นในโถแก้วป้องกันความชื้น (desiccator)

5) นำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งหาน้ำหนักที่หายไป

3.5.4 ความเป็นกรดเป็นด่าง

1) ชั่งปุ๋ยหมักที่บดละเอียดของทั้ง 2 วิธี 4.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 3 ตัวอย่าง

2) เติมน้ำกลั่น ลงไป 45 มิลลิลิตร (ตามอัตราส่วน)

3) ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน แล้วตั้งไว้ 60 นาที

4) นำไปวัด pH ด้วยเครื่อง pH meter

**3.6 การทดสอบความเป็นพิษด้วยการงอกและความยาวรากของเมล็ด** (อรวรรณ, 2542)

1. ชั่งปุ๋ยหมัก 5 กรัม ใส่ใน petidish แล้วเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร
2. วางเมล็ดถั่วเขียวขนาดเท่ากันจำนวน 5 เมล็ดบนปุ๋ยหมัก ปิดฝา แล้วปิดด้วยเทปใสและกระดาษฟลอยด์ (ชุดทดลอง)
3. เก็บในที่มืด ที่อุณหภูมิห้องทิ้งไว้ 24 , 48 และ 72 ชั่วโมง
4. สังเกตการงอกของเมล็ด และวัดความยาวรากที่ 24 , 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ
5. ทำชุดควบคุมโดยวางถั่วเขียวขนาดเท่ากันจำนวน 5 เมล็ด ลงบนสำลีเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร แล้วปิดด้วยเทปใสและกระดาษฟลอยด์
6. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

# บทที่ 4
# ผลการทดลอง

การศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยวิธีชิมนีย์คอนเวคชันเปรียบเทียบกับวิธีการหมักปุ๋ยทั่วไป โดยใช้หญ้าขนเป็นวัสดุหมักร่วมเพื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอน โดยให้การหมักแบบชิมนีย์คอนเวคชันเป็นชุดทดลองและการหมักโดยวิธีทั่วไป (การกลับกอง) เป็นชุดควบคุม โดยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ 1) การทำถังหมัก 2) หาอัตราส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมของวัสดุหมัก และวิเคราะห์องค์ประกอบและคุณลักษณะเริ่มต้นของวัสดุหมัก 3) วิเคราะห์องค์ประกอบและคุณลักษณะของวัสดุหมักระหว่างการหมัก 4) วิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก และ 5) ทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน ได้ผลการทดลองดังนี้

**4.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุที่ใช้ในการหมัก**

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและหญ้าขนแสดงดังตารางที่ 4.1

ผสมกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนกับหญ้าขนในอัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ให้มีค่าเท่ากับ 25:1 ตามที่มาตรฐานกำหนด (มุกดา, 2545) จากการคำนวณ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก) อัตราส่วนปริมาณกากตะกอนต่อหญ้าขนที่ใช้ในการเตรียมวัสดุหมักเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนักแห้ง หรือเท่ากับ 3.5:2 โดยน้ำหนักเปียก (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก) ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุหมักเริ่มต้นที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของกากตะกอนและหญ้าขนที่ได้จากการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่ามีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 33/1 และค่าคุณลักษณะเริ่มต้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและหญ้าขน

| คุณลักษณะ / วัตถุดิบ | ความชื้น (%) | C (%) | N (%) | C/N |
|---|---|---|---|---|
| กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน | 71.42±2.74 | 16.96±0.7 | 2.2±0.1 | 8/1 |
| หญ้าขน | 54.92±1.5 | 52.91±2.0 | 1.22±0.01 | 43 /1 |

จากผลการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบและสภาวะของวัสดุหมักเริ่มต้นแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะเริ่มต้นของวัสดุหมัก

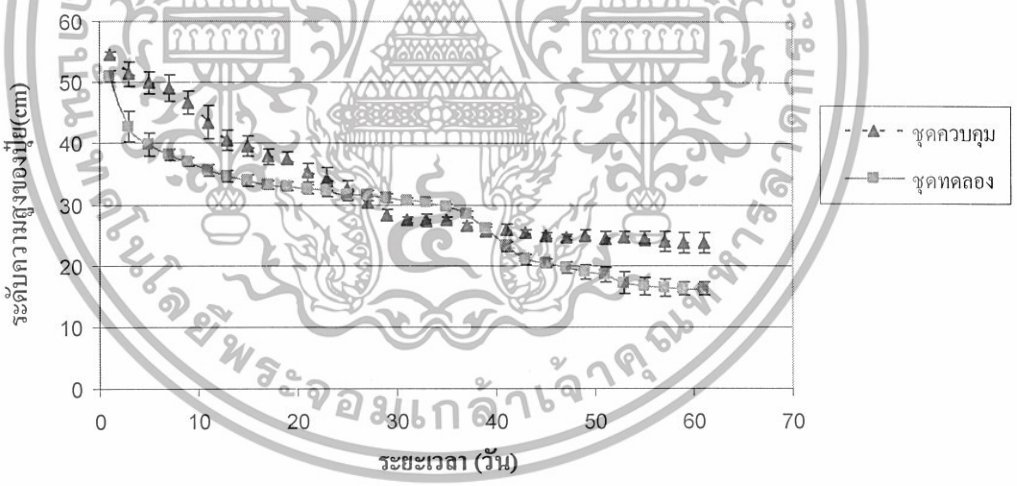
| คุณลักษณะ | ค่าเริ่มต้น |
|---|---|
| ปริมาณคาร์บอน (%) | 37.98±1.35 |
| ปริมาณไนโตรเจน (%) | 1.16±0.17 |
| C/N ratio | 33/1 |
| อุณหภูมิ (°c) | 30.33±0.58 |
| ความเป็นกรด-ด่าง | 5.65±0.02 |
| ปริมาณความชื้น (%) | 67.94±0.22 |
| ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm) | 3.7±0.0 |
| ปริมาณไนเตรท (%) | 0.48 |
| ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (%) | 1.47 |
| ปริมาณโพแทสเซียม (%) | 3.38 |

## 4.2 ผลการวิเคราะห์สภาวะของวัสดุหมักในระหว่างการหมัก

ผลการวิเคราะห์สภาวะของวัสดุหมักที่ระดับความสูง 30, 50 และ 70 เซนติเมตรของถังทดลอง มีดังนี้

### 4.2.1 อัตราการยุบตัวของปุ๋ย

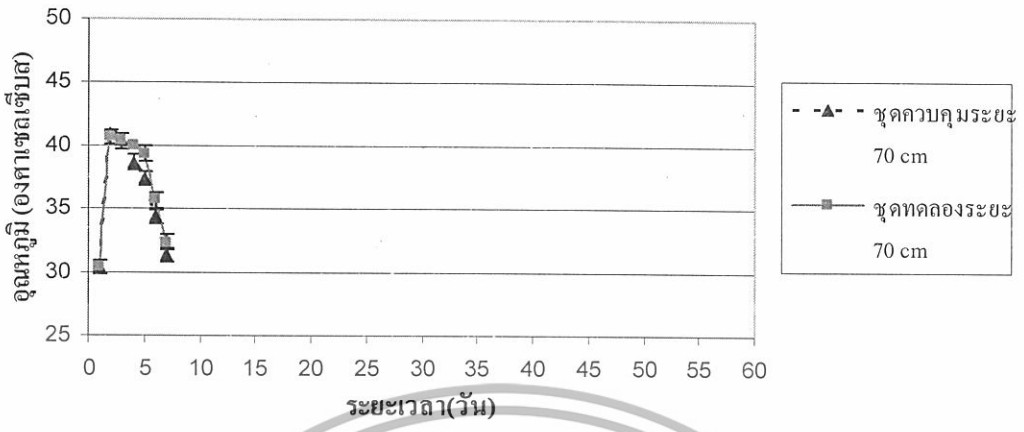
จากการวัดอัตราการยุบตัวของปุ๋ยพบว่าอัตราการยุบตัวจะเกิดค่อนข้างเร็ว ทำให้หลังจากวันที่ 6 ของการหมักไม่สามารถเก็บตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะ 70 เซนติเมตรได้ โดยวัสดุหมักมีแนวโน้มยุบตัวมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในช่วงแรกของการหมักอัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นสูง มีผลให้ระดับความสูงของวัสดุหมักภายในถังหมักลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่าถังหมักชุดทดลองมีอัตราการยุบตัวเร็วกว่าชุดควบคุม (รูปที่ 4.1) (ดูละเอียดตาราง ข-1 และ ข-2, ภาคผนวก ข) อย่างไรก็ตามในช่วงวันที่ 30 ถังควบคุมมีระดับความสูงในกองปุ๋ยที่ต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากมีการกลับกองปุ๋ยทำให้มีการกดทับของปุ๋ย



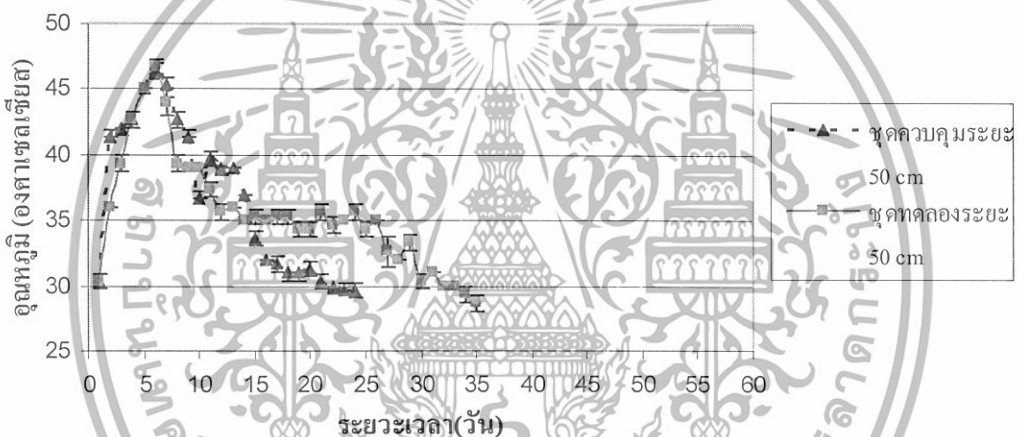

รูปที่ 4.1 ระดับความสูงของปุ๋ยภายในถังหมัก

### 4.2.2 อุณหภูมิ

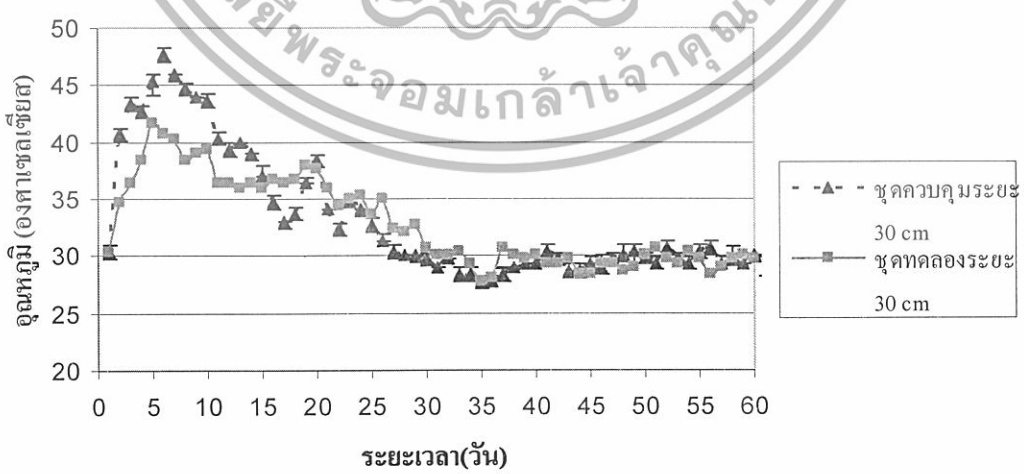
จากรูปที่ 4.2 (ก-ค) (ดูรายละเอียดตาราง ข-3 ถึง ข-5, ภาคผนวก ข) พบว่าอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในชุดทดลองและชุดควบคุมมีค่าใกล้เคียงกัน หลังจากวันที่ 6 ของการหมักที่ระยะ 70 เซนติเมตรไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้เนื่องจากการยุบตัวของปุ๋ย อุณหภูมิสูงสุดของชุดควบคุมมีค่าสูงสุดในวันที่ 6 ของการหมักคือมีค่าเท่ากับ 47.67±0.58 องศาเซลเซียส ที่ระยะ 30 เซนติเมตรจากก้นถัง และชุดทดลองมีอุณหภูมิสูงสุดในวันที่ 5 ของการหมักมีคือค่าเท่ากับ 46.67±0.58 องศาเซลเซียส ที่ระยะ 50 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือระหว่าง 45-50 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) ทั้งนี้เนื่องจากในระยะเริ่มต้นของการหมัก วัสดุหมักมีปริมาณสารอินทรีย์ส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่มาก และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว และมีการปล่อยพลังงานความร้อนที่ได้จากกระบวนการย่อยสลาย อุณหภูมิในช่วงนี้จึงสูงเมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณสารอินทรีย์เริ่มลดลงเหลือแต่ส่วนที่ย่อยสลายยาก ทำให้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ลดลง อุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนคงที่ มีอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิภายนอกหลังจากผ่านการหมักประมาณ 4 สัปดาห์ อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการหมักอุณหภูมิในถังหมักมีค่าขึ้น-ลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศภายนอก (ดังแสดงในตาราง ข-6 ภาคผนวก ข) แต่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักจะสอดคล้องกับอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์




(ก)




(ข)




(ค)

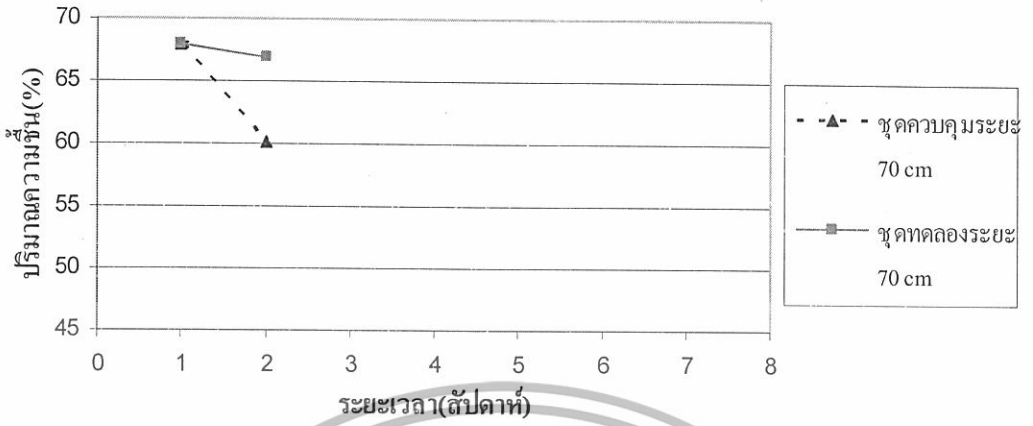
รูปที่ 4.2 (ก) ที่ระยะ 70 เซนติเมตร (ข) ที่ระยะ 50 เซนติเมตร (ค) ที่ระยะ 30 เซนติเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวันภายในถังหมัก

### 4.2.3 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นเฉลี่ยเริ่มต้นของทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าประมาณ 67.94±0.22 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ 50-60% (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) จากรูป 4.3(ก-ค) (ดูรายละเอียดตาราง ข-7 และ ข-8, ภาคผนวก ข) พบว่าหลังจากสัปดาห์ที่ 2 ไม่สามารถเก็บตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะ 70 เซนติเมตรได้ เนื่องจากการยุบตัวของปุ๋ย โดยในระยะแรกปริมาณความชื้นจะลดลงระหว่างสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 เนื่องจากอัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นสูงในช่วงนี้ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น จึงเกิดการระเหยของความชื้นในกองปุ๋ย เป็นผลให้ลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักแห้งจึงมีการเติมน้ำเพิ่มส่งผลให้ปริมาณความชื้นในสัปดาห์ที่ 2 สูงขึ้น พบว่าปริมาณความชื้นภายในถังหมักชุดทดลองมีการกักเก็บปริมาณความชื้นได้ดีกว่าชุดควบคุม เนื่องจากว่าชุดทดลองมีการปิดฝาด้วยพลาสติก มีการระบายไอน้ำเฉพาะท่อระบายอากาศ ทำให้ไอน้ำมีการควบแน่นกลับลงถังหมักในขณะที่ชุดควบคุมไม่มีการปิดฝาถังทำให้ไอน้ำระเหยออกสู่บรรยากาศ ปริมาณความชื้นทั้ง 2 ชุดการทดลองจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากสภาพอากาศภายนอกมีการเปลี่ยนแปลง (ดูรายละเอียดในตาราง ข-7 และ ข-8, ภาคผนวก ข) จึงต้องรดน้ำเมื่อความชื้นลดลงเพื่อควบคุมความชื้นให้เหมาะสม ซึ่งความถี่และปริมาณน้ำที่เติมในถังทั้งสองแสดงดังตารางที่ 4.3 ในช่วงสัปดาห์ที่ 3 มีความชื้นลดต่ำลงและวัสดุหมักมีลักษณะแห้ง จึงมีการเติมน้ำในปริมาณเท่ากันทั้ง 2 ชุด พบว่าชุดควบคุมมีน้ำชะเกิดขึ้นส่วนชุดทดลองไม่พบน้ำชะซึ่งอาจอธิบายได้ว่าวัสดุหมักในถังทดลองมีอัตราการย่อยสลายที่เร็วกว่าถังควบคุมทำให้วัสดุหมักมีลักษณะยุ่ยและสามารถกักเก็บความชื้นได้ดีกว่า

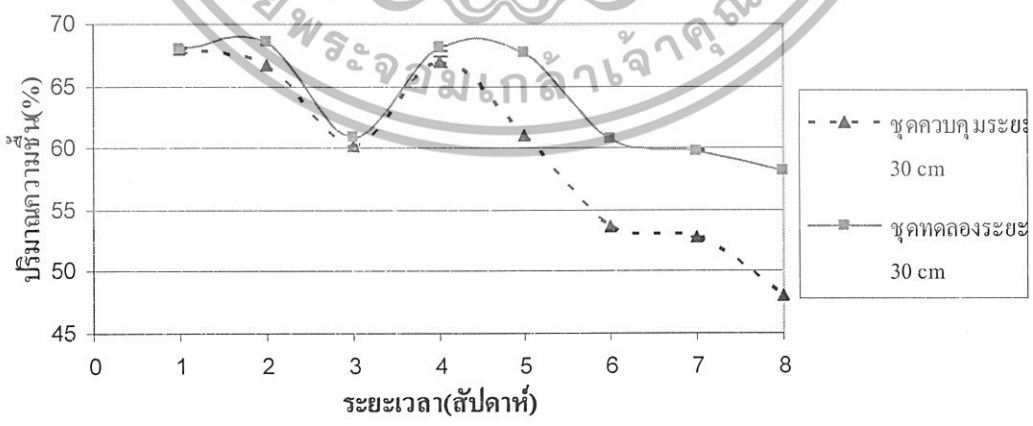
ตารางที่ 4.3 ความถี่และปริมาณน้ำที่เติมในถังทดลองและถังควบคุม

| สัปดาห์ที่ | ปริมาณน้ำที่เติม (มล.) | | ปริมาณน้ำชะ (มล.) | |
|---|---|---|---|---|
| | ถังทดลอง | ถังควบคุม | ถังทดลอง | ถังควบคุม |
| 1 | 500 | 1000 | - | 600 |
| 3 | 500 | 500 | - | - |




(ก)

(ข)

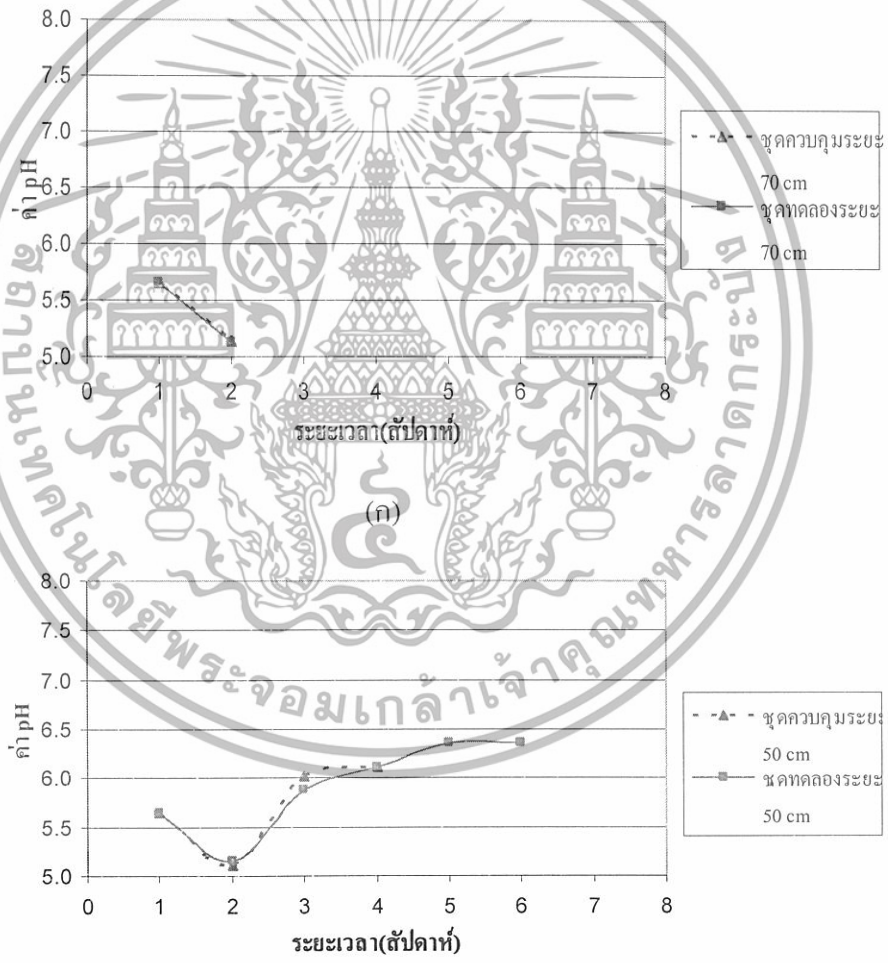



(ค)

รูปที่ 4.3 (ก) ที่ระยะ 70 เซนติเมตร (ข) ที่ระยะ 50 เซนติเมตร (ค) ที่ระยะ 30 เซนติเมตร ปริมาณความชื้นเฉลี่ยภายในถังหมัก

### 4.2.4 ค่าความเป็นกรด – ด่าง

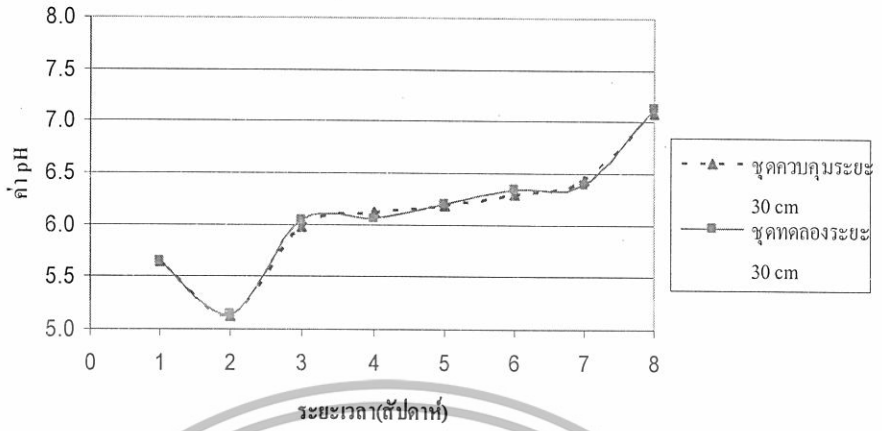
จากรูปที่ 4.4(ก-ค) (ดูรายละเอียดตาราง ข-9, ภาคผนวก ข) พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – ด่าง มีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์แรกทั้ง 2 ชุดการทดลอง เนื่องจากในช่วงแรกของการหมักเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วสารอินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ ดังสมการ 2.1 จากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในเวลาต่อมา จนมีค่า pH 7.0- 8.5 เนื่องจากกรดอินทรีย์จะถูกย่อยสลายไปเป็นก๊าซต่างๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์




(ก)




(ข)

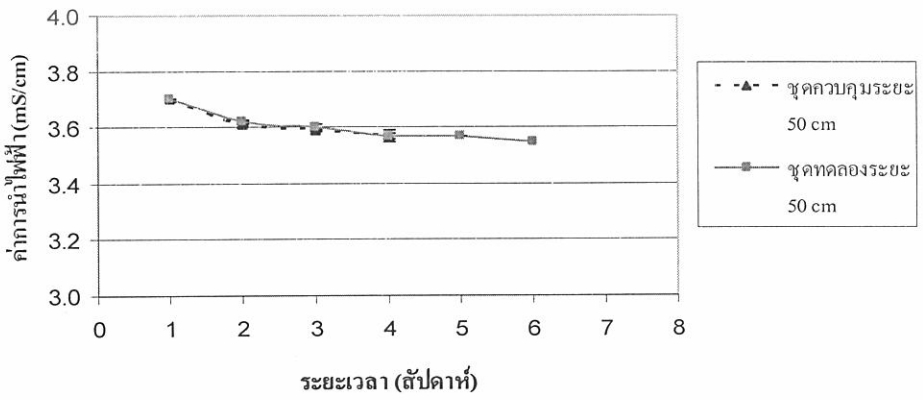



(ค)

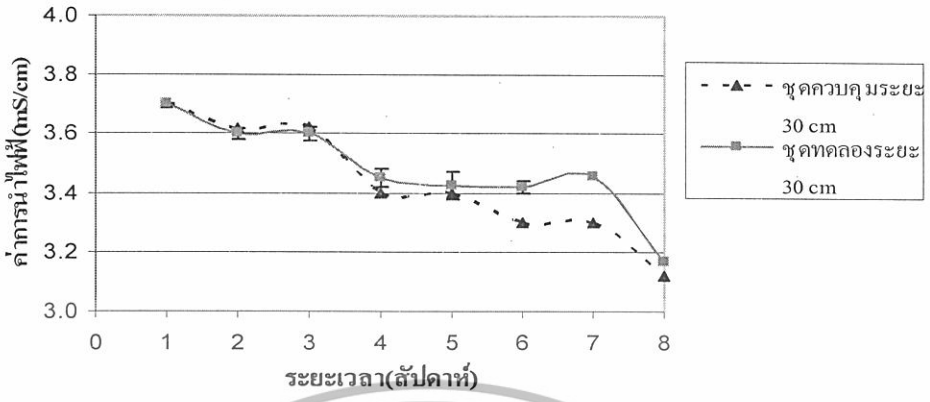
รูปที่ 4.4 (ก) ที่ระยะ 70 เซนติเมตร (ข) ที่ระยะ 50 เซนติเมตร (ค) ที่ระยะ 30 เซนติเมตร ค่าความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยหมัก

### 4.2.5 ค่าการนำไฟฟ้า

(ก)




(ข)



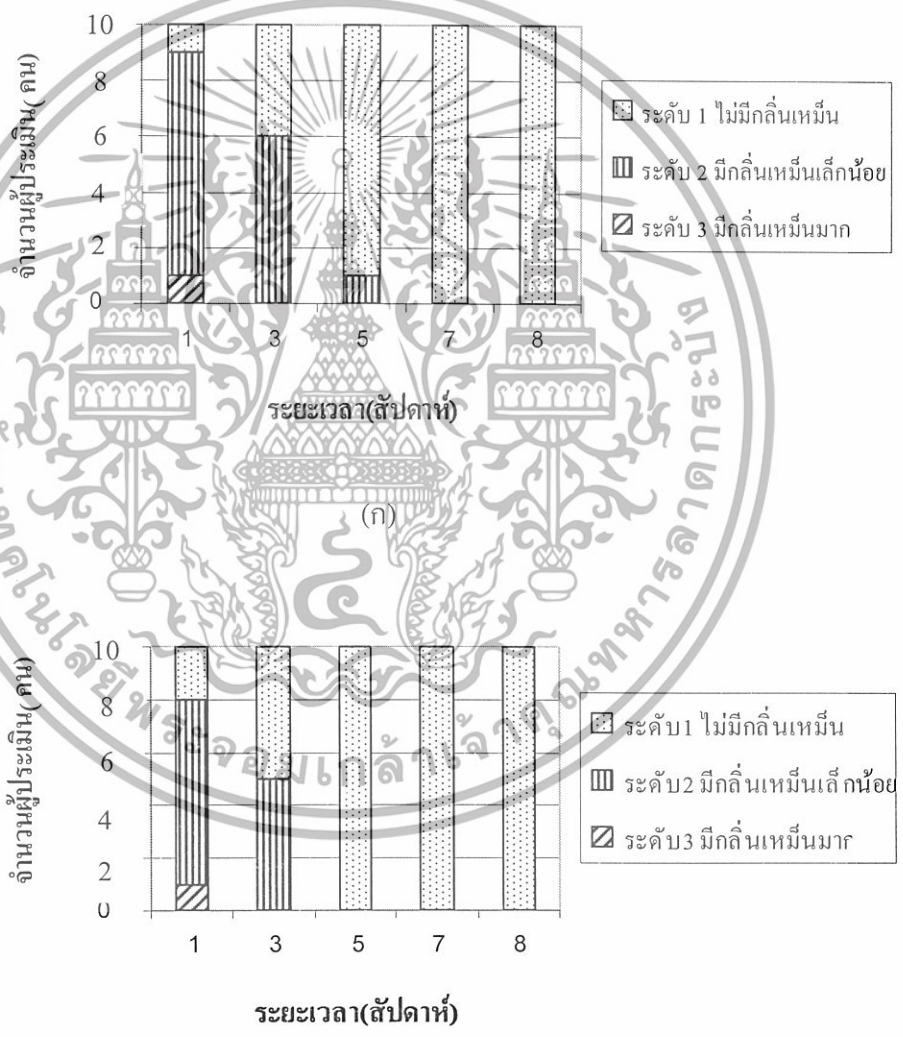

(ค)

รูปที่ 4.5 (ก) ที่ระยะ 70 เซนติเมตร (ข) ที่ระยะ 50 เซนติเมตร (ค) ที่ระยะ 30 เซนติเมตร ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมัก

การวัดค่าความเค็มโดยทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า จากรูป 4.5(ก-ค) (ดูรายละเอียดตาราง ข-10, ภาคผนวก ข) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงต่อเนื่องตลอดการทดลอง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.1-3.7 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งหมายถึงปุ๋ยหมักมีความเค็มเล็กน้อย ไม่เป็นอันตรายต่อพืช ซึ่งค่าความเค็มมาตรฐานของปุ๋ยอยู่ที่ 2-4 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร(กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) และพบว่าการนำไฟฟ้าของทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

### 4.2.6 กลิ่น

ในระยะเริ่มต้นของการหมัก วัสดุหมักจะไม่มีกลิ่นเหม็นฉุน มีเพียงกลิ่นคล้ายกลิ่นหญ้าแห้งกับตะกอนเล็กน้อยในช่วง 2 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นจึงมีลักษณะคล้ายกลิ่นดิน แสดงดังรูปที่ 4.6 (ดูรายละเอียดตาราง ข-11, ภาคผนวก ข) ซึ่งพบว่าชุดทดลองมีกลิ่นเหม็นน้อยกว่าชุดควบคุม เนื่องจากเป็นถังปิดมิดชิดและอาจมีการเติมอากาศได้ดีกว่าทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็นเนื่องจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ




รูปที่ 4.6 (ก) ชุดควบคุม (ข) ชุดทดลอง ระดับกลิ่นในการหมักปุ๋ย

### 4.2.7 อัตราส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

จากการทดลองเริ่มต้น ค่า C/N ratio มีค่าเท่ากับ 33/1 เมื่อครบ 4 สัปดาห์ พบว่า ค่า C/N ratio ของชุดทดลอง มีค่าเท่ากับ 28/1 ส่วนชุดควบคุมมีค่า C/N ratio เท่ากับ 32 /1 เมื่อครบ 8 สัปดาห์ พบว่า ชุดทดลองมีค่า C/N ratio เท่ากับ 12 /1 และชุดควบคุมมีค่า C/N ratio เท่ากับ 18/1 ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายจึงมีปริมาณลดลง และมีการย่อยสลายไนโตรเจนเพื่อนำไปสร้างเซลล์จุลินทรีย์ ได้แอมโมเนียเป็นผลิตภัณฑ์เกิดการออกซิไดซ์ต่อได้ไนเตรททำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น ค่า C/N ratio จึงลดลง ซึ่งจะเห็นว่าค่า C/N ratio จากรูปที่ 4.7 (ดูรายละเอียดตาราง ค-3, ภาคผนวก ค) พบว่า ปุ๋ยหมักในชุดทดลองมีค่า C/N ratio ต่ำกว่าชุดควบคุม แสดงว่า อัตราการย่อยสลายในชุดทดลองเร็วกว่าชุดควบคุม ทำให้ปุ๋ยหมักเสร็จสมบูรณ์ (C/N ratio < 20:1 ) (มุกดา, 2545) ในระยะเวลารวดเร็วกว่า

รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า C/N ratio

## 4.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันกับการหมักโดยวิธีทั่วไป

คุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียที่หมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน และโดยวิธีทั่วไปแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยหมักและประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยจากกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยวิธีชิมนีย์คอนเวคชั่นกับการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป

| ข้อเปรียบเทียบ | วิธีแบบชิมนีย์คอนเวคชัน | วิธีทั่วไป | ค่าที่เหมาะสมจากการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป |
|---|---|---|---|
| 1. ระยะเวลา | 2 เดือน | 2 เดือน | 2-6 เดือน |
| 2. กลิ่นระหว่างการหมัก | มีกลิ่นเล็กน้อย | มีกลิ่นเล็กน้อย | มีกลิ่นเหม็นเน่าและกลิ่นฉุนของก๊าซ (ขึ้นกับวัสดุที่ใช้หมัก) |
| 3. การเติมอากาศ | เติมโดยใช้ท่อเติมอากาศ | เติมโดยการกลับกอง | - |
| 4. ลักษณะทางกายภาพ | ยังคงเห็นส่วนที่เป็นลำต้นของหญ้ามีสีน้ำตาลเข้มในส่วนอื่นๆมีลักษณะยุ่ยและอ่อนนุ่ม | ยังคงเห็นส่วนที่เป็นลำต้นของหญ้ามีสีน้ำตาลเข้มในส่วนอื่นๆมีลักษณะยุ่ยและอ่อนนุ่ม | มีลักษณะอ่อนนุ่ม ยุ่ยและมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ |
| 5. คุณภาพปุ๋ย | | | |
| - C/N ratio | 12 /1 | 18/1 | 0-20/1 |
| - ปริมาณอินทรียวัตถุ(%) | 41.34±1.33 | 46.66±1.44 | 35-40 |
| - ความเป็นกรดเป็นด่าง | 7.13±0.02 | 7.09±0.03 | 7.0-8.0 |
| - ปริมาณความชื้น(%) | 58.20±0.03 | 48.07±0.01 | 50-60 |
| - อัตราส่วน N: P: K (%) | 1:3.0:3.9 | 1:2.2:1.8 | 1:1:0.5 |
| - ปริมาณไนเตรท | 2.06 | 0.52 | - |

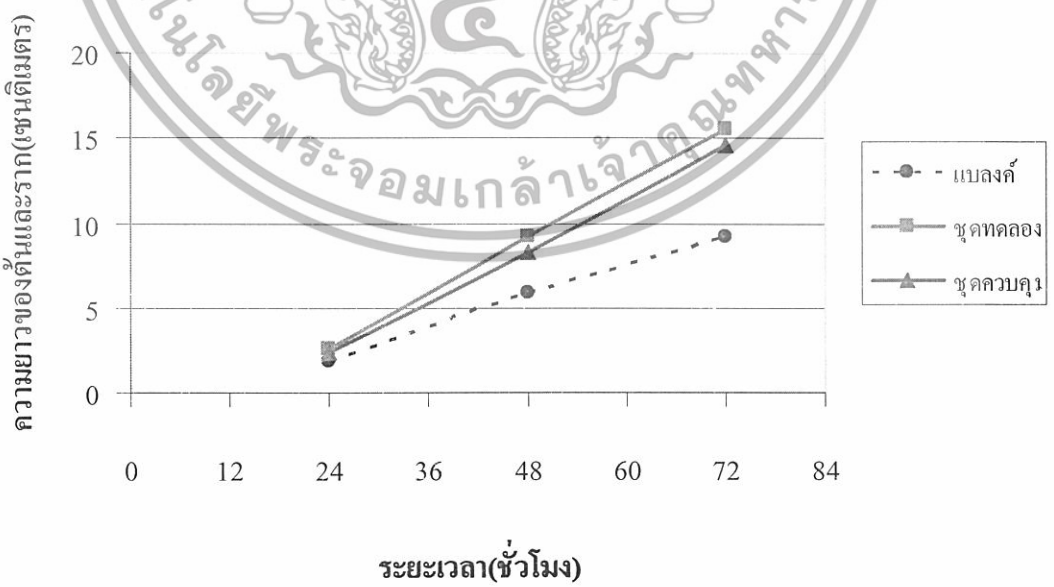
จากตารางพบว่า ปุ๋ยหมักที่หมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันจะมีคุณภาพของปุ๋ยใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักที่หมักโดยวิธีทั่วไป

อย่างไรก็ตาม การหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันจะสะดวกและรวดเร็วกว่า นั่นคือ ไม่ต้องกลับกองปุ๋ยและมีความถี่ในการรดน้ำใส่กองปุ๋ยน้อยกว่าการหมักปุ๋ยโดยวิธีทั่วไป และมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เร็วกว่าทำให้สามารถลดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย

### 4.4 การทดสอบความเป็นพิษด้วยปุ๋ยหมัก

การทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมักทำโดยเพาะเมล็ดถั่วเขียวในปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์เปรียบเทียบกับการเพาะในน้ำกลั่นที่สภาวะเดียวกัน พบว่า ถั่วที่เพาะในปุ๋ยหมักและน้ำกลั่นมีอัตราการเจริญเติบโตมากขึ้นตลอดระยะเวลาการทดสอบ คือ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง โดยเมล็ดถั่วที่เพาะในปุ๋ยหมักมีความยาวของลำต้นที่งอกออกมาใกล้เคียงกับเมล็ดถั่วที่เพาะในน้ำกลั่น แต่ความยาวของรากที่เพาะในปุ๋ยหมักมีความยาวมากกว่ารากของต้นถั่วที่เพาะในน้ำกลั่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองกับชุดควบคุม พบว่า ความยาวของลำต้นทั้งสองชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ความยาวรากของต้นถั่วในปุ๋ยชุดทดลองมีความยาวมากกว่าความยาวรากของต้นถั่วในปุ๋ยชุดควบคุมเล็กน้อย แสดงดังรูปที่ 4.8 (ดูรายละเอียดในตาราง ง-1, ภาคผนวก ง)

จากการทดสอบอธิบายได้ว่าปุ๋ยหมักจากการกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและหญ้าขนไม่มีความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช สามารถใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้




รูปที่ 4.8 ความยาวของลำต้นและรากของต้นถั่วเขียว

# บทที่ 5
# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาสภาวะในการหมักปุ๋ยจากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนร่วมกับหญ้าขน พบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักปุ๋ย คือ 2 เดือน จะได้ปุ๋ยหมักที่ไม่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

วิธีการหมักปุ๋ยโดยการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน และวิธีการหมักปุ๋ยโดยทั่วไปจะมีสภาวะในการหมักใกล้เคียงกัน แต่การหมักโดยวิธีชิมนีย์คอนเวคชันจะใช้เวลาสั้นกว่า และได้คุณภาพของปุ๋ยที่ได้มาตรฐานใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม วิธีชิมนีย์คอนเวคชัน จะมีความสะดวกในการทำงาน คือ ไม่ต้องมีการกลับกองและเติมน้ำบ่อย นอกจากนี้ยังมีกลิ่นเหม็นน้อยกว่า

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรควบคุมความชื้นของกากตะกอนให้มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 50 % โดยการนำไปผึ่งแดดให้แห้งก่อน เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณของตะกอนในการหมัก
2. ควรใช้ท่อเติมอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 8.75 เซนติเมตร (27.5 หุน) เพื่อทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของการเติมอากาศ
3. อาจใช้วัสดุร่วมอื่นแทนหญ้าขน เพื่อเพิ่มค่าคาร์บอน

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# เอกสารอ้างอิง


กรมพัฒนาที่ดิน.2540.**การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ**.กรุงเทพฯ

กรมพัฒนาที่ดิน.2547.**คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า** เล่มที่ 2.พิมพ์ครั้งที่ 2.กรุงเทพฯ : ดับบลิว เจ พร้อพเพอตี้

จิตรลดา ดำรงสุกิจ.2543.**การหมักตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสะหลัง**.ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต.คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร.2546.**การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมสำหรับชุมชนด้วยระบบกองเติมอากาศ**.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต.คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร.มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร.2548.**การผลิตปุ๋ยหมักระบบกองเติมอากาศในประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต.คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร.มหาวิทยาลัยแม่โจ้

นันทพร วิเศษสมบัติ.2545.**การใช้ประโยชน์กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ RBC เป็นวัสดุร่วมในการทำปุ๋ยหมัก**.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต.คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวิทย์ สุรนีรนาถ. 2546.**พฤกษศาสตร์และวัชพืช**.กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.กรุงเทพฯ

มุกดา สุขสวัสดิ์.2545.**ปุ๋ยอินทรีย์**.กรุงเทพฯ:บ้านและสวน

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ.2542.**การจัดการกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อนำศักยภาพความเป็นปุ๋ยมาใช้ประโยชน์**.ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต.คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Barrington S. and Choiniere D.2002.Compost Convective airflow under passive aeration.**Bioresource Technology Journal**.Volume 86.Issue 3. Pages 259-266.Department of Agricultural and Biosystems Engineering.Macdonald Campus of McGill University.Canada.

Mathur S. and Patni N.2003.Static pile, passive aeration composting of manure slurries using peat as a bulking agent.**Biologycal Wastes Journal**.Volume 4. Page 323-333.Canada.

Zezama Alberto.and Aguayo Pablo.2006.**Investigations on mechanical biological treatment of waste in South America:Towards more sustainable MSW management strategics**.University of Leoben.Austria.

Gea Teresa.and Ferrer Pau.2006.Co – composting of sewage sludge fats mixtures and characteristics of the lipases involved.**Biologycal Engineering Journal**. Volume 33.Issue 3.Page 275-283.University Autonoma de Barcelona.Spain.

Wikipedia.2006.**Articles lacking sources: nitrifying bacteria**. the free encyclopedia.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# ภาคผนวก ค
# การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอน ต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

**การคำนวณค่า C/N ratio เริ่มต้นของกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและหญ้าขน**

จากมาตรฐานปุ๋ยหมักกำหนดให้มีค่า C/N ratio เริ่มต้นของการหมักเท่ากับ 25:1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) คำนวณหาอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนร่วมกับหญ้าขน

สัดส่วนการหมักคือ กากตะกอน : หญ้าขน

ตะกอนมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเท่ากับ 16.96% มีเปอร์เซนต์ไนโตรเจนเท่ากับ 2.2% และมีค่า %ความชื้นเท่ากับ 71.42 % ดังนั้น มีค่าของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 28.58%

หญ้าขนมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนเท่ากับ 52.91% และมีเปอร์เซนต์ไนโตรเจนเท่ากับ 1.22% และมีค่า %ความชื้นเท่ากับ 54.92% ดังนั้น มีค่าของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 45.08%

$$\text{C/N ratio} = \frac{(\text{C ในตะกอนแห้ง})(\text{TSตะกอน}) + \text{C ในหญ้าแห้ง}\ X\ \text{kg}\ (\text{TSหญ้า})}{(\text{N ในตะกอนแห้ง})(\text{TSตะกอน}) + \text{N ในหญ้าแห้ง}\ X\ \text{kg}\ (\text{TSหญ้า})}$$

$$\frac{25}{1} = \frac{(16.96)(28.58)(1) + (52.91)(45.08)(X)}{(2.2)(28.58)(1) + (1.22)(45.08)(X)}$$

$$25 = \frac{484.72 + 2{,}385.18X}{62.88 + 55X}$$

$$1{,}572 + 1{,}375X = 484.72 + 2{,}385.18X$$

$$1{,}087.3 = 1{,}010.2X$$

$$X = 1.08$$

ดังนั้น สัดส่วนการหมักของกากตะกอนร่วมกับหญ้าขน(กากตะกอน:หญ้าขน) คือ 1:1 โดยน้ำหนักแห้งและเท่ากับ 3.5:2 โดยน้ำหนักเปียก

# ภาคผนวก ข

# การศึกษาสภาวะในการหมักปุ๋ย

## ข-1 ผลการวัดการยุบตัวตลอดระยะของการผลิตปุ๋ยหมักของชุดทดลองและชุดควบคุม

ตารางที่ ข-1 การศึกษาการยุบตัวตลอดระยะของการผลิตปุ๋ยหมักของชุดทดลอง

| ว/ด/ป | ถังที่ 1 ชุดทดลอง | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระยะการยุบตัวแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร) | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ระดับของปุ๋ยแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร) | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 20/11/49 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 13.5 | 12.0 | 1.00 | 51.5 | 51.5 | 51.5 | 49.5 | 51.0 | 1.00 |
| 22/11/49 | 19.0 | 19.0 | 19.0 | 24.0 | 20.3 | 2.50 | 44.0 | 44.0 | 44.0 | 39.0 | 42.8 | 2.50 |
| 24/11/49 | 22.0 | 23.0 | 22.0 | 26.0 | 23.3 | 1.89 | 41.0 | 40.0 | 41.0 | 37.0 | 39.8 | 1.89 |
| 26/11/49 | 24.0 | 25.0 | 24.0 | 26.0 | 24.8 | 0.96 | 39.0 | 38.0 | 39.0 | 37.0 | 38.3 | 0.96 |
| 28/11/49* | 26.0 | 26.0 | 25.0 | 27.0 | 26.0 | 0.82 | 37.0 | 37.0 | 38.0 | 36.0 | 37.0 | 0.82 |
| 30/11/49 | 26.9 | 29.0 | 27.0 | 27.0 | 27.5 | 1.02 | 36.1 | 34.0 | 36.0 | 36.0 | 35.5 | 1.02 |
| 02/12/49 | 27.8 | 29.5 | 29.0 | 27.5 | 28.5 | 0.95 | 35.2 | 33.5 | 34.0 | 35.5 | 34.6 | 0.95 |
| 04/12/49 | 28.5 | 29.6 | 30.0 | 28.0 | 29.0 | 0.93 | 34.5 | 33.4 | 33.0 | 35.0 | 34.0 | 0.93 |
| 06/12/49* | 29.0 | 30.0 | 30.6 | 29.3 | 29.7 | 0.72 | 34.0 | 33.0 | 32.4 | 33.7 | 33.3 | 0.72 |
| 08/12/49 | 29.0 | 30.2 | 30.7 | 30.2 | 30.0 | 0.72 | 34.0 | 32.8 | 32.3 | 32.8 | 33.0 | 0.72 |
| 10/12/49 | 29.5 | 30.7 | 31.0 | 31.1 | 30.6 | 0.74 | 33.5 | 32.3 | 32.0 | 31.9 | 32.4 | 0.74 |
| 12/12/49 | 29.7 | 31.0 | 31.2 | 31.5 | 30.9 | 0.79 | 33.3 | 32.0 | 31.8 | 31.5 | 32.2 | 0.79 |
| 14/12/49* | 30.0 | 31.5 | 31.7 | 32.2 | 31.4 | 0.95 | 33.0 | 31.5 | 31.3 | 30.8 | 31.7 | 0.95 |

หมายเหตุ ; * คือ วันที่ทำการกลับปุ๋ย ต้องวัดระยะการยุบตัวก่อนกลับปุ๋ย

ตารางที่ ข-1 การศึกษาการยุบตัวตลอดระยะของการผลิตปุ๋ยหมักของชุดทดลอง(ต่อ)

| ว/ด/ป | ถังที่ 1 ชุดทดลอง | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระยะการยุบตัวแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร) | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ระดับของปุ๋ยแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร) | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 16/12/49 | 30.5 | 31.8 | 32.0 | 32.0 | 31.6 | 0.72 | 32.5 | 31.2 | 31.0 | 31.0 | 31.4 | 0.72 |
| 18/12/49 | 31.0 | 32.0 | 32.3 | 32.6 | 32.0 | 0.69 | 32.0 | 31.0 | 30.7 | 30.4 | 31.0 | 0.69 |
| 20/12/49 | 32.0 | 32.0 | 32.5 | 33.1 | 32.4 | 0.52 | 31.0 | 31.0 | 30.5 | 29.9 | 30.6 | 0.52 |
| 22/12/49* | 32.5 | 32.5 | 33.0 | 33.0 | 32.8 | 0.29 | 30.5 | 30.5 | 30.0 | 30.0 | 30.3 | 0.29 |
| 24/12/49 | 33.0 | 33.0 | 33.5 | 33.5 | 33.3 | 0.29 | 30.0 | 30.0 | 29.5 | 29.5 | 29.8 | 0.29 |
| 26/12/49 | 35.0 | 34.0 | 34.5 | 34.6 | 34.5 | 0.41 | 28.0 | 29.0 | 28.5 | 28.4 | 28.5 | 0.41 |
| 28/12/49 | 38.0 | 37.0 | 37.0 | 36.0 | 37.0 | 0.82 | 25.0 | 26.0 | 26.0 | 27.0 | 26.0 | 0.82 |
| 30/12/49* | 40.0 | 39.5 | 41.0 | 39.0 | 39.9 | 0.85 | 23.0 | 23.5 | 22.0 | 24.0 | 23.1 | 0.85 |
| 01/01/50 | 41.0 | 42.0 | 43.0 | 42.0 | 42.0 | 0.82 | 22.0 | 21.0 | 20.0 | 21.0 | 21.0 | 0.82 |
| 03/01/50 | 42.1 | 42.0 | 43.5 | 42.6 | 42.6 | 0.69 | 20.9 | 21.0 | 19.5 | 20.4 | 20.5 | 0.69 |
| 05/01/50 | 42.0 | 43.0 | 44.0 | 44.0 | 43.3 | 0.96 | 21.0 | 20.0 | 19.0 | 19.0 | 19.8 | 0.96 |
| 07/01/50* | 42.5 | 44.0 | 45.0 | 45.0 | 44.1 | 1.18 | 20.5 | 19.0 | 18.0 | 18.0 | 18.9 | 1.18 |
| 09/01/50 | 43.0 | 44.0 | 46.0 | 45.0 | 44.5 | 1.29 | 20.0 | 19.0 | 17.0 | 18.0 | 18.5 | 1.29 |
| 11/01/50 | 43.7 | 47.0 | 47.5 | 45.3 | 45.9 | 1.73 | 19.3 | 16.0 | 15.5 | 17.7 | 17.1 | 1.73 |

ตารางที่ ข-1 การศึกษาการยุบตัวตลอดระยะของการผลิตปุ๋ยหมักของชุดทดลอง(ต่อ)

| ว/ด/ป | ถังที่ 1 ชุดทดลอง | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระยะการยุบตัวแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร) | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ระดับของปุ๋ยแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร) | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 13/01/50 | 44.5 | 47.0 | 48.0 | 46.0 | 46.4 | 1.49 | 18.5 | 16.0 | 15.0 | 17.0 | 16.6 | 1.49 |
| 15/01/50* | 45.0 | 47.5 | 48.1 | 45.7 | 46.6 | 1.46 | 18.0 | 15.5 | 14.9 | 17.3 | 16.4 | 1.46 |
| 17/01/50 | 46.0 | 47.0 | 48.1 | 46.0 | 46.8 | 1.00 | 17.0 | 16.0 | 14.9 | 17.0 | 16.2 | 1.00 |
| 19/01/50 | 46.0 | 47.0 | 48.2 | 46.0 | 46.8 | 1.05 | 17.0 | 16.0 | 14.8 | 17.0 | 16.2 | 1.05 |

หมายเหตุ ; * คือ วันที่ทำการกลับปุ๋ย ต้องวัดระยะการยุบตัวก่อนกลับปุ๋ย

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-2 การศึกษาการยุบตัวตลอดระยะของการผลิตปุ๋ยหมักของชุดควบคุม

| ว/ด/ป | ถังที่ 2 ชุดควบคุม | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระยะการยุบตัวแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร) | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ระดับของปุ๋ยแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร) | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 20/11/49 | 15.0 | 14.3 | 14.0 | 14.5 | 14.5 | 0.42 | 54.0 | 54.7 | 55.0 | 54.5 | 54.6 | 0.42 |
| 22/11/49 | 19.3 | 17.0 | 19.0 | 15.0 | 17.6 | 2.00 | 49.7 | 52.0 | 50.0 | 54.0 | 51.4 | 2.00 |
| 24/11/49 | 21.7 | 18.0 | 18.5 | 18.0 | 19.1 | 1.78 | 47.3 | 51.0 | 50.5 | 51.0 | 50.0 | 1.78 |
| 26/11/49 | 23.0 | 19.5 | 18.0 | 18.9 | 19.9 | 2.19 | 46.0 | 49.5 | 51.0 | 50.1 | 49.2 | 2.19 |
| 28/11/49* | 25.0 | 21.0 | 21.0 | 22.5 | 22.4 | 1.89 | 44.0 | 48.0 | 48.0 | 46.5 | 46.6 | 1.89 |
| 30/11/49 | 29.0 | 23.0 | 24.0 | 26.0 | 25.5 | 2.65 | 40.0 | 46.0 | 45.0 | 43.0 | 43.5 | 2.65 |
| 02/12/49 | 30.7 | 27.0 | 28.2 | 28.0 | 28.5 | 1.57 | 38.3 | 42.0 | 40.8 | 41.0 | 40.5 | 1.57 |
| 04/12/49 | 31.9 | 28.7 | 29.0 | 28.0 | 29.4 | 1.72 | 37.1 | 40.3 | 40.0 | 41.0 | 39.6 | 1.72 |
| 06/12/49* | 33.0 | 30.5 | 30.0 | 31.0 | 31.1 | 1.31 | 36.0 | 38.5 | 39.0 | 38.0 | 37.9 | 1.31 |
| 08/12/49 | 32.0 | 30.1 | 31.0 | 32.7 | 31.5 | 1.14 | 37.0 | 38.9 | 38.0 | 36.3 | 37.6 | 1.14 |
| 10/12/49 | 35.0 | 33.0 | 32.0 | 35.0 | 33.8 | 1.50 | 34.0 | 36.0 | 37.0 | 34.0 | 35.3 | 1.50 |
| 12/12/49 | 36.0 | 35.3 | 32.1 | 36.3 | 34.9 | 1.93 | 33.0 | 33.7 | 36.9 | 32.7 | 34.1 | 1.93 |
| 14/12/49* | 38.5 | 37.0 | 35.0 | 36.0 | 36.6 | 1.49 | 30.5 | 32.0 | 34.0 | 33.0 | 32.4 | 1.49 |
| 16/12/49 | 40.0 | 39.0 | 38.0 | 37.9 | 38.7 | 0.98 | 29.0 | 30.0 | 31.0 | 31.1 | 30.3 | 0.98 |

หมายเหตุ ; * คือ วันที่ทำการกลับปุ๋ย ต้องวัดระยะการยุบตัวก่อนกลับปุ๋ย

ตารางที่ ข-2 การศึกษาการยุบตัวตลอดระยะของการผลิตปุ๋ยหมักของชุดควบคุม(ต่อ)

| ว/ด/ป | ถังที่ 2 ชุดควบคุม | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระยะการยุบตัวแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร) | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ระดับของปุ๋ยแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร) | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 18/12/49 | 42.0 | 40.3 | 41.0 | 40.0 | 40.8 | 0.89 | 27.0 | 28.7 | 28.0 | 29.0 | 28.2 | 0.89 |
| 20/12/49 | 42.0 | 41.0 | 42.0 | 41.0 | 41.5 | 0.58 | 27.0 | 28.0 | 27.0 | 28.0 | 27.5 | 0.58 |
| 22/12/49* | 41.6 | 42.5 | 40.0 | 42.0 | 41.5 | 1.08 | 27.4 | 26.5 | 29.0 | 27.0 | 27.5 | 1.08 |
| 24/12/49 | 42.0 | 41.3 | 42.0 | 41.0 | 41.6 | 0.51 | 27.0 | 27.7 | 27.0 | 28.0 | 27.4 | 0.51 |
| 26/12/49 | 42.0 | 43.0 | 43.0 | 42.0 | 42.5 | 0.58 | 27.0 | 26.0 | 26.0 | 27.0 | 26.5 | 0.58 |
| 28/12/49 | 42.5 | 43.7 | 43.0 | 44.0 | 43.3 | 0.68 | 26.5 | 25.3 | 26.0 | 25.0 | 25.7 | 0.68 |
| 30/12/49* | 44.0 | 44.0 | 43.0 | 42.0 | 43.3 | 0.96 | 25.0 | 25.0 | 26.0 | 27.0 | 25.8 | 0.96 |
| 01/01/50 | 44 | 44.4 | 43.3 | 43 | 43.7 | 0.64 | 25.0 | 24.6 | 25.7 | 26.0 | 25.3 | 0.64 |
| 03/01/50 | 44.2 | 44.5 | 43.5 | 44 | 44.1 | 0.42 | 24.8 | 24.5 | 25.5 | 25.0 | 25.0 | 0.42 |
| 05/01/50 | 44.0 | 45.0 | 44.0 | 44.5 | 44.4 | 0.48 | 25.0 | 24.0 | 25.0 | 24.5 | 24.6 | 0.48 |
| 07/01/50* | 43.0 | 44.3 | 44.0 | 45.0 | 44.1 | 0.83 | 26.0 | 24.7 | 25.0 | 24.0 | 24.9 | 0.83 |
| 09/01/50 | 43.0 | 45.0 | 45.0 | 45.0 | 44.5 | 1.00 | 26.0 | 24.0 | 24.0 | 24.0 | 24.5 | 1.00 |
| 11/01/50 | 43.0 | 44.0 | 45.0 | 45.0 | 44.3 | 0.96 | 26.0 | 25.0 | 24.0 | 24.0 | 24.8 | 0.96 |
| 13/01/50 | 43.2 | 45.0 | 46.0 | 44.0 | 44.6 | 1.22 | 25.8 | 24.0 | 23.0 | 25.0 | 24.5 | 1.22 |
| 15/01/50* | 43.1 | 45.0 | 47.0 | 45.0 | 45.0 | 1.59 | 25.9 | 24.0 | 22.0 | 24.0 | 24.0 | 1.59 |
| 17/01/50 | 43.0 | 46.0 | 47.0 | 45.0 | 45.3 | 1.71 | 26.0 | 23.0 | 22.0 | 24.0 | 23.8 | 1.71 |
| 19/01/50 | 43.0 | 46.0 | 47.0 | 45.0 | 45.3 | 1.71 | 26.0 | 23.0 | 22.0 | 24.0 | 23.8 | 1.71 |

ข-2 ผลการเก็บอุณหภูมิของชุดควบคุมและชุดทดลองที่ระยะ 30, 50 และ70 เซนติเมตรของถังหมัก ตลอดระยะเวลา 2 เดือน

ตารางที่ ข-3 อุณหภูมิของชุดควบคุมและชุดทดลองที่ระยะ 30 เซนติเมตรของถังหมัก

| ว/ด/ป | ชุดควบคุมระยะ 30 cm | | | | | ชุดทดลองระยะ 30 cm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 20/11/49 | 30 | 30 | 31 | 30.33 | 0.58 | 31 | 30 | 30 | 30.33 | 0.58 |
| 21/11/49 | 41 | 41 | 40 | 40.67 | 0.58 | 34 | 35 | 35 | 34.67 | 0.58 |
| 22/11/49 | 43 | 44 | 43 | 43.33 | 0.58 | 37 | 36 | 36 | 36.33 | 0.58 |
| 23/11/49 | 42 | 43 | 43 | 42.67 | 0.58 | 38 | 38 | 39 | 38.33 | 0.58 |
| 24/11/49 | 45 | 45 | 46 | 45.33 | 0.58 | 43 | 41 | 41 | 41.67 | 1.15 |
| 25/11/49 | 47 | 48 | 48 | 47.67 | 0.58 | 40 | 41 | 41 | 40.67 | 0.58 |
| 26/11/49 | 46 | 46 | 46 | 46.00 | 0.00 | 41 | 40 | 40 | 40.33 | 0.58 |
| 27/11/49 | 44 | 45 | 45 | 44.67 | 0.58 | 39 | 38 | 38 | 38.33 | 0.58 |
| 28/11/49 | 44 | 44 | 44 | 44.00 | 0.00 | 39 | 39 | 39 | 39.00 | 0.00 |
| 29/11/49 | 44 | 44 | 43 | 43.67 | 0.58 | 39 | 40 | 39 | 39.33 | 0.58 |
| 30/11/49 | 40 | 40 | 41 | 40.33 | 0.58 | 37 | 36 | 36 | 36.33 | 0.58 |
| 1/12/49 | 40 | 39 | 39 | 39.33 | 0.58 | 36 | 37 | 36 | 36.33 | 0.58 |
| 2/12/49 | 40 | 40 | 40 | 40.00 | 0.00 | 36 | 36 | 36 | 36.00 | 0.00 |
| 3/12/49 | 39 | 39 | 39 | 39.00 | 0.00 | 37 | 36 | 36 | 36.33 | 0.58 |
| 4/12/49 | 36 | 38 | 37 | 37.00 | 1.00 | 36 | 36 | 36 | 36.00 | 0.00 |
| 5/12/49 | 35 | 35 | 34 | 34.67 | 0.58 | 37 | 37 | 36 | 36.67 | 0.58 |
| 6/12/49 | 33 | 33 | 33 | 33.00 | 0.00 | 37 | 36 | 36 | 36.33 | 0.58 |
| 7/12/49 | 34 | 34 | 33 | 33.67 | 0.58 | 37 | 37 | 36 | 36.67 | 0.58 |
| 8/12/49 | 36 | 36 | 37 | 36.33 | 0.58 | 38 | 38 | 38 | 38.00 | 0.00 |
| 9/12/49 | 38 | 38 | 39 | 38.33 | 0.58 | 38 | 37 | 38 | 37.67 | 0.58 |
| 10/12/49 | 34 | 34 | 34 | 34.00 | 0.00 | 36 | 36 | 36 | 36.00 | 0.00 |
| 11/12/49 | 33 | 32 | 32 | 32.33 | 0.58 | 35 | 34 | 34 | 34.33 | 0.58 |
| 12/12/49 | 35 | 35 | 34 | 34.67 | 0.58 | 35 | 35 | 35 | 35.00 | 0.00 |
| 13/12/49 | 34 | 34 | 34 | 34.00 | 0.00 | 36 | 35 | 35 | 35.33 | 0.58 |
| 14/12/49 | 32 | 33 | 33 | 32.67 | 0.58 | 33 | 34 | 34 | 33.67 | 0.58 |
| 15/12/49 | 31 | 32 | 31 | 31.33 | 0.58 | 35 | 35 | 35 | 35.00 | 0.00 |
| 16/12/49 | 31 | 30 | 30 | 30.33 | 0.58 | 33 | 32 | 32 | 32.33 | 0.58 |
| 17/12/49 | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 | 32 | 32 | 32 | 32.00 | 0.00 |
| 18/12/49 | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 | 33 | 33 | 32 | 32.67 | 0.58 |

ตารางที่ ข-3 อุณหภูมิของชุดควบคุมและชุดทดลองที่ระยะ 30 เซนติเมตรของถังหมัก(ต่อ)

| ว/ด/ป | ชุดควบคุมระยะ 30 cm | | | | | ชุดทดลองระยะ 30 cm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 19/12/49 | 30 | 30 | 29 | 29.67 | 0.58 | 31 | 31 | 30 | 30.67 | 0.58 |
| 20/12/49 | 29 | 29 | 29 | 29.00 | 0.00 | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 |
| 21/12/49 | 29 | 30 | 30 | 29.67 | 0.58 | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 |
| 22/12/49 | 29 | 28 | 28 | 28.33 | 0.58 | 30 | 31 | 30 | 30.33 | 0.58 |
| 23/12/49 | 29 | 28 | 28 | 28.33 | 0.58 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 |
| 24/12/49 | 27 | 28 | 28 | 27.67 | 0.58 | 28 | 28 | 27 | 27.67 | 0.58 |
| 25/12/49 | 27 | 28 | 28 | 27.67 | 0.58 | 28 | 28 | 28 | 28.00 | 0.00 |
| 26/12/49 | 28 | 28 | 29 | 28.33 | 0.58 | 31 | 30 | 31 | 30.67 | 0.58 |
| 27/12/49 | 29 | 29 | 29 | 29.00 | 0.00 | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 |
| 28/12/49 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 | 30 | 29 | 30 | 29.67 | 0.58 |
| 29/12/49 | 29 | 29 | 30 | 29.33 | 0.58 | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 |
| 30/12/49 | 31 | 30 | 30 | 30.33 | 0.58 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 |
| 31/12/49 | 29 | 30 | 30 | 29.67 | 0.58 | 29 | 29 | 30 | 29.33 | 0.58 |
| 1/1/50 | 29 | 29 | 28 | 28.67 | 0.58 | 29 | 30 | 30 | 29.67 | 0.58 |
| 2/1/50 | 29 | 29 | 28 | 28.67 | 0.58 | 29 | 28 | 28 | 28.33 | 0.58 |
| 3/1/50 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 | 29 | 28 | 28 | 28.33 | 0.58 |
| 4/1/50 | 30 | 29 | 28 | 29.00 | 1.00 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 |
| 5/1/50 | 30 | 30 | 29 | 29.67 | 0.58 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 |
| 6/1/50 | 29 | 30 | 31 | 30.00 | 1.00 | 29 | 29 | 28 | 28.67 | 0.58 |
| 7/1/50 | 30 | 30 | 31 | 30.33 | 0.58 | 30 | 29 | 28 | 29.00 | 1.00 |
| 8/1/50 | 30 | 29 | 30 | 29.67 | 0.58 | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 |
| 9/1/50 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 | 30 | 31 | 31 | 30.67 | 0.58 |
| 10/1/50 | 31 | 31 | 30 | 30.67 | 0.58 | 29 | 30 | 30 | 29.67 | 0.58 |
| 11/1/50 | 30 | 29 | 30 | 29.67 | 0.58 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 |
| 12/1/50 | 29 | 29 | 30 | 29.33 | 0.58 | 31 | 30 | 30 | 30.33 | 0.58 |
| 13/1/50 | 31 | 30 | 30 | 30.33 | 0.58 | 30 | 30 | 29 | 29.67 | 0.58 |
| 14/1/50 | 30 | 31 | 31 | 30.67 | 0.58 | 29 | 28 | 28 | 28.33 | 0.58 |
| 15/1/50 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 | 29 | 29 | 29 | 29.00 | 0.00 |
| 16/1/50 | 31 | 29 | 29 | 29.67 | 1.15 | 30 | 30 | 29 | 29.67 | 0.58 |
| 17/1/50 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 |
| 18/1/50 | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 | 29 | 30 | 30 | 29.67 | 0.58 |
| 19/1/50 | 29 | 30 | 29 | 29.33 | 0.58 | 31 | 29 | 29 | 29.67 | 1.15 |
| 20/1/50 | 30 | 29 | 30 | 29.67 | 0.58 | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 |

ตารางที่ ข-4 อุณหภูมิของชุดควบคุมและชุดทดลองที่ระยะ 50 เซนติเมตรของถังหมัก

| ว/ด/ป | ชุดควบคุมระยะ 50 cm | | | | | ชุดทดลองระยะ 50 cm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 20/11/49 | 30 | 30 | 31 | 30.33 | 0.58 | 31 | 30 | 30 | 30.33 | 0.58 |
| 21/11/49 | 42 | 41 | 41 | 41.33 | 0.58 | 36 | 36 | 36 | 36.00 | 0.00 |
| 22/11/49 | 42 | 42 | 42 | 42.00 | 0.00 | 40 | 39 | 39 | 39.33 | 0.58 |
| 23/11/49 | 43 | 43 | 42 | 42.67 | 0.58 | 43 | 43 | 42 | 42.67 | 0.58 |
| 24/11/49 | 45 | 45 | 45 | 45.00 | 0.00 | 45 | 45 | 45 | 45.00 | 0.00 |
| 25/11/49 | 47 | 46 | 46 | 46.33 | 0.58 | 47 | 47 | 46 | 46.67 | 0.58 |
| 26/11/49 | 46 | 45 | 45 | 45.33 | 0.58 | 45 | 44 | 43 | 44.00 | 1.00 |
| 27/11/49 | 43 | 43 | 42 | 42.67 | 0.58 | 40 | 39 | 39 | 39.33 | 0.58 |
| 28/11/49 | 42 | 41 | 41 | 41.33 | 0.58 | 39 | 39 | 39 | 39.00 | 0.00 |
| 29/11/49 | 37 | 37 | 36 | 36.67 | 0.58 | 39 | 39 | 39 | 39.00 | 0.00 |
| 30/11/49 | 40 | 40 | 39 | 39.67 | 0.58 | 38 | 37 | 37 | 37.33 | 0.58 |
| 1/12/49 | 39 | 39 | 39 | 39.00 | 0.00 | 36 | 36 | 35 | 35.67 | 0.58 |
| 2/12/49 | 39 | 39 | 39 | 39.00 | 0.00 | 36 | 36 | 36 | 36.00 | 0.00 |
| 3/12/49 | 37 | 37 | 37 | 37.00 | 0.00 | 35 | 35 | 35 | 35.00 | 0.00 |
| 4/12/49 | 34 | 34 | 33 | 33.67 | 0.58 | 36 | 35 | 35 | 35.33 | 0.58 |
| 5/12/49 | 32 | 32 | 32 | 32.00 | 0.00 | 35 | 35 | 35 | 35.00 | 0.00 |
| 6/12/49 | 32 | 32 | 31 | 31.67 | 0.58 | 36 | 35 | 35 | 35.33 | 0.58 |
| 7/12/49 | 31 | 31 | 31 | 31.00 | 0.00 | 35 | 35 | 36 | 35.33 | 0.58 |
| 8/12/49 | 31 | 31 | 31 | 31.00 | 0.00 | 35 | 34 | 34 | 34.33 | 0.58 |
| 9/12/49 | 32 | 31 | 31 | 31.33 | 0.58 | 35 | 34 | 34 | 34.33 | 0.58 |
| 10/12/49 | 31 | 30 | 30 | 30.33 | 0.58 | 36 | 36 | 35 | 35.67 | 0.58 |
| 11/12/49 | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 | 35 | 35 | 34 | 34.67 | 0.58 |
| 12/12/49 | 30 | 29 | 30 | 29.67 | 0.58 | 35 | 35 | 35 | 35.00 | 0.00 |
| 13/12/49 | 29 | 30 | 30 | 29.67 | 0.58 | 36 | 36 | 35 | 35.67 | 0.58 |
| 14/12/49 | - | - | - | - | - | 35 | 34 | 34 | 34.33 | 0.58 |
| 15/12/49 | - | - | - | - | - | 35 | 35 | 35 | 35.00 | 0.00 |
| 16/12/49 | - | - | - | - | - | 34 | 32 | 32 | 32.67 | 1.15 |

ตารางที่ ข-4 อุณหภูมิของชุดควบคุมและชุดทดลองที่ระยะ 50 เซนติเมตรของถังหมัก (ต่อ)

| ว/ด/ป | ชุดควบคุมระยะ 50 cm | | | | | ชุดทดลองระยะ 50 cm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | SD | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | SD |
| 17/12/49 | - | - | - | - | - | 32 | 32 | 32 | 32.00 | 0.00 |
| 18/12/49 | - | - | - | - | - | 34 | 33 | 33 | 33.33 | 0.58 |
| 19/12/49 | - | - | - | - | - | 31 | 30 | 30 | 30.33 | 0.58 |
| 20/12/49 | - | - | - | - | - | 31 | 31 | 31 | 31.00 | 0.00 |
| 21/12/49 | - | - | - | - | - | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 |
| 22/12/49 | - | - | - | - | - | 30 | 30 | 30 | 30.00 | 0.00 |
| 23/12/49 | - | - | - | - | - | 30 | 29 | 29 | 29.33 | 0.58 |
| 24/12/49 | - | - | - | - | - | 29 | 29 | 28 | 28.67 | 0.58 |

หมายเหตุ ; - หมายถึง ไม่มีการเก็บตัวอย่างเนื่องจากระดับความสูงของปุ๋ยลดลง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ ข-5 อุณหภูมิของชุดควบคุมและชุดทดลองที่ระยะ 70 เซนติเมตรของถังหมัก

| ว/ด/ป | ชุดควบคุมระยะ 70 cm | | | | | ชุดทดลองระยะ 70 cm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 20/11/49 | 30 | 30 | 31 | 30.33 | 0.58 | 31 | 30 | 30 | 30.33 | 0.58 |
| 21/11/49 | 41 | 41 | 41 | 41.00 | 0.00 | 40 | 41 | 41 | 40.67 | 0.58 |
| 22/11/49 | 41 | 40 | 40 | 40.33 | 0.58 | 40 | 40 | 41 | 40.33 | 0.58 |
| 23/11/49 | 38 | 39 | 39 | 38.67 | 0.58 | 40 | 40 | 40 | 40.00 | 0.00 |
| 24/11/49 | 38 | 37 | 37 | 37.33 | 0.58 | 40 | 39 | 39 | 39.33 | 0.58 |
| 25/11/49 | 35 | 34 | 34 | 34.33 | 0.58 | 36 | 36 | 35 | 35.67 | 0.58 |
| 26/11/49 | 32 | 31 | 31 | 31.33 | 0.58 | 33 | 32 | 32 | 32.33 | 0.58 |

หมายเหตุ : ไม่สามารถวัดอุณหภูมิในชั้นนี้หลังจากวันที่ 26/11/49 ได้ เนื่องจากการยุบตัวของปุ๋ย

ตารางที่ ข-6 อุณหภูมิของบรรยากาศระหว่างวันที่ 20 พ.ย. 49 – 20 ม.ค. 50

| วันที่ | อุณหภูมิ (°C) | วันที่ | อุณหภูมิ (°C) | วันที่ | อุณหภูมิ (°C) |
|---|---|---|---|---|---|
| 20/11/49 | 30.0 | 11/12/49 | 29.7 | 2/1/50 | 27.8 |
| 21/11/49 | 28.1 | 12/12/49 | 29.4 | 3/1/50 | 27.1 |
| 22/11/49 | 29.1 | 13/12/49 | 29.3 | 4/1/50 | 27.4 |
| 23/11/49 | 30.3 | 14/12/49 | 28.3 | 5/1/50 | 27.8 |
| 24/11/49 | 29.8 | 15/12/49 | 27.6 | 6/1/50 | 28.4 |
| 25/11/49 | 29.6 | 16/12/49 | 26.4 | 7/1/50 | 26.0 |
| 26/11/49 | 29.9 | 17/12/49 | 25.0 | 8/1/50 | 25.7 |
| 27/11/49 | 30.3 | 18/12/49 | 24.0 | 9/1/50 | 25.5 |
| 28/11/49 | 30.0 | 19/12/49 | 23.3 | 10/1/50 | 27.0 |
| 29/11/49 | 30.8 | 20/12/49 | 24.2 | 11/1/50 | 27.6 |
| 30/11/49 | 30.9 | 21/12/49 | 23.5 | 12/1/50 | 26.6 |
| 1/12/49 | 30.5 | 22/12/49 | 21.7 | 13/1/50 | 27.1 |
| 2/12/49 | 30.4 | 23/12/49 | 22.0 | 14/1/50 | 27.9 |
| 3/12/49 | 29.5 | 24/12/49 | 22.6 | 15/1/50 | 27.4 |
| 4/12/49 | 29.1 | 25/12/49 | 23.5 | 16/1/50 | 28.4 |
| 5/12/49 | 28.4 | 26/12/49 | 25.2 | 17/1/50 | 28.7 |
| 6/12/49 | 28.7 | 27/12/49 | 25.9 | 18/1/50 | 29.3 |
| 7/12/49 | 29.1 | 28/12/49 | 25.5 | 19/1/50 | 29.6 |
| 8/12/49 | 30.8 | 29/12/49 | 24.5 | 20/1/50 | 29.6 |
| 9/12/49 | 29.7 | 30/12/49 | 25.3 | | |
| 10/12/49 | 29.3 | 31/12/49 | 25.4 | | |

ข-3 ผลการเก็บตัวอย่างจากชุดควบคุมและชุดทดลองที่ระยะ 30, 50 และ 70 เซนติเมตรของถังหมัก เพื่อทำการวิเคราะห์ความชื้นตลอดระยะเวลา 2 เดือน

ตารางที่ ข-7 ผลการวิเคราะห์ความชื้นของชุดควบคุมที่ระยะ 30, 50 และ 70 เซนติเมตรของถังหมัก

| สัปดาห์ | ชุดควบคุมระยะ 30 cm | | | | | ชุดควบคุมระยะ 50 cm | | | | | ชุดควบคุมระยะ 70 cm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 67.1005 | 68.115 | 68.6044 | 67.94 | 0.77 | 67.1005 | 68.1151 | 68.6044 | 67.94 | 0.77 | 67.1005 | 68.1151 | 68.6044 | 67.94 | 0.77 |
| 2 | 66.8623 | 66.0557 | 66.9514 | 66.62 | 0.49 | 62.5219 | 62.3408 | 62.3753 | 62.41 | 0.10 | 60.3183 | 60.0495 | 60.1418 | 60.17 | 0.14 |
| 3 | 60.1322 | 60.1499 | 60.1319 | 60.14 | 0.01 | 59.3950 | 59.1735 | 59.2069 | 59.26 | 0.12 | - | - | - | - | - |
| 4 | 66.9936 | 66.9459 | 66.9512 | 66.96 | 0.03 | 64.4290 | 64.2993 | 64.3409 | 64.36 | 0.07 | - | - | - | - | - |
| 5 | 61.1050 | 61.1056 | 61.1228 | 61.11 | 0.01 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 6 | 53.9948 | 54.0101 | 53.0951 | 53.70 | 0.52 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7 | 52.8064 | 52.7977 | 52.7951 | 52.80 | 0.01 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8 | 48.0391 | 48.1064 | 48.0773 | 48.07 | 0.03 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

หมายเหตุ ; - หมายถึง ไม่มีการเก็บตัวอย่างเนื่องจากการยุบตัวของปุ๋ย

ตารางที่ ข-8 ผลการวิเคราะห์ความชื้นของชุดทดลองที่ระยะ 30, 50 และ70 เซนติเมตรของถังหมัก

| สัปดาห์ | ชุดทดลองระยะ 30 cm | | | | | ชุดทดลองระยะ 50 cm | | | | | ชุดทดลองระยะ 70 cm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 67.1005 | 68.1151 | 68.6044 | 67.94 | 0.77 | 67.1005 | 68.1151 | 68.6044 | 67.94 | 0.77 | 67.1005 | 68.1151 | 68.6044 | 67.94 | 0.77 |
| 2 | 68.5667 | 68.2873 | 68.7999 | 68.55 | 0.26 | 69.2972 | 69.2983 | 69.3184 | 69.30 | 0.01 | 66.6680 | 67.3156 | 66.6333 | 66.87 | 0.38 |
| 3 | 60.9743 | 60.9976 | 60.8669 | 60.95 | 0.07 | 65.0875 | 64.9156 | 64.9493 | 64.98 | 0.09 | - | - | - | - | - |
| 4 | 68.0820 | 68.0484 | 68.0470 | 68.06 | 0.02 | 67.4055 | 67.6051 | 67.5970 | 67.54 | 0.11 | - | - | - | - | - |
| 5 | 67.5883 | 67.5689 | 67.7837 | 67.65 | 0.12 | 62.1089 | 62.1180 | 62.0715 | 62.10 | 0.02 | - | - | - | - | - |
| 6 | 60.7046 | 60.8946 | 60.6774 | 60.76 | 0.12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7 | 59.7745 | 59.7945 | 59.7517 | 59.77 | 0.02 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8 | 58.1892 | 58.2141 | 58.1980 | 58.20 | 0.01 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

หมายเหตุ ; - หมายถึง ไม่มีการเก็บตัวอย่างเนื่องจากการยุบตัวของปุ๋ย

ตารางที่ ข-9 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักที่ระดับต่าง ๆ ของชุดทดลองและชุดควบคุม

| สัปดาห์ | ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ชุดทดลอง | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระยะ 70 cm | | | | | ระยะ 50 cm | | | | | ระยะ 30cm | | | | |
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 5.64 | 5.65 | 5.67 | 5.65 | 0.02 | 5.64 | 5.65 | 5.67 | 5.65 | 0.02 | 5.64 | 5.65 | 5.67 | 5.65 | 0.02 |
| 2 | 5.12 | 5.14 | 5.14 | 5.13 | 0.01 | 5.16 | 5.14 | 5.14 | 5.15 | 0.01 | 5.12 | 5.15 | 5.15 | 5.14 | 0.02 |
| 3 | - | - | - | - | - | 5.99 | 5.98 | 5.98 | 5.98 | 0.01 | 6.01 | 5.99 | 6.01 | 6.00 | 0.01 |
| 4 | - | - | - | - | - | 6.08 | 6.15 | 6.12 | 6.12 | 0.04 | 6.05 | 6.07 | 6.07 | 6.06 | 0.01 |
| 5 | - | - | - | - | - | 6.35 | 6.37 | 6.37 | 6.36 | 0.01 | 6.19 | 6.19 | 6.21 | 6.20 | 0.01 |
| 6 | - | - | - | - | - | 6.37 | 6.38 | 6.34 | 6.36 | 0.02 | 6.34 | 6.35 | 6.35 | 6.35 | 0.01 |
| 7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6.38 | 6.39 | 6.39 | 6.39 | 0.01 |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7.12 | 7.14 | 7.14 | 7.13 | 0.01 |
| สัปดาห์ | ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ชุดควบคุม | | | | | | | | | | | | | | |
| | ระยะ 70 cm | | | | | ระยะ 50 cm | | | | | ระยะ 30 cm | | | | |
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 5.64 | 5.65 | 5.67 | 5.65 | 0.02 | 5.64 | 5.65 | 5.67 | 5.65 | 0.02 | 5.64 | 5.65 | 5.67 | 5.65 | 0.02 |
| 2 | 5.08 | 5.17 | 5.16 | 5.14 | 0.05 | 5.09 | 5.11 | 5.12 | 5.11 | 0.02 | 5.14 | 5.11 | 5.13 | 5.13 | 0.02 |
| 3 | - | - | - | - | - | 6.01 | 6.01 | 6.03 | 6.02 | 0.01 | 5.89 | 6.01 | 6.03 | 5.98 | 0.08 |
| 4 | - | - | - | - | - | 6.14 | 6.1 | 6.11 | 6.12 | 0.02 | 6.11 | 6.12 | 6.14 | 6.12 | 0.02 |
| 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6.18 | 6.17 | 6.18 | 6.18 | 0.01 |
| 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6.3 | 6.28 | 6.31 | 6.3 | 0.02 |
| 7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6.42 | 6.4 | 6.45 | 6.42 | 0.03 |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7.08 | 7.08 | 7.11 | 7.09 | 0.02 |

หมายเหตุ ; - หมายถึง ไม่มีการเก็บตัวอย่างเนื่องจากระดับความสูงของปุ๋ยลดลง

## ข – 4 การศึกษาสภาวะระหว่างการผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์ คอนเวคชัน

ตารางที่ ข-10 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักที่ระดับต่าง ๆ ของชุดทดลองและชุดควบคุม

| สัปดาห์ | ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm) ชุดทดลอง | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระยะ 70 cm | | | | | ระยะ 50 cm | | | | | ระยะ 30 cm | | | | |
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 0 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 0.00 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 0.00 |
| 2 | 3.67 | 3.66 | 3.68 | 3.67 | 0.01 | 3.62 | 3.62 | 3.63 | 3.623 | 0.01 | 3.58 | 3.61 | 3.61 | 3.60 | 0.02 |
| 3 | - | - | - | - | - | 3.59 | 3.61 | 3.61 | 3.6 | 0.01 | 3.41 | 3.41 | 3.45 | 3.42 | 0.02 |
| 4 | - | - | - | - | - | 3.55 | 3.57 | 3.59 | 3.57 | 0.02 | 3.42 | 3.48 | 3.47 | 3.46 | 0.03 |
| 6 | - | - | - | - | - | 3.55 | 3.55 | 3.55 | 3.55 | 0 | 3.12 | 3.21 | 3.14 | 3.16 | 0.05 |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3.15 | 3.19 | 3.18 | 3.17 | 0.02 |

| สัปดาห์ | ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm) ชุดควบคุม | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระยะ 70 cm | | | | | ระยะ 50 cm | | | | | ระยะ 30 cm | | | | |
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| 1 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 0 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 0.00 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 0.00 |
| 2 | 3.68 | 3.69 | 3.7 | 3.69 | 0.01 | 3.6 | 3.62 | 3.62 | 3.61 | 0.01 | 3.62 | 3.62 | 3.63 | 3.623 | 0.01 |
| 3 | - | - | - | - | - | 3.58 | 3.59 | 3.59 | 3.59 | 0.01 | 3.39 | 3.41 | 3.4 | 3.4 | 0.01 |
| 4 | - | - | - | - | - | 3.56 | 3.58 | 3.57 | 3.57 | 0.01 | 3.28 | 3.31 | 3.31 | 3.3 | 0.02 |
| 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3.18 | 3.15 | 3.15 | 3.16 | 0.02 |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3.1 | 3.15 | 3.12 | 3.12 | 0.03 |

หมายเหตุ ; - หมายถึง ไม่มีการเก็บตัวอย่างเนื่องจากการยุบตัวของปุ๋ย

ตารางที่ ข-11 การประเมินกลิ่นของปุ๋ยหมัก

| สัปดาห์ | จำนวนผู้ประเมิน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ชุดควบคุม | | | ชุดทดลอง | | |
| | ระดับ 3 | ระดับ 2 | ระดับ 1 | ระดับ 3 | ระดับ 2 | ระดับ 1 |
| 1 | 1 | 8 | 1 | 1 | 7 | 2 |
| 3 | 0 | 6 | 4 | 0 | 5 | 5 |
| 5 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 10 |
| 7 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 |
| 8 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 |

หมายเหตุ: ระดับ 3 หมายถึง มีกลิ่นฉุน เหม็นมาก
ระดับ 2 หมายถึง มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย
ระดับ 1 หมายถึง ไม่มีกลิ่นเหม็น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# ภาคผนวก ค

# ตัวอย่างและผลการคำนวณ

**ค -1 การคำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอน** (กรมพัฒนาที่ดิน , 2547)

$$\% \text{ OC} = \frac{(N_1V_1\ K_2Cr_2O_7 - N_2V_2\ Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O)\ (0.003)(100)(f)}{\text{Dry sample(g)}}$$

$N_1$ = นอร์มอลของสารละลายโพแทสซียมไดโครเมต

$V_1$ = ml ของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

$N_2$ = นอร์มอลของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

$V_2$ = ml ของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

f = correction factor เท่ากับ 1.3

Dry sample = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนวัสดุหมักเริ่มต้น

$$\% \text{ OC} = \frac{[(1*25) - (0.515*29)](0.003)(100)(1.3)}{0.1058} = 39.10\ \%$$

จากตัวอย่างการคำนวณดังกล่าวนำไปคำนวณกับตัวอย่างทั้งหมด ผลแสดงดังตารางที่ ค-1

ตารางที่ ค-1 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

| ระยะเวลา | ตัวอย่าง | %OC | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
|---|---|---|---|---|
| เริ่มต้น | ผสมเริ่มต้นครั้งที่ 1 | 39.07 | 37.98 | 1.35 |
| | ผสมเริ่มต้นครั้งที่ 2 | 38.39 | | |
| | ผสมเริ่มต้นครั้งที่ 3 | 36.47 | | |
| 1 เดือน | ชุดควบคุมครั้งที่ 1 | 36.11 | 36.76 | 0.87 |
| | ชุดควบคุมครั้งที่ 2 | 37.75 | | |
| | ชุดควบคุมครั้งที่ 3 | 36.41 | | |
| | ชุดทดลอง(50)ครั้งที่ 1 | 38.32 | 38.17 | 0.12 |
| | ชุดทดลอง(50)ครั้งที่ 2 | 38.08 | | |
| | ชุดทดลอง(50)ครั้งที่ 3 | 38.11 | | |
| | ชุดทดลอง(30)ครั้งที่ 1 | 33.50 | 32.94 | 0.53 |
| | ชุดทดลอง(30)ครั้งที่ 2 | 32.87 | | |
| | ชุดทดลอง(30)ครั้งที่ 3 | 32.44 | | |
| 2 เดือน | ชุดควบคุม(30)ครั้งที่ 1 | 27.96 | 27.06 | 0.83 |
| | ชุดควบคุม(30)ครั้งที่ 2 | 26.93 | | |
| | ชุดควบคุม(30)ครั้งที่ 3 | 26.30 | | |
| | ชุดทดลอง(30)ครั้งที่ 1 | 24.01 | 23.98 | 0.77 |
| | ชุดทดลอง(30)ครั้งที่ 2 | 24.73 | | |
| | ชุดทดลอง(30)ครั้งที่ 3 | 23.19 | | |

หมายเหตุ : ที่เวลา 1 เดือน ไม่สามารถเก็บตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะ 70 เซนติเมตรทั้งในชุดควบรคุมและชุดทดลอง และระยะ 50 เซนติเมตรชุดควบคุม ได้เนื่องจากการยุบตัวของปุ๋ย

**ค-2 การคำนวณปริมาณไนโตรเจน** (กรมพัฒนาที่ดิน , 2547)

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

a = mL ของกรดที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

b = mL ของกรดที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์

c = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ (molar)

g = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (g)

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณไนโตรเจนวัสดุหมักเริ่มต้น

$$\%N = \frac{(0.3-0.2)0.097*1.401}{0.0118}$$

$$= 1.15$$

จากตัวอย่างการคำนวณดังกล่าวนำไปคำนวณกับตัวอย่างทั้งหมด ผลแสดงดังตารางที่ ค-2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ ค-2 ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ย

| ระยะเวลา | ชุดควบคุม | | | | ชุดทดลอง | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ตย. | %N | ค่าเฉลี่ย | S.D. | ตย. | %N | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
| เริ่มต้น | 1 | 1.15 | 1.14 | 0.03 | 1 | 1.15 | 1.14 | 0.03 |
| | 2 | 1.17 | | | 2 | 1.17 | | |
| | 3 | 1.10 | | | 3 | 1.10 | | |
| 1 เดือน | ระยะ 30 cm ครั้งที่ 1 | 1.15 | 1.14 | 0.01 | ระยะ 30 cm ครั้งที่ 1 | 1.19 | 1.18 | 0.008 |
| | ระยะ 30 cm ครั้งที่ 2 | 1.14 | | | ระยะ 30 cm ครั้งที่ 2 | 1.175 | | |
| | ระยะ 30 cm ครั้งที่ 3 | 1.13 | | | ระยะ 30 cm ครั้งที่ 3 | 1.175 | | |
| | - | - | - | - | ระยะ 50 cm ครั้งที่ 1 | 1.26 | 1.23 | 0.02 |
| | - | - | | | ระยะ 50 cm ครั้งที่ 2 | 1.22 | | |
| | - | - | | | ระยะ 50 cm ครั้งที่ 3 | 1.21 | | |
| 2 เดือน | ระยะ 50 cm ครั้งที่ 1 | 1.6 | 1.52 | 0.11 | ระยะ 50 cm ครั้งที่ 3 | 1.87 | 1.93 | 0.06 |
| | ระยะ 50 cm ครั้งที่ 2 | 1.44 | | | ระยะ 50 cm ครั้งที่ 2 | 1.92 | | |
| | ระยะ 50 cm ครั้งที่ 3 | - | | | ระยะ 50 cm ครั้งที่ 3 | 2.00 | | |

หมายเหตุ: ที่เวลา 1 เดือนไม่สามารถเก็บตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะ 70 เซนติเมตร ทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง และระยะ 50 เซนติเมตรชุดควบคุมได้เนื่องจากการยุบตัวของปุ๋ย

ตาราง ค-3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ย

| เดือน | C/N ratio | |
|---|---|---|
| | ชุดควบคุม | ชุดทดลอง |
| 0 | 32.7/1 | 32.7/1 |
| 1 | 32.24/1 | 27.9/1 |
| 2 | 17.8/1 | 12.4/1 |

หมายเหตุ: ใช้ปริมาณคาร์บอนและปริมาณไนโตรเจนที่ระยะ 30 เซนติเมตรเนื่องจากระยะ 50 และ 70 เซนติเมตรไม่สามารถเก็บตัวอย่างเมื่อครบ 2 เดือนได้เนื่องจากการยุบตัวของปุ๋ย

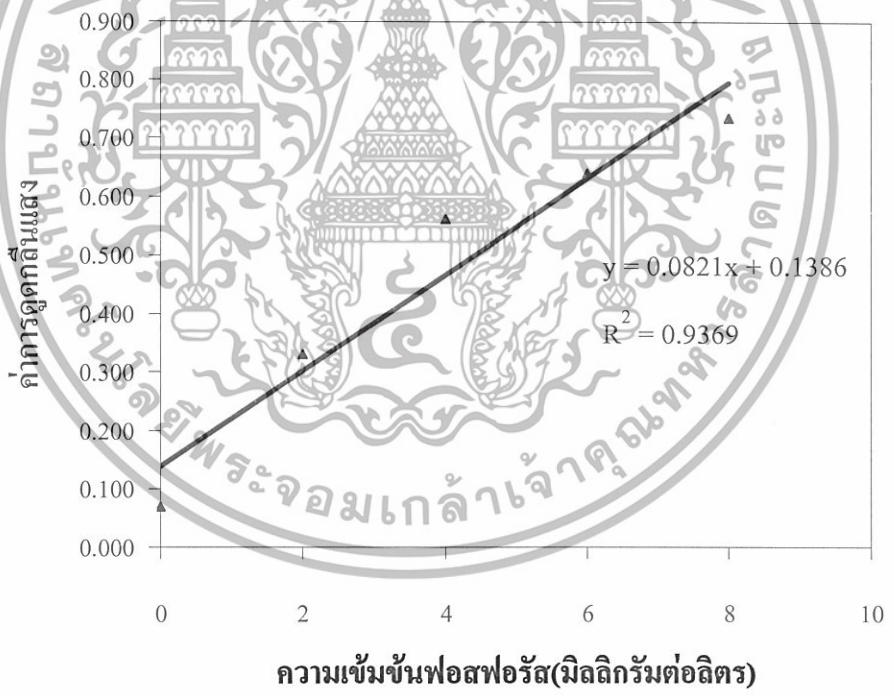
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ค – 3 การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัส**

**กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร**

ตารางที่ ค-4 ข้อมูลกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส ( วันที่ 20/11/49)

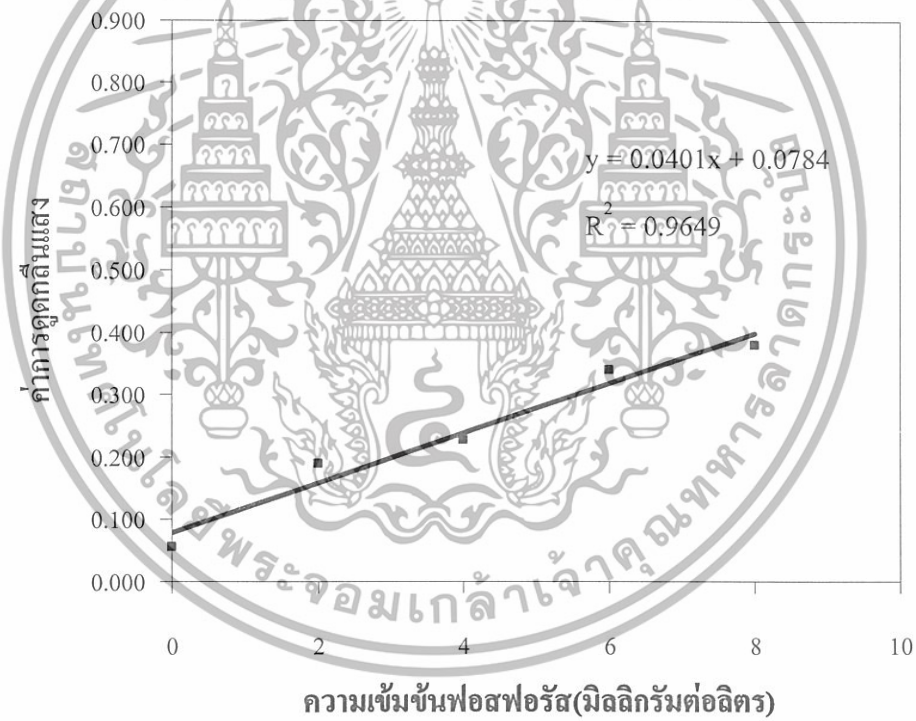
| ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าการดูดกลืนแสง (420 nm) |
|---|---|
| 0 | 0.069 |
| 2 | 0.330 |
| 4 | 0.561 |
| 6 | 0.639 |
| 8 | 0.735 |




รูปที่ ค-1 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

ตารางที่ ค-5 ข้อมูลกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส (วันที่ 20/01/50)

| ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าการดูดกลืนแสง (420 nm) |
|---|---|
| 0 | 0.056 |
| 2 | 0.189 |
| 4 | 0.227 |
| 6 | 0.340 |
| 8 | 0.381 |




รูปที่ ค-2 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

**ผลการคำนวณปริมาณฟอสฟอรัส**

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

r = มิลลิกรัมต่อลิตรอ่านจากเครื่องต้องหักลบด้วยแบลงค์

d.f = 25/5

S = น้ำหนักตัวอย่างที่นำไปย่อย (กรัม) ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

หมายเหตุ ; ถ้าต้องวิเคราะห์รูป $P_2O_5$ ใช้ factor 2.2914 คูณค่า P ที่ได้

$$\%P_2O_5 = \%P \times 2.2914$$

**ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเริ่มต้น วันที่ 20/11/49**

สมการเส้นตรง กราฟมาตรฐาน $y = 0.0821x + 0.1386$

x = ความเข้มข้นฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)

y = ค่าการดูดกลืนแสง

$$\text{ความเข้มข้นฟอสฟอรัส} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} - 0.1386}{0.0821}$$

ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.074

ความเข้มข้นฟอสฟอรัสเท่ากับ (0.074 - 0.1386) / 0.0821 = - 0.787 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำหนักตัวอย่างวัสดุหมักผสม 0.1014 กรัม

ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.177

ความเข้มข้นฟอสฟอรัสเท่ากับ - 0.468 มิลลิกรัมต่อลิตร

$r = 0.468 - 0.787 = -0.319$ มิลลิกรัมต่อลิตร $= 0.319$ มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\%P = \frac{0.319 \times 100 \times 5}{0.1014 \times 10^{6}} \times 100 = 0.16$$

$$\% P_2O_5 = 0.16 \times 2.2914 = 0.37$$

จากตัวอย่างการคำนวณข้างต้น นำไปคำนวณกับตัวอย่างทั้งหมด คือ ตัวอย่างที่ 2 และ 3

**ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการหมัก วันที่ 20/01/50**

สมการเส้นตรง กราฟมาตรฐาน $y = 0.0401x + 0.0784$

x = ความเข้มข้นฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)

y = ค่าการดูดกลืนแสง

$$\text{ความเข้มข้นฟอสฟอรัส} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} - 0.0784}{0.0401}$$

**ตัวอย่างการคำนวณ**

ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.031

ความเข้มข้นฟอสฟอรัสเท่ากับ (0.031- 0.0784) / 0.0401 = -1.182 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำหนักตัวอย่างปุ๋ย 0.1018 กรัม

ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.151

ความเข้มข้นฟอสฟอรัสเท่ากับ 1.810 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$r = 1.810 - 1.182 = 0.628 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}$$

$$\%P = \frac{0.628 \times 100 \times 5}{0.1018 \times 10^{6}} \times 100 = 0.31$$

$$\% P_2O_5 = 0.31 \times 2.2914 = 0.71$$

จากตัวอย่างการคำนวณข้างต้น นำไปคำนวณกับตัวอย่างทั้งหมด คือ ชุดทดลองและชุดควบคุม ทำให้ได้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ตาราง ค – 6 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของวัสดุหมักและปุ๋ยชุดควบคุมและชุดทดลอง

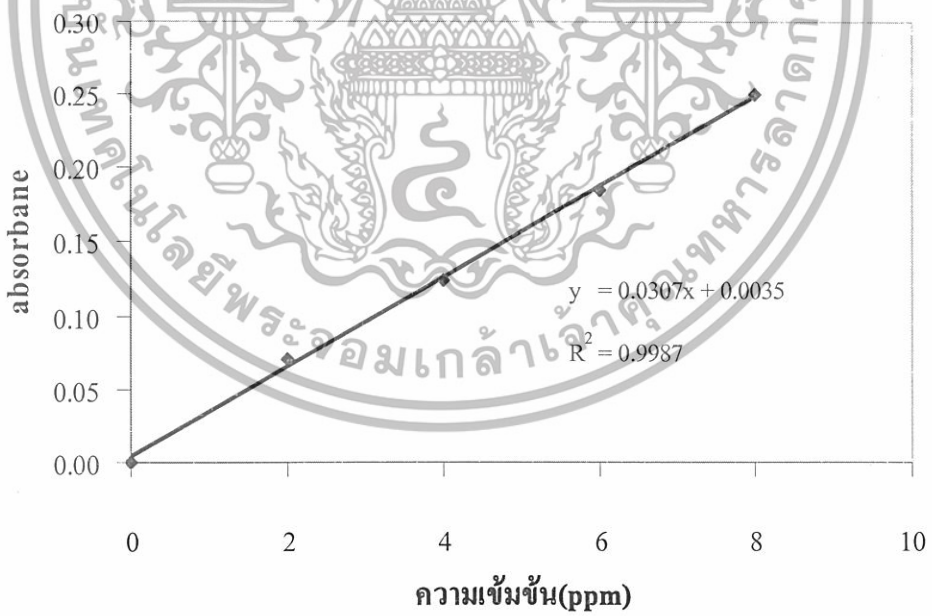
| ระยะเวลา | ตัวอย่างปุ๋ย | ปริมาณฟอสฟอรัส รูป $P_2O_5$ |
|---|---|---|
| เริ่มต้น | ครั้งที่ 1 | 1.42 |
| | ครั้งที่ 2 | 1.35 |
| | ครั้งที่ 3 | 1.63 |
| 2 เดือน | ชุดทดลอง ครั้งที่ 1 | 5.98 |
| | ชุดทดลอง ครั้งที่ 2 | 7.26 |
| | ชุดทดลอง ครั้งที่ 3 | 5.68 |
| | ชุดควบคุม ครั้งที่ 1 | 0.71 |
| | ชุดควบคุม ครั้งที่ 2 | 4.08 |
| | ชุดควบคุม ครั้งที่ 3 | 2.61 |

**ค – 4 การคำนวณปริมาณโพแทสเซียม**

**กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร**

ตารางที่ ค-7 ข้อมูลกราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

| ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าการดูดกลืนแสง |
|---|---|
| 0 | 0.0004 |
| 2 | 0.0707 |
| 4 | 0.1251 |
| 6 | 0.1858 |
| 8 | 0.2500 |




รูปที่ ค-3 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

**ผลการคำนวณปริมาณโพแทสเซียม**

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

r = มิลลิกรัมต่อลิตรอ่านจากเครื่อง

d.f = dilution factor

S = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

**ตัวอย่างการคำนวณ**

ปริมาณโพแทสเซียมของวัสดุหมักเริ่มต้น

น้ำหนักตัวอย่างปุ๋ย 1.004 กรัม

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

$$= \frac{5.29*100*100*100}{10^6*1.004}$$

$$= 3.38$$

จากตัวอย่างการคำนวณข้างต้น นำไปคำนวณกับตัวอย่างทั้งหมด คือ ชุดทดลองและชุดควบคุม

ตาราง ค – 8 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของวัสดุหมักและปุ๋ยชุดควบคุมและชุดทดลอง

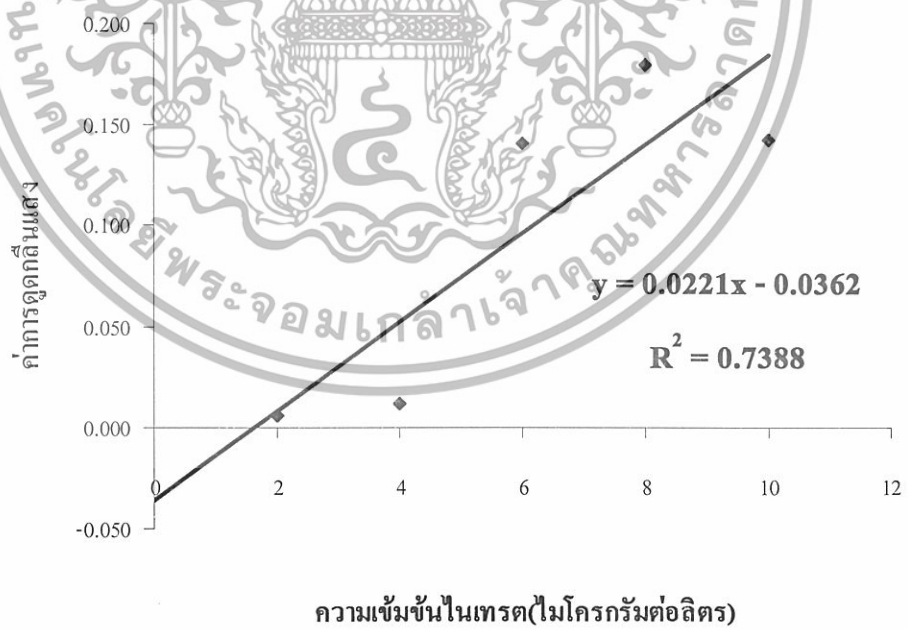
| ระยะเวลา | ปริมาณโพแทสเซียม(%) | |
|---|---|---|
| | ชุดควบคุม | ชุดทดลอง |
| เริ่มต้น | 3.38 | 3.38 |
| 2 เดือน | 2.77 | 7.71 |

## ค – 5 การคำนวณปริมาณไนเตรท

### กราฟมาตรฐานไนเทรตที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

ตารางที่ ค-9 ข้อมูลกราฟมาตรฐานไนเตรท

| ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลิตร) | ค่าการดูดกลืนแสง (410nm) | ค่าการดูดกลืนแสง (410 nm ค่าแก้ไข) |
|---|---|---|
| 2 | 0.086 | 0.006 |
| 4 | 0.092 | 0.012 |
| 6 | 0.221 | 0.141 |
| 8 | 0.260 | 0.180 |
| 10 | 0.223 | 0.143 |




รูปที่ ค-4 กราฟมาตรฐานไนเตรท

**ผลการคำนวณปริมาณไนเตรท**

$$\%NO_3^- = \frac{r \times 100 \times d.f}{10^6 S} \times 100$$

r = มิลลิกรัมต่อลิตรอ่านจากเครื่อง

d.f = dilution factor

S = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

**ตัวอย่างการคำนวณ**

ปริมาณไนเตรทของวัสดุหมักเริ่มต้น

น้ำหนักตัวอย่างปุ๋ย 1.008 กรัม

$$\%NO_3^- = \frac{r \times 100 \times d.f}{10^6 S} \times 100$$

$$= \frac{0.096*100*100*100}{10^6*1.008}$$

$$= 0.48$$

จากตัวอย่างการคำนวณข้างต้น นำไปคำนวณกับตัวอย่างทั้งหมด คือ ชุดทดลองและชุดควบคุม

ตารางที่ ค – 10 ปริมาณไนเตรททั้งหมดของวัสดุหมักและปุ๋ยชุดควบคุมและชุดทดลอง

| ระยะเวลา | ปริมาณไนเตรท(%) | |
|---|---|---|
| | ชุดกควบคุม | ชุดทดลอง |
| เริ่มต้น | 0.48 | 0.48 |
| 2 เดือน | 0.52 | 2.06 |

# ภาคผนวก ง
# การทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมัก

**การทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมักของชุดทดลองและชุดควบคุมโดยสังเกตอัตราการงอกของเมล็ดถั่วเขียวเปรียบเทียบกับการใช้น้ำกลั่นเป็น ความยาวของ ลำต้นและราก(เซนติเมตร) ที่ระยะเวลาที่เพาะในปุ๋ยหมักต่าง ๆ**

ตารางที่ ง-1 ความยาวของลำต้นและรากของเมล็ดถั่วเขียว(เซนติเมตร) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ของตัวอย่างปุ๋ยหมักชุดทดลอง ชุดควบคุมและการใช้น้ำกลั่น

| ระยะเวลา (ชั่วโมง) | แบลงค์(ใช้น้ำกลั่น) | | | | | | | | | | | | | | | ค่าเฉลี่ย | S.D. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | | | | | 2 | | | | | 3 | | | | | | |
| | ต้นที่ 1 | ต้นที่ 2 | ต้นที่ 3 | ต้นที่ 4 | ต้นที่ 5 | ต้นที่ 1 | ต้นที่ 2 | ต้นที่ 3 | ต้นที่ 4 | ต้นที่ 5 | ต้นที่ 1 | ต้นที่ 2 | ต้นที่ 3 | ต้นที่ 4 | ต้นที่ 5 | | |
| **24** | 0.6 | 1.3 | 0.6 | 1.2 | 1.7 | 0.5 | 0.8 | 4.2 | 4.0 | 1.3 | 0.0 | 1.7 | 2.2 | 4.6 | 1.7 | 1.9 | 1.3856 |
| **48** | 8.0 | 12.0 | 3.0 | 7.0 | 4.5 | 3.0 | 8.0 | 4.0 | 6.0 | 4.0 | 9.5 | 9.0 | 1.3 | 4.0 | 8.0 | 6.1 | 2.9818 |
| **72** | 13.0 | 10.0 | 11.0 | 12.0 | 11.0 | 9.0 | 9.0 | 11.0 | 12.0 | 8.0 | 8.0 | 6.0 | 7.0 | 10.0 | 6.0 | 9.5 | 2.1996 |
| | ตัวอย่างปุ๋ยหมักชุดทดลอง | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **24** | 2.0 | 0.9 | 1.1 | 1.6 | 0.0 | 1.9 | 3.5 | 4.0 | 0.5 | 3.2 | 2.5 | 2.0 | 4.0 | 2.4 | 3.5 | 2.4 | 1.1413 |
| **48** | 8.0 | 10.0 | 4.0 | 0.0 | 7.5 | 9.0 | 8.0 | 8.5 | 6.0 | 9.0 | 11.0 | 12.0 | 11.5 | 11.0 | 10.0 | 9.0 | 2.2142 |
| **72** | 15.0 | 15.0 | 14.0 | 16.0 | 18.0 | 18.0 | 16.0 | 16.0 | 15.0 | 12.0 | 2.5 | 1.5 | 3.0 | 0.0 | 2.5 | 11.8 | 6.3359 |
| | ตัวอย่างปุ๋ยหมักชุดควบคุม | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **24** | 2.0 | 1.6 | 1.1 | 3.5 | 2.0 | 3.3 | 3.3 | 4.6 | 1.7 | 1.9 | 2.5 | 1.1 | 4.0 | 1.5 | 1.6 | 2.4 | 1.0943 |
| **48** | 9.0 | 10.0 | 9.0 | 6.0 | 11.0 | 7.0 | 12.0 | 4.0 | 8.0 | 9.0 | 6.5 | 8.5 | 8.0 | 0.0 | 0.0 | 8.3 | 2.1266 |
| **72** | 21.0 | 17.0 | 16.0 | 12.0 | 16.0 | 17.0 | 24.0 | 18.0 | 17.0 | 0.0 | 10.0 | 11.0 | 9.0 | 9.0 | 7.0 | 14.6 | 4.9879 |