การจัดการกากไขมันจากเศษอาหาร โดยกระบวนการทำปุ๋ยหมัก

MANAGEMENT OF TRAP GREASE FROM FOOD WASTE BY COMPOSTING PROCESS

ปชาบดี มาทรัพย์
พรชนก หัตถภูมิเกษตร
สุทธิดา บัวขม

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การจัดการกากไขมันจากเศษอาหาร โดยกระบวนการทำปุ๋ยหมัก

MANAGEMENT OF TRAP GREASE FROM FOOD WASTE BY COMPOSTING PROCESS

T149482

ปชาบดี มาทรัพย์
พรชนก หัตถภูมิเกษตร
สุทธิดา บัวขม

เลขหมู่ 149482
เลขทะเบียน
รับเมื่อ วัน เดือน ปี 8 ส.ค. 2561
b12884856
i

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MANAGEMENT OF TRAP GREASE FROM FOOD WASTE BY COMPOSTING PROCESS

PACHABADEE MARSUB
PORNCHANOK HATTAPUMIKASED
SUTTHIDA BUAKHOM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การจัดการกากไขมันจากเศษอาหาร โดยกระบวนการทำปุ๋ยหมัก Management of Trap Grease from Food Waste by Composting Process
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปชาบดี มาทรัพย์ รหัสนักศึกษา 56050719 นางสาวพรชนก หัตถภูมิเกษตร รหัสนักศึกษา 56050726 นางสาวสุทธิดา บัวขม รหัสนักศึกษา 56050777
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ประธานกรรมการ	
ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การจัดการกากไขมันจากเศษอาหาร โดยกระบวนการทำปุ๋ยหมัก
ชื่อนักศึกษา นางสาวปชาบดี มาทรัพย์ รหัสนักศึกษา 56050719
นางสาวพรชนก หัตถภูมิเกษตร รหัสนักศึกษา 56050726
นางสาวสุทธิดา บัวขม รหัสนักศึกษา 56050777
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา เคมี
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2559
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณกากไขมันโดยการทำปุ๋ยหมัก โดยนำกากไขมันมาหมักปุ๋ยในถังพลาสติกร่วมกับ ปุ๋ยคอก ตะกอนน้ำเสีย ใบไม้ และใยปาล์ม ในอัตราส่วนกากไขมันร้อยละ 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งแบ่งออกเป็น 12 สูตร โดยปริมาณน้ำมันและไขมันเริ่มต้นของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรอยู่ในช่วงร้อยละ 26.72 ถึง 63.62 โดยน้ำหนักแห้ง และค่อย ๆ ลดลงจนมีปริมาณไขมันและน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 1.52 ถึง 24.67 โดยน้ำหนักแห้ง ในสัปดาห์ที่ 8 พบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่สามารถกำจัดปริมาณไขมันและน้ำมันได้มากที่สุดคือปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 (ปุ๋ยคอก, ใยปาล์ม และกากไขมันในอัตราส่วนร้อยละ 50, 10 และ 40 โดยน้ำหนักเปียก) ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันได้สูงถึงร้อยละ 94.29 อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ผลการลดลงของปริมาณไขมันและน้ำมันทางสถิติ พบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และ 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและกากไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่สมบัติทางกายภาพของสูตรที่ 2 ดีกว่าสูตรอื่น ๆ จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตรมีปริมาณไนโตรเจน (N) และโพแทสเซียม (K) ได้มาตรฐานปุ๋ยหมักที่กำหนดไว้ แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่ามาตรฐาน และมีปริมาณแคดเมียมเกินค่ามาตรฐานเล็กน้อยในปุ๋ยหมักบางสูตร จากภาพรวมปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 มีสมบัติเหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักมากที่สุด จึงนำไปทดลองเปรียบเทียบการหมักปุ๋ยในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ซึ่งปุ๋ยหมักทั้งสองระบบสามารถกำจัดกลิ่นได้ภายใน 3 วัน โดยปุ๋ยหมักถังที่มีการเติมอากาศสามารถกำจัดกากไขมันได้ร้อยละ 48.45 ส่วนปุ๋ยหมักถังที่ไม่มีการเติมอากาศสามารถกำจัดกากไขมันได้ร้อยละ 46.07 แต่จากการวิเคราะห์การลดลงของปริมาณไขมันและน้ำมันทางสถิติ พบว่าปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศและแบบไม่เติมอากาศสามารถลดปริมาณไขมันและน้ำมันได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

คำสำคัญ : กากไขมัน, ปุ๋ยหมักอินทรีย์, ปุ๋ยคอก, การจัดการของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Management of Trap Grease from Food Waste by Composting Process		
Students	Miss Pachabadee	Marsub	Student ID 56050719
	Miss Pornchanok	Hattapumikased	Student ID 56050726
	Miss Sutthida	Buakhom	Student ID 56050777
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Asst. Prof. Krongkaew Tippayasak		

Abstract

The purpose of this study was to find the suitability ratio for degrade the grease trap waste (GTW) with the other biodegradable waste materials for composting. Manure, wastewater sludge, leaf and palm fiber were selected to mix with the GTW (40, 50 and 60% by wet wt.) and composted in plastic bin, with varied ratio; 12 formulas. Initial GTW of composting were done in range 26.72 to 63.61% (dry wt.). Within 8 week GTW had been reduced 1.52 to 24.67% (dry wt.). The results showed that the best formula for the GTW removal was the 2nd formula (Manure, palm fiber and GTW ratio: 50, 10 and 40%, respectively). The efficiency of GTW removal was 94.29%. Although the 1st and the 2nd formula GTW removal properties, there weren't difference statistically significant at the 0.05 level but the physical texture of the 2nd formula was better than the other. The macronutrients of all composting were compared by the Standard of Compost from Land Develop Department (LDL). The result showed that nitrogen (N) and potassium (K) were in the range of the LDL standard but the amount of phosphorus (P) was less than standard and cadmium was more than standard in some composting formula. In conclusion, the 2nd formula was the most suitable for composting. Therefore, further study, the 2nd formula of composting was experimented to compare the effect of aerated and non-aerated system. Both aerobic and non-aerobic systems were deodorized within 3 days after composting. The efficiency of GTW removal of aerated and non-aerated system were 48.45 and 46.07% (dry wt.), respectively. The results showed that the efficiency of GTW removal between aerated system and non-aerated system weren't difference statistically significant at the 0.05 level.

Keywords: Grease Trap Waste, Organic Compost, Manure, Waste Managemen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำ คำปรึกษาและความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านดังนี้

ขอขอบคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ได้มอบความรู้ พร้อมทั้งความเอาใจใส่ และความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และ ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการและกรรมการผู้คุมสอบที่ได้สละเวลาอันมีค่าเข้าร่วมรับฟังการนำเสนอโครงงานพิเศษ พร้อมทั้งให้คำแนะนำการปรับปรุงแก้ไขโครงงานพิเศษให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์มอบใยปาล์มและตะกอนน้ำเสียเพื่อนำมาทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี คุณชัชชัย ลัทธิลักขณา คุณสาคร สอนพงษ์ คุณณัฐพล ไกรธรรม คุณปราณี บุญวัฒน์ และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์และช่วยจัดทำเอกสารเกี่ยวกับการดำเนินงานในการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนเกี่ยวกับการทำโครงงานพิเศษนี้ให้ผ่านไปด้วยดี

ปชาบดี มาทรัพย์
พรชนก หัตถภูมิเกษตร
สุทธิดา บัวขม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ปุ๋ยหมัก 3
2.1.1 คำจำกัดความในการทำปุ๋ยหมัก 3
2.1.2 กระบวนการหมักปุ๋ย 3
2.1.3 วัสดุที่ใช้ในการหมักปุ๋ย 4
2.1.4 วิธีการทำปุ๋ยหมัก 5
2.1.5 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก 8
2.1.6 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อปุ๋ยหมัก 10
2.1.7 ลักษณะปุ๋ยหมักที่นำไปใช้ได้แล้ว 11
2.2 จุลินทรีย์ 10
2.2.1 ระยะของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก 12
2.2.2 เชื้อจุลินทรีย์ 13
2.2.3 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ 13
2.3 กากไขมัน 14
2.4 ของเสียในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม 15
2.5 ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ปุ๋ยคอก 17
2.7 เศษใบไม้ 17
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 23
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 23
3.2 สารเคมี 24
3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก 25
3.4 วิธีการทดลอง 30
3.4.1 การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาปริมาณกากไขมันและวัสดุหมักที่เหมาะสม 30
3.4.2 การศึกษาการทำปุ๋ยหมักเปรียบเทียบการหมักแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ 33
3.4.3 การพิสูจน์กลิ่น 33
3.4.4 วิธีการวัดอุณหภูมิปุ๋ยหมัก 33
3.4.5 วิธีการเก็บตัวอย่าง 34
3.4.6 แผนการวิเคราะห์ 34
3.4.7 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ 36

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 37
4.1 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ 37
4.2 สมบัติของวัสดุหมัก 37
4.3 การศึกษาปริมาณกากไขมันและวัสดุหมักที่เหมาะสม 40
4.3.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ 40
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี 46
4.4 การศึกษาผลของสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศของปุ๋ยหมัก 55
4.3.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ 55
4.3.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมี 52

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 60
5.1 สรุปผลการทดลอง 60
5.2 ข้อเสนอแนะ 60

เอกสารอ้างอิง 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก 67
ภาคผนวก ก 68
ภาคผนวก ข 69
ภาคผนวก ค 92
ภาคผนวก ง 136
ภาคผนวก จ 139
ภาคผนวก ฉ 147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 สมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่สามารถนำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้ 6

2.2 ดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเค็มของปุ๋ยหมัก 10

2.3 ดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเหมาะสมของปุ๋ยหมักที่มี C/N ratio ระดับต่าง ๆ 11

2.4 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกชนิดต่าง ๆ 17

3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ 32

3.2 อัตราส่วนของปริมาณกากไขมันและวัสดุในการทำปุ๋ยหมัก 33

3.3 ความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาหาปริมาณกากไขมัน และวัสดุหมักที่เหมาะสม 35

3.4 ความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์การทดลองส่วนที่ 2 การศึกษาการทำปุ๋ยหมัก เปรียบเทียบการหมักแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ 36

4.1 ผลการประกันคุณภาพผลการวิเคราะห์ TC, TN และ AN 38

4.2 ผลการประกันคุณภาพผลการวิเคราะห์ TP, AP, K, Cd, Cr, Cu, และ Pb 38

4.3 องค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก 39

4.4 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของปุ๋ยหมักในแต่ละสูตร 41

4.5 ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักแต่ละสูตร 50

4.6 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรเทียบกับมาตรฐาน และประสิทธิภาพการกำจัดไขมัน 57

4.7 องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน	4
2.2 กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	4
2.3 การหมักในบ่อหมัก (Trench Composting)	7
2.4 รูปแบบของการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย	14
3.1 ถังดักไขมัน โรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์	26
3.2 ถังกรองกากไขมัน	26
3.3 ตัวอย่างกากไขมันก่อนผ่านการบด	27
3.4 วิธีบดกากไขมันผ่านตะแกรง	27
3.5 ตัวอย่างใยปาล์ม	27
3.6 ตัวอย่างตะกอนน้ำเสียจากบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด	27
3.7 ลักษณะฝาขวดที่เจาะรูโดยรอบ	28
3.8 วิธีบรรจุใยสังเคราะห์บริเวณด้านในฝาถัง	28
3.9 ลักษณะถังหมักปุ๋ย	28
3.10 วิธีบรรจุใยสังเคราะห์บริเวณก้นตะแกรง	29
3.11 แกลบดำในตะกร้ากลม	29
3.12 วิธีคลุมถุงดำบริเวณนอกตะกร้าทรงสูง	29
3.13 ลักษณะท่อที่ให้อากาศสำหรับถังหมักปุ๋ยที่เติมอากาศ	29
3.14 การบรรจุท่อให้อากาศบริเวณในถังปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศ	30
3.15 วิธีการบรรจุสายให้อากาศในถังปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศ	30
3.16 ลักษณะถังปุ๋ยหมักแบบไม่เติมอากาศ	30
3.17 ลักษณะถังปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศ	30
3.18 แผนภาพอัตราส่วนปริมาณกากไขมันและวัสดุในการหมักปุ๋ย	31
3.19 ปุ๋ยหมักการทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาหาปริมาณกากไขมัน และวัสดุหมักที่เหมาะสม	31
3.20 จุดวัดอุณหภูมิ 5 จุด บริเวณถังหมัก	34
3.21 วิธีการเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก	35
4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4	42
4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8	42
4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 44
4.5 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8 44
4.6 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12 44
4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 45
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8 45
4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12 45
4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 47
4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8 47
4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12 47
4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 48
4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8 48
4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12 48
4.16 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
ของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 49
4.17 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
ของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8 49
4.18 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
ของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12 49
4.19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและ
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมัก 51
4.20 ปริมาณไขมันและน้ำมันของปุ๋ยสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 53
4.21 ปริมาณไขมันและน้ำมันของปุ๋ยสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8 53
4.22 ปริมาณไขมันและน้ำมันของปุ๋ยสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12 53
4.23 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละสูตร 54
4.24 ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในปุ๋ยหมักแต่ละสูตร 55
4.25 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 2
แบบเติมอากาศ, ไม่เติมอากาศ และอุณหภูมิห้อง 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
กก.	กิโลกรัม
%	ร้อยละ
AN	ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์
AP	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์
°c	องศาเซลเซียส
C	คาร์บอน
C/N Ratio	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
Cd	แคดเมียม
Cr	โครเมียม
Cu	ทองแดง
dS/m	เดซิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
FOG	ไขมันและน้ำมัน
GTW	กากไขมัน
K	โพแทสเซียม
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ml	มิลลิลิตร
N	ไนโตรเจน
N	ความเข้มข้นหน่วยนอร์มอล
P	ฟอสฟอรัส
Pb	ตะกั่ว
pH	ความเป็นกรดเบส
ppm	หนึ่งส่วนในล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
TC	คาร์บอนทั้งหมด
TN	ไนโตรเจนทั้งหมด
TP	ฟอสฟอรัสทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากกิจกรรมการใช้ชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันก่อให้เกิดของเสียขึ้นเป็นจำนวนมาก เช่น จากการรับประทานอาหาร ซึ่งเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่สุดของมนุษย์เพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปได้ โดยจากกิจกรรมนี้ก่อให้เกิดของเสียขึ้นได้หลายอย่าง เช่น เศษอาหาร ขยะมูลฝอย หรือแม้กระทั่งน้ำเสีย โดยเฉพาะน้ำเสียที่มีส่วนผสมของไขมันที่ได้มาจากการชำระล้างภาชนะใส่อาหารหรือจากการรวบรวมเศษอาหารของแหล่งซื้อขายอาหารต่าง ๆ ซึ่งจะมีการบำบัดน้ำเสียในขั้นต้นคือใช้ถังดักไขมันและจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็น “กากไขมัน” ซึ่งกากไขมันเหล่านี้เป็นของเสียที่ย่อยสลายได้ยาก และสามารถก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในด้านอื่น ๆ ต่อไปได้ ดังนั้น จึงต้องมีการบำบัดอย่างเหมาะสม การจัดการที่ง่ายและนิยมนำมาใช้กับกากไขมัน คือ การฝังกลบร่วมกับขยะมูลฝอย ซึ่งวิธีนี้จะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นและเกิดน้ำชะกากไขมันที่อาจปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดินได้ และในปัจจุบันมีการใช้วิธีการฝังกลบเป็นวิธีการกำจัดเป็นจำนวนมาก จึงทำให้พื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปฝังกลบไม่เพียงพอ รวมถึงปริมาณของกากไขมันที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถกำจัดกากไขมันได้อย่างเหมาะสม คือ การทำปุ๋ยหมักร่วมกับวัสดุอื่น ซึ่งเป็ยวิธีที่สามารถนำกากไขมันกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง กระบวนการทำปุ๋ยหมักนั้นเป็นวิธีทางธรรมชาติที่อาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน ให้ได้ผลผลิตเป็นอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายแล้ว แต่เนื่องจากกากไขมันมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ต่ำในขณะที่มีคาร์บอนสูง จึงอาจไม่เหมาะกับการทำปุ๋ยหมัก ดังนั้นเพื่อให้กระบวนการทำปุ๋ยหมักมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องผสมกับใช้วัสดุร่วมในกระบวนการหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง เช่น ดินค่า หรือกากตะกอนน้ำเสีย นอกจากนี้กากไขมันยังมีความพรุนต่ำ ซึ่งจะมีผลต่อการแลกเปลี่ยนออกซิเจน การเติมวัสดุเพิ่มความพรุน เช่น เส้นใยปาล์ม หรือเศษใบไม้จะช่วยให้กระบวนการหมักเกิดได้ดีขึ้น รวมถึงการนำจุลินทรีย์จากกากตะกอนน้ำเสียที่มีไขมันจากโรงงานอุตสาหกรรมมาช่วยในการย่อยสลาย จุลินทรีย์เหล่านี้จะสามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสซึ่งสามารถที่จะย่อยสลายไขมันได้ ทำให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้จึงเพื่อศึกษาความเหมาะสมของการนำกากตะกอนไขมันจากเศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มาผ่านกระบวนการทำเป็นปุ๋ยหมักร่วมกับการใส่ปุ๋ยคอก ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม เส้นใยปาล์ม และเศษใบไม้ เพื่อลดปริมาณกากไขมัน และกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้น รวมถึงศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยหมัก ประสิทธิภาพในการกำจัดกากไขมัน และการนำปุ๋ยจากกระบวนการหมักไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการกำจัดกากไขมันจากกระบวนการหมักกากไขมันร่วมกับปุ๋ยคอก ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม เส้นใยปาล์ม และเศษใบไม้

1.2.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมักจากกากไขมันร่วมกับปุ๋ยคอก ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม เส้นใยปาล์ม และเศษใบไม้

1.2.3 ศึกษาคุณภาพปุ๋ยหมักจากกากไขมันร่วมกับปุ๋ยคอก ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม เส้นใยปาล์ม และเศษใบไม้เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 กากไขมัน จากโรงอาหารใหม่ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3.2 ปุ๋ยคอกมูลวัว จากร้านจำหน่ายผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ถนนร่มเกล้า

1.3.3 ตะกอนน้ำเสีย จากบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด

1.3.4 ใยปาล์ม จากบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด

1.3.5 เศษใบไม้ จากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถลดปริมาณกากไขมันที่จะนำไปฝังกลบร่วมกับขยะมูลฝอย

1.4.2 สามารถลดปริมาณเศษใบไม้ภายในคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4.3 ทราบความเป็นไปได้และความคุ้มค่าในการนำกากไขมันไปใช้เป็นวัสดุหมักของปุ๋ยหมัก

1.4.4 สามารถนำปุ๋ยหมักจากกากไขมันร่วมกับปุ๋ยคอก ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม ใยปาล์ม และเศษใบไม้ไปใช้เป็นสารปรับสภาพดินได้

1.4.5 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการของเสียอย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปุ๋ยหมัก

2.1.1 คำจำกัดความในการทำปุ๋ยหมัก

ทิพวรรณ (2542) อธิบายความหมายของปุ๋ยหมักว่า

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ทำขึ้น...จากเศษพืช มูลสัตว์มากองรวมกันแล้วเกิดการย่อยสลายโดยกระบวนทางจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย มีสีน้ำตาลดำ มีคุณสมบัติในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินโปร่ง เพิ่มความพรุนให้แก่ดิน ทำให้การระบายน้ำและอากาศในดินดีขึ้น ทั้งช่วยให้ดินอุ้มน้ำและดูดซึมธาตุอาหารพืชดีขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่พืช...และธาตุอาหารเสริมให้แก่ดิน ทำให้พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโต และส่งเสริมกิจกรรมต่าง ๆ ได้ดีขึ้น

มุกดา (2545ข) อธิบายความหมายว่า

ปุ๋ยหมัก คือปุ๋ยที่ได้จากการหมักสารอินทรีย์ให้สลายตัวและผุพังตามธรรมชาติ โดยนำสิ่งเหล่านั้นมากองรวมกัน รดน้ำให้ชื้น แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดการย่อยสลายตัวโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จึงนำไปใช้ปรับปรุงดิน...

นันทวัน (2556) อ้างถึง Kutzner (2013) ให้ความหมายปุ๋ยหมักว่า

ปุ๋ยหมัก คือปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยธรรมชาติชนิดหนึ่ง ที่ได้จากการนำเอาเศษซากพืช...รวมทั้งของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนขยะมูลฝอยจากบ้านเรือนมาหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งจุลินทรีย์ เมื่อหมักโดยใช้ระยะเวลาหนึ่งแล้ว เศษพืชจะเปลี่ยนสภาพจากเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ยสีน้ำตาลปนดำ นำไปใส่ในไร่นาหรือพืชสวน...ได้

2.1.2 กระบวนการหมักปุ๋ย

1.) การหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Decomposition) คือ เป็นกระบวนการย่อยสลายอินทรียสารทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นการหมักที่ไม่เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น และได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดีและมีองค์ประกอบของไนเทรต (NO_3^-) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 กระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Decomposition)

2.) การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) คือ กระบวนการสลายอินทรียสารด้วยจุลินทรีย์ชนิดดำรงชีพโดยไม่ใช้ออกซิเจน กระบวนการนี้มักเกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น คือ ก๊าซไข่เน่า (H_2S) และก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) การหมักแบบนี้ใช้เวลานานกว่าระบบแบบใช้ออกซิเจน และปุ๋ยหมักที่ได้นั้นมีคุณภาพค่อนข้างต่ำ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2552) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition)

2.1.3 วัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

วัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก ต้องเป็นวัสดุอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายตัวได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ไม่ได้ถูกจัดประเภทเป็นของเสียอันตราย โดยแยกตามประเภทของวัสดุ คือ

1.) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัชพืช ส่วนใหญ่เป็นต้นพืชต่าง ๆ ที่เก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้ว ทั้งพืชไร่ พืชสวน และนาข้าว

2.) วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม เป็นวัสดุที่ได้จากระบบอุตสาหกรรมเกษตร เช่น โรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตน้ำมันพืช โรงงานแป้งมัน โรงสีข้าว โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานอาหารสัตว์ รวมทั้งอุตสาหกรรมการแปรรูปสัตว์

3.) วัสดุที่ได้จากสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ รวมถึงวัสดุรองพื้นคอกสัตว์

4.) วัสดุจากขยะมูลฝอยภาคครัวเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุอินทรีย์ที่ใช้ทำปุ๋ยหมักแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ วัสดุที่ย่อยสลายง่ายและวัสดุที่ย่อยสลายยาก โดยใช้ค่าสัดส่วนที่เป็นองค์ประกอบหลักในวัสดุเป็นเกณฑ์ คือ สัดส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจน หรือ C/N ratio ถ้าเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่ายเป็นวัสดุประเภทที่มีสัดส่วนต่ำกว่า 100:1 และวัสดุที่ย่อยสลายยากเป็นวัสดุประเภทที่มีสัดส่วนสูงกว่า 100:1 ซึ่งวัสดุทั้ง 2 กลุ่มมีองค์ประกอบที่เป็นธาตุอาหารพืชหลัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

2.1.4 วิธีการทำปุ๋ยหมัก

1.) วิธีการหมักแบบเย็น (Cold or Slow Composting) เป็นวิธีที่เหมาะกับวัสดุหมักที่ย่อยสลายยาก หรือวัสดุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 100:1 การหมักวิธีนี้กระบวนการย่อยสลายวัตถุดิบจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ วัชพืชและโรคพืชไม่ถูกทำลาย ข้อดีของวิธีนี้ คือ ง่ายไม่ต้องการเครื่องมือราคาแพง กระบวนการจัดการเกี่ยวกับการหมักไม่ยุ่งยาก ข้อเสีย คือ อัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นช้า ดังนั้นจึงต้องกองปุ๋ยหมักไว้เป็นเวลานาน ซึ่งอาจทำให้สัตว์เข้ามาขุดคุ้ยกองปุ๋ยหมักและไม่สามารถกำจัดขยะจากเศษกิ่งไม้ ใบไม้และเศษอาหารที่เกิดขึ้นทุกวันได้ ตัวอย่างของวิธีการหมักแบบเย็น เช่น

1.1 การหมักแบบแผ่คลุมดิน (Sheet Composting) ซึ่งเป็นวิธีทำปุ๋ยหมักอย่างง่าย วิธีการหมักเริ่มต้นขึ้นโดยการนำวัสดุหมัก เช่น เศษใบไม้ กิ่งไม้ หญ้า และฟาง เป็นต้น ไปวางไว้บนผิวหน้าดินหรือกองคลุมบริเวณรอบโคนต้นไม้ แล้วปล่อยให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

1.2 การหมักในบ่อหมัก (Trench Composting) เป็นวิธีการหมักที่ไม่ต้องการถังหรือภาชนะหมัก แต่ทำการฝังวัสดุหมักลงไปในหลุมดิน โดยขุดคูดินลึก 8 นิ้ว จากนั้นให้กองวัสดุที่ต้องการทำปุ๋ยหมัก เช่น เศษอาหาร โดยให้กองสูง 4 นิ้ว จากนั้นให้ปิดทับด้วยดิน กระบวนการหมักจะเกิดขึ้นภายใน 1-2 เดือน หลังจากนั้นจะสามารถนำพืชมาปลูกที่บริเวณหลุมหมักได้ ดังรูปที่ 2.3

การหมักในถัง (Cold Bin Composting) เป็นวิธีการทำปุ๋ยหมักในภาชนะอย่างง่ายซึ่งทำได้โดยนำวัตถุดิบจำพวกย่อยสลายยากมาผสมกับเศษอาหารโดยกองปุ๋ยให้มีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของถัง หลังจากหมักได้ 1 เดือนให้กองเศษอาหารวัตถุดิบจำพวกย่อยสลายยากและดินเพิ่มอีกชั้น ทำเช่นนี้เป็นระยะเวลา 1 ปี จะได้ปุ๋ยหมักที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยการนำปุ๋ยหมักไปใช้นั้นให้นำเอาปุ๋ยหมักชั้นล่างไปใช้งานก่อนชั้นที่กองอยู่ด้านบน

การหมักแบบกอง (Heap Composting) เป็นวิธีการหมักอย่างง่ายที่ไม่จำเป็นต้องใช้ถังหรือภาชนะหมัก ทำได้โดยกองวัสดุหมักเป็นชั้นในบริเวณลานโล่งที่มีหลังคาหรือไม่มีหลังคาคลุม ซึ่งวัสดุหมักสามารถกองได้ทุกบริเวณว่าง เช่น สวน ไร่ นา เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 สมบัติของวัสดุอินทรีย์ที่สามารถนำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

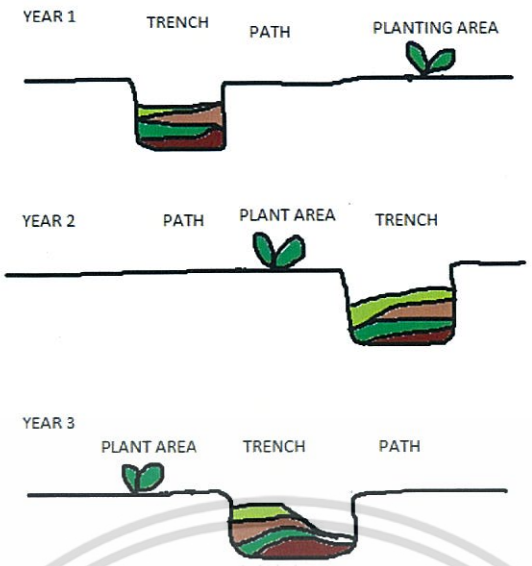
ชนิดของวัสดุ	%N	$\%P_2O_5$	$\%K_2O$	%C	C/N
ฟางข้าว*	0.55	0.09	2.39	48.82	89
ผักตบชวา*	1.27	0.71	1.84	43.56	34
ต้นข้าวโพด*	0.53	0.15	2.21	33.00	62
มันสำปะหลัง*					
เปลือก (เปียก)	0.60	0.22	0.67	48.85	81
เหง้า	1.48	0.48	1.01	54.49	37
สับปะรด*					
เปลือก (โรงงาน)	1.79	0.85	5.46	46.80	26
ใบ (สด)	1.12	0.48	2.64	53.84	48
ส่วนของเปลือก*					
เปลือกเมล็ดกาแฟ	0.93	0.14	6.22	65.05	70
เปลือกถั่วลิสง	0.73	-	-	58.36	70
เปลือกทุเรียน	0.83	0.19	2.15	50.63	75
ขี้เลื่อย**					
ไม้เบญจพรรณ	0.32	0.16	2.45	62.7	196
ไม้ยางเก่า	0.25	0.15	0.53	56.37	225
ไม้ยางใหม่	0.19	0.36	0.40	58.41	307
อื่น ๆ**					
ขุยมะพร้าว	0.36	0.05	2.94	60.13	167
แกลบ	0.36	0.09	1.08	54.72	152
เปลือกเมล็ดปาล์มบด	0.52	0.03	0.30	60.65	117

หมายเหตุ : * หมายถึง วัสดุที่ย่อยสลายง่าย

** หมายถึง วัสดุที่ย่อยสลายยาก

ที่มา : มุกดา (2545ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การหมักในบ่อหมัก (Trench Composting)
ที่มา : Fresh Organic Gardening (2013)

2.) วิธีการหมักแบบร้อน (Hot or Fast Composting) เป็นวิธีการหมักที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะอัตราการย่อยสลายวัตถุดิบจากกระบวนการหมักแบบนี้เกิดขึ้นเร็ว วัชพืชและโรคพืชถูกทำลายหลังการหมัก อย่างไรก็ตาม อัตราการย่อยสลายวัตถุดิบจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ เช่น วัตถุดิบมีขนาดเล็กประมาณ 2-3 นิ้ว อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเหมาะสม คือ 20:1 ความชื้นเหมาะสม มีการกลับกองกองปุ๋ยเพื่อเพิ่มการถ่ายเทของอากาศ การหมักปุ๋ยวิธีนี้ทำได้โดยการผสมวัสดุหมักที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมพร้อมทั้งรดน้ำให้ความชื้นที่เหมาะสมและมีการกลับกองปุ๋ยหมักเป็นประจำในระหว่างการหมัก (นันทวัน, 2556)

2.1.5 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

1.) ช่วยปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงสภาพ หรือลักษณะของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในกรณีที่ดินนั้นเป็นดินเนื้อละเอียดอัดตัวกันแน่น เช่น ดินเหนียว ปุ๋ยหมักช่วยทำให้ดินมีสภาพร่วนซุยมากขึ้น ไม่อัดตัวกันแน่นทึบ ทำให้ดินมีสภาพการระบายน้ำ และอากาศดีขึ้น ทั้งยังช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำ หรือดูดซับน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ได้มากขึ้น สมบัติในข้อนี้เป็นสมบัติที่สำคัญมากของปุ๋ยหมัก เพราะที่ดินที่มีลักษณะร่วนซุย ระบายน้ำ และอากาศได้ดี ทำให้รากพืชเจริญเติบโตได้รวดเร็ว แข็งแรง แตกแขนงได้มาก มีระบบรากที่สมบูรณ์ จึงดูดซับแร่ธาตุอาหารหรือน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในกรณีที่ดินเป็นดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทราย ดินร่วนปนทราย ซึ่งส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีอินทรียวัตถุอยู่น้อย ไม่อุ้มน้ำ การใส่ปุ๋ยหมักเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ดินเหล่านั้นสามารถอุ้มน้ำ หรือดูดซับความชื้นไว้ให้พืชได้มากขึ้น ในดินเนื้อหยาบจึงควรต้องใส่ปุ๋ยหมักให้มากกว่าปกติ

นอกจากสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้ว ปุ๋ยหมักยังสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะดินในแง่อื่น ๆ อีก เช่น ช่วยลดการจับตัวเป็นแผ่นแข็งของหน้าดิน ทำให้เมล็ดพืชงอกได้ดีขึ้น หรือการซึมของน้ำลงไปในดินสะดวกขึ้น ช่วยลดการไหลบ่าของน้ำเวลาฝนตกเป็นการลดการพัดพาหน้าดินที่อุดมสมบูรณ์ไปเป็นต้น

2.) ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ในแง่ของการช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งแร่ธาตุอาหารที่จะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้แก่ต้นพืชอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ โดยตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดินนั้นได้กำหนดไว้ว่า ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชที่สำคัญดังนี้ คือ ธาตุไนโตรเจนทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 1 ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 และโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ปริมาณแร่ธาตุอาหารดังกล่าวจะมีมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาหมักปุ๋ยและวัสดุอื่น ๆ ที่ใส่ลงไปในกองปุ๋ย

ถึงแม้ปุ๋ยหมักจะมีธาตุอาหารหลักดังกล่าวอยู่น้อยกว่าปุ๋ยเคมี แต่ปุ๋ยหมักยังมีธาตุอาหารพืชชนิดอื่น เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก สังกะสี แมงกานีส โบรอน ทองแดง โมลิบดีนัม ฯลฯ ซึ่งปกติแล้วปุ๋ยเคมีไม่มีหรือมีเพียงบางธาตุเท่านั้น แร่ธาตุเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ไม่น้อยกว่าธาตุอาหารหลัก เพียงแต่ต้นพืชต้องการในปริมาณน้อย

นอกจากจะช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชแล้ว ปุ๋ยหมักยังมีคุณค่าในแง่ของการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์อีกหลายอย่าง เช่น ช่วยทำให้แร่ธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดินแปรสภาพมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ง่ายขึ้น ช่วยดูดซับแร่ธาตุอาหารพืชเอาไว้ไม่ให้ถูกน้ำฝนหรือน้ำชลประทานชะล้างสูญหายไปได้ง่าย เป็นการช่วยถนอมรักษาแร่ธาตุอาหารหรือความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้อีกทางหนึ่ง เป็นต้น (ปรีดี, 2554)

3.) เกษตรกรสามารถทำใช้เองได้ โดยการนำมูลสัตว์เศษพืชที่เหลือใช้มาทำปุ๋ยหมัก ซึ่งทำให้ช่วยลดต้นทุนการผลิต

4.) ช่วยรักษาสภาพแวดล้อม ลดมลภาวะที่เกิดจากขยะ การเผาขยะ เนื่องจากสามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ เช่น เศษพืช วัชพืช กากอ้อย แกลบ มูลสัตว์และเศษอาหารต่าง ๆ เป็นต้น

5.) ช่วยลดอุบัติเหตุ ซึ่งเกิดจากการเผาเศษพืชริมทาง (ทิพวรรณ, 2542)

2.1.6 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อปุ๋ยหมัก

1.) อุณหภูมิ อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักมีผลโดยตรงกับกิจกรรมย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ อัตราการเผาผลาญอาหาร (Metabolic rate) ของจุลินทรีย์ที่มากขึ้นอุณหภูมิภายในระบบหมักปุ๋ยก็จะสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราการเผาผลาญอาหารลดลง อุณหภูมิของระบบก็ลดลงเช่นกัน ถ้าอุณหภูมิของระบบสูงถึง 55 องศาเซลเซียส การย่อยสลายจะเร็วขึ้นเป็นสองเท่า และเมื่อรักษาอุณหภูมิของระบบไว้เป็นเวลา 3-4 วัน จะช่วยทำลายเมล็ดวัชพืช ตัวอ่อนแมลงวัน และโรคพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ ที่อุณหภูมิเกิน 69 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ถูกทำลายลงบางส่วน ทำให้อุณหภูมิของระบบลดลง อุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น ออกซิเจนที่มีอยู่ และกิจกรรมของจุลินทรีย์มีอิทธิพลของจุลินทรีย์ (ณัฐ, 2555)

2.) ความชื้น (Humidity) ความชื้นของปุ๋ยหมัก เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญของจุลินทรีย์ โดยปกติภายในกองปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิสูงทำให้น้ำระเหยจากกองปุ๋ยตลอดเวลา แม้ว่าสารอินทรียวัตถุจะมีคุณสมบัติที่อุ้มน้ำได้ดีก็ตาม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้ปริมาณความชื้นมากหรือน้อยเกินไป ระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย คือ ร้อยละ 50–60 (โดยน้ำหนัก) ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า ถ้าความชื้นมากเกินกว่าร้อยละ 80 จะทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะ การระบายอากาศไม่ดี จนทำให้เกิดสภาพไม่มีอากาศ กระบวนการย่อยสลายจะเกิดได้ช้า และเกิดกลิ่นเหม็นภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ระเหยจำพวก มีเทน ฟอสฟิน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ นอกจากนั้นยังมีผลทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารจากวัสดุเศษพืชในระหว่างการทำปุ๋ยหมักด้วย เช่น ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนีย เป็นต้น (วุฒิพงษ์, 2559)

3.) ความเป็นกรดด่าง (pH) การเปลี่ยนแปลงระดับ pH ในกองปุ๋ยหมัก ระยะประมาณ 3 วันแรกของการหมัก pH ในกองปุ๋ยหมักจะลดลง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5.3-5.7 เนื่องจากในตอนแรกมีการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว และวัสดุที่ย่อยสลายง่ายจะมีกรดอินทรีย์บางชนิดเกิดขึ้น หลังจากนั้น pH จะค่อย ๆ สูงขึ้นอย่างช้า ๆ จนมีค่าระหว่าง 7.0-8.5 เนื่องจากเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายจะเป็นสารต้านการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ที่ดี มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากขึ้น ทำให้ดูดซับ H^+ ได้มากขึ้น และมี NH_4^+ เกิดขึ้นระหว่างการย่อยสลาย ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน ๆ จึงมีผลดีต่อการนำไปใช้ปรับปรุงดิน แต่ถ้า pH สูงเกินไป ไนโตรเจนในปุ๋ยจะกลายเป็นแก๊ส NH_4^+ ระเหยไปในอากาศ แต่ถ้า pH ต่ำเกินไป จุลินทรีย์จะหยุดกิจกรรม ทำให้เกิดการย่อยสลายที่ช้าลง

4.) ความเค็ม เมื่อวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) จะเป็นดัชนีชี้วัดค่าความเค็มได้ โดยถ้าวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ไม่เกิน 2 dS/m จะไม่เกิดอันตรายต่อพืช แต่เมื่อมีค่าประมาณ 2–4 dS/m จะมีเกลือประมาณร้อยละ 0.1-0.2 จะมีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม เมื่อความเค็มมากกว่า 4 จะเริ่มเป็นอันตรายต่อพืช ไม่เหมาะสมนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน จึงมีการกำหนดดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเค็มของปุ๋ยหมัก ดังตารางที่ 2.2

5.) ขนาดวัตถุอินทรีย์ (Particle size) วัตถุอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดเร็วขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้มาก หากวัตถุดิบมีความหนาแน่นหรือมีความชื้นมาก จะทำให้อากาศไม่สามารถเข้าไปในกองปุ๋ยหมักได้ จึงควรผสมด้วยวัตถุที่เบาแต่มีปริมาณมาก เช่น ฟางข้าว ใบไม้แห้ง กระดาษ หรือวัตถุที่มีขนาดหรือเนื้อสัมผัสต่างกัน เพื่อให้กองปุ๋ยมีการถ่ายเทอากาศ ซึ่งขนาดของวัตถุอินทรีย์ที่เหมาะสม คือ 2.5 เซนติเมตร (ณัฐ, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเค็มของปุ๋ยหมัก

ดัชนีคุณภาพ	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ปริมาณเกลือ (%)	หมายเหตุ
10	0.0-2.0	0.0–0.1	ปุ๋ยหมักมีคุณภาพดีมาก
8	2.1–3.0	0.1–0.15	ปุ๋ยหมักมีความเค็มเล็กน้อย ยังไม่อยู่ในระดับเป็นอันตรายต่อพืชหรือสิ่งแวดล้อม ใช้ได้กับดินที่ไม่เค็ม
6	3.1–3.5	0.15–0.175	มีความเหมาะสมน้อยในการนำไปใช้ปรับปรุงดิน ใช้ไม่ได้ในดินเค็ม ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง และห้ามใช้รองก้นหลุม
ห้ามใช้	>3.5	>0.175	ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ปรับปรุงดิน เพราะจะมีแค่พืชทนเค็มที่เจริญเติบโตได้

ที่มา : มุกดา (2545ข)

6.) การระบายอากาศ (Aeration) จุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการย่อยสลายวัตถุอินทรีย์ การย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนจะเป็นกระบวนการย่อยสลายที่ช้าและทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้นจึงควรกลับกองปุ๋ยหมักเป็นระยะเพื่อให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ซึ่งจะช่วยเร่งกระบวนการหมักปุ๋ยให้เร็วขึ้น กองปุ๋ยหมักที่ไม่ได้กลับ จะใช้เวลาย่อยสลายนานกว่า 3-4 เท่า (ณัฐ, 2555)

7.) การกลับกอง (Turning) ในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย จุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายวัตถุอินทรีย์ เมื่อออกซิเจนถูกใช้หมดกระบวนการหมักปุ๋ยจะเกิดช้าลง และอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักก็จะลดลงตาม จึงควรกลับกองปุ๋ยหมักเพื่อให้มีอากาศหมุนเวียนในกองปุ๋ยหมัก เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์ และเป็นการกลับวัสดุหมักที่อยู่ด้านนอกเข้าข้างใน เป็นการช่วยให้เกิดการย่อยสลายเร็วขึ้น ระยะเวลาในการกลับกองที่เหมาะสม คือ เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นสูงสุดและเริ่มลดลง (ณัฐ, 2555)

8.) ปริมาณอินทรียวัตถุ ปุ๋ยหมักที่ดีควรมีปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 35-50 ถ้าสูงกว่าร้อยละ 60 อินทรียวัตถุนั้นจะยังมีการย่อยสลายต่อไป ทำให้เกิดความร้อนและตรึงธาตุอาหารบางชนิดเป็นการชั่วคราว ทำให้เกิดปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืช และหากลดต่ำลงกว่าร้อยละ 15 แสดงว่ามีสิ่งเจือปนมาก หรือถูกย่อยสลายหมดไป ไม่ควรนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมักเพราะด้อยคุณภาพ

9.) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มุกดา (2545ข) อ้างถึง ปรัชญา และคณะ (2540) กล่าวว่า ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีควรจะมี C/N ratio ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20 : 1... ในกระบวนการหมักปุ๋ย ค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนใช้บอกความยากง่ายต่อการย่อยสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ถ้า C/N ratio สูง จะทำให้การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ไม่ดีเท่าที่ควร จึงไม่ควรนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน (สามารถ, 2553) จึงกำหนดดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเหมาะสมของปุ๋ยหมักที่มี C/N ratio ระดับต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเหมาะสมของปุ๋ยหมักที่มี C/N ratio ระดับต่าง ๆ

ดัชนีคุณภาพ	C/N ratio	หมายเหตุ
10	0-20/1	ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีมาก
8	21/1-25/1	ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี นำมาใช้ปรับปรุงดินได้ แต่ต้องระมัดระวังพอสมควร เช่น ควรใช้ใส่คลุมดินหรือใส่ทิ้งไว้ระยะหนึ่งก่อนปลูกพืช
ห้ามใช้	> 25/1	ไม่ควรนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน

ที่มา : มุกดา (2545ข)

10.) **สิ่งเจือปน** สิ่งเจือปนที่ปรากฏ อาจมีวัสดุต่าง ๆ ที่เป็นพิษหรือเป็นอันตราย เช่น ดิน หิน กรวด ทราย และพลาสติก เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เนื่องจากไม่มีผลประโยชน์แก่พืช และเป็นเรื่องยากในการกำจัดออกไปในกระบวนการหมักปุ๋ย

11.) **ปริมาณธาตุอาหารหลัก** ปุ๋ยหมักจะมีปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งที่มาของวัสดุหมักที่นำมาใช้ในการผลิต โดยทั่วไปปุ๋ยหมักจะมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองของพืชเกือบครบถ้วน แต่จะมีในปริมาณค่อนข้างต่ำ

12.) **วัตถุอันตราย** วัตถุอันตรายอาจมาจากชนิดและแหล่งที่มาของวัตถุดิบ เช่น ถ้าเป็นปุ๋ยหมักที่ผลิตจากขยะชุมชน จะมีวัตถุอันตรายที่ถูกทิ้งมากับขยะจะทำให้ปนเปื้อนในดินและยากต่อการแก้ไข รวมถึงปุ๋ยหมักจากอุตสาหกรรมที่มีวัตถุอันตรายเจือปนไม่ควรพิจารณานำมาใช้ในการเกษตร เพราะอาจมีผลต่อผู้นำปุ๋ยหมักไปใช้โดยตรง (มุกดา, 2545ข)

2.1.7 ลักษณะปุ๋ยหมักที่นำไปใช้ได้แล้ว

1.) **สี :** มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือดำ

2.) **ลักษณะวัสดุ :** มีลักษณะยุ่ย ละเอียด แยกขาดออกจากกันได้ง่าย

3.) **กลิ่น :** ไม่มีกลิ่นเหม็นแต่มีกลิ่นคล้ายลักษณะดินธรรมชาติ

4.) **ความร้อนในกองปุ๋ย :** อุณหภูมิในกองปุ๋ยลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก

5.) **การเจริญของพืชบนกองปุ๋ย :** เมล็ดพืชงอก และเจริญเติบโตบนกองปุ๋ยหมักได้

6.) **ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)** เท่ากับหรือน้อยกว่า 20 : 1 (นิรนาม, 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมัก กระบวนการย่อยสลายเศษวัสดุในกองปุ๋ยหมักเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง จนกระทั่งเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ความร้อน และสารประกอบฮิวมัส กระบวนการย่อยสลายดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกันในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักจะเปลี่ยนแปลงไปตามขั้นตอนโดยระดับอุณหภูมิจะเปลี่ยนไป ชนิดและปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทำให้แต่ละช่วงมีเชื้อจุลินทรีย์ที่โดดเด่นแตกต่างกันออกไป

2.2.1 ระยะของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

1. ระยะแรกอุณหภูมิปานกลาง (Initial Mesophilic Stage) จุลินทรีย์ใช้น้ำตาล และสารอาหารที่ย่อยง่ายอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิในกองวัสดุเพิ่มสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ในระยะนี้แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลางจะมีมากที่สุด

2. ระยะอุณหภูมิสูง (Themophilic Stage) เกิดขึ้นต่อจากระยะอุณหภูมิปานกลาง ช่วงระยะนี้อุณหภูมิในกองวัสดุจะสูงถึง 50-75 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้ช่วยทำลายเมล็ดวัชพืช ตัวอ่อนแมลงวัน และโรคพืชได้ ช่วงระยะนี้จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงจะเริ่มย่อยสารที่สลายยาก ควรกลับกองปุ๋ยเป็นครั้งคราว เพื่อเพิ่มการถ่ายเทอากาศและทำให้กองวัสดุมีความร้อนกระจายสม่ำเสมอ โดยกลับเอาวัสดุที่อยู่ภายนอกให้เข้ามาได้รับความร้อนภายในกอง

3. ระยะอุณหภูมิปานกลางครั้งที่ 2 (Second Mesophilic Stage) หรือระยะบ่ม (Curing Stage) เมื่อผ่านระยะอุณหภูมิสูงแล้ว แหล่งอาหารที่ใช้ได้ง่ายต่อจุลินทรีย์ลดน้อยลง กิจกรรมของจุลินทรีย์จึงลดต่ำลง อุณหภูมิภายในกองวัสดุมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศรอบกอง จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิระดับนี้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง โดยระยะนี้อาจกินเวลา 3-5 สัปดาห์หรือใช้เวลานานหลายเดือน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้และสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ย

เมื่ออินทรียสารในกองถูกย่อยสลาย สัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนของอินทรียสารจึงลดลง ในกระบวนการหมักข้างต้น ปริมาณคาร์บอนที่เคยมีในอินทรียสารกว่าร้อยละ 50 ได้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ธาตุอาหารส่วนมากยังคงอยู่ ดังนั้นความเข้มข้นของธาตุอาหารต่าง ๆ จึงมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของธาตุอาหารในวัสดุหมักก่อนนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก อุณหภูมิที่สูงในระยะอุณหภูมิสูง ได้ทำลายเมล็ดวัชพืชและไข่แมลง หรือแม้แต่เชื้อโรคต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเชื้อโรคของคนหรือเชื้อโรคของพืชออกไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเชื้อโรคของคนจะถูกทำลายไปตั้งแต่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ส่วนเชื้อราสาเหตุโรคพืชจะถูกทำลายเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส (ภัทรา, 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เชื้อจุลินทรีย์

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักดังกล่าวข้างต้นเกิดขึ้นเป็นขั้นตอนตามกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละกลุ่ม ซึ่งเห็นได้ว่ากระบวนการย่อยสลาย ดังกล่าวต้องอาศัยเชื้อจุลินทรีย์หลายประเภทประกอบกันในลักษณะของเชื้อผสม (Mix Culture) เชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. แบคทีเรีย (Bacteria) จุลินทรีย์พวกนี้มีขนาดค่อนข้างเล็ก แต่มีปริมาณที่สุดในกองปุ๋ยหมักประมาณร้อยละ 80–90 ของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในกองปุ๋ยหมัก โดยเฉพาะในช่วงของกระบวนการทำปุ๋ยหมัก และมักพบในปริมาณที่มากกว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นเสมอ ปริมาณของแบคทีเรียขึ้นกับสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก แบคทีเรียที่ค่อนข้างมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายและการเกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ *Bacillus sp.* นอกจากนี้ยังพบ *Clostridium sp.* ซึ่งสามารถสร้างสปอร์ได้เช่นกัน แต่เจริญในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน

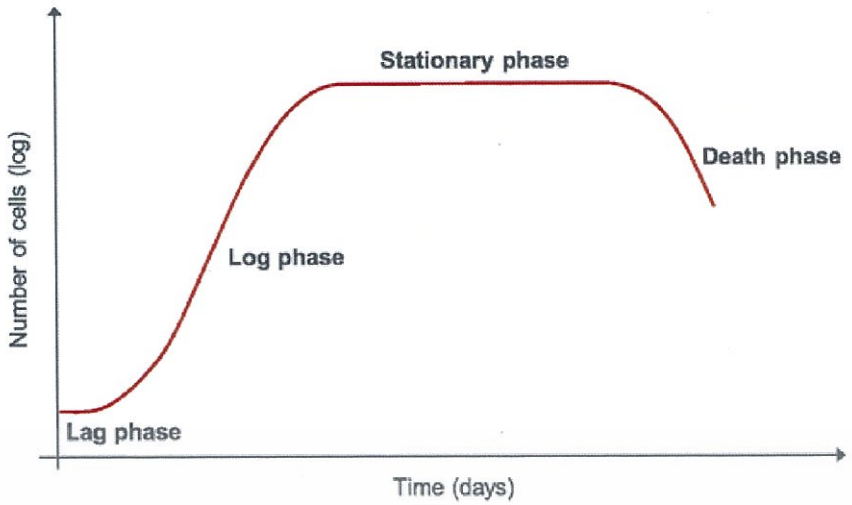
2. เชื้อรา (Fungi) เชื้อราเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ (Aerobe) ดังนั้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดนี้จึงต้องมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ ในกองปุ๋ยหมักพบเชื้อราอยู่เสมอ แต่ชนิดและปริมาณของเชื้อราจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ความชื้น และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม อุณหภูมิที่สูงขึ้นและมีความชื้นสูงเป็นสภาพที่เหมาะสมกับแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองปุ๋ยหมักซึ่งมีอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นน้อยกว่าในกองปุ๋ยหมัก จากการศึกษาในกองปุ๋ยหมักในช่วงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ยังสามารถพบเชื้อราได้ แต่เมื่ออุณหภูมิขึ้นสูงถึง 65 องศาเซลเซียส เชื้อราลดปริมาณลงอย่างมาก แต่เมื่ออยู่ในสภาพที่มีความชื้นน้อยกว่า พบว่าอุณหภูมิสูงขนาด 62–63 องศาเซลเซียส ยังสามารถพบเชื้อราได้

3. แอคติโนมัยซิส (Actinomycetes) แอคติโนมัยซิสมีอัตราการเจริญช้ากว่าแบคทีเรียและเชื้อรา จะเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศเพียงพอ เนื่องจากจุลินทรีย์นี้ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต เชื้อแอคติโนมัยซิสเมื่อเจริญเป็นจุดสีขาว ๆ คล้ายผงปูนขาวบนวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเห็นได้ในกองปุ๋ยหมักหลังจากอุณหภูมิขึ้นสูงถึงจุดสูงสุด (นิรนาม, 2556)

2.2.3 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกัน และทางผู้จัดทำไม่สามารถนำตัวอย่างการเจริญของจุลินทรีย์ทุกชนิดมาแสดงได้ จึงได้นำการเจริญเติบโตของแบคทีเรียซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีอยู่มากที่สุดในกองปุ๋ยหมักมาเป็นตัวอย่าง เมื่อนำแบคทีเรียจำนวนหนึ่ง ใส่ลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วรักษาสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ออกซิเจน ให้เหมาะสม กับการเจริญของแบคทีเรียจะพบว่าแบคทีเรียมีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนมากขึ้น รูปแบบของการเจริญของแบคทีเรียจะแบ่งเป็นระยะต่าง ๆ ได้ 4 ระยะ ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 รูปแบบของการเจริญของแบคทีเรีย
ที่มา : Tamara and Claudia (2016)

1. Lag phase **(ระยะพัก)** เป็นระยะแรกที่แบคทีเรียเริ่มพบกับอาหารและสิ่งแวดล้อมใหม่ แบคทีเรียจะปรับตัวให้เข้ากับอาหารและสิ่งแวดล้อมนั้น ระยะ lag นี้มีความยาวนานแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอาหารเลี้ยงเชื้อ ตอนระยะท้ายของระยะนี้ เซลล์อาจจะมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย และพร้อมที่จะแบ่งตัว โดยมีการสะสมสารอาหารบางอย่างไว้ภายในเซลล์

2. log phase **(ระยะแบ่งตัวทวีคูณ)** เป็นระยะที่แบคทีเรียมีการเพิ่มจำนวนมากที่สุด มีอัตราการแบ่งตัวคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากแบคทีเรียได้ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมแล้ว ระยะนี้จึงเป็นระยะที่มีการใช้อาหารอย่างรวดเร็ว และมีกิจกรรมสูง

3. Stationary phase **(ระยะคงจำนวนเซลล์)** เป็นระยะที่แบคทีเรียมีจำนวนคงที่ ซึ่งแสดงว่า อัตราเกิดเท่ากับอัตราตาย การที่แบคทีเรียเจริญแล้วเข้าสู่ระยะ stationary นี้เพราะมีอาหารในปริมาณที่จำกัดแบคทีเรียจึงเจริญช้าลง นอกจากนี้ ของเสียที่แบคทีเรียสร้างขึ้นยังยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียด้วย

4. Death phase **(ระยะเซลล์ตาย)** เป็นระยะสุดท้าย แบคทีเรียที่มีอยู่จะตายลงมากกว่าแบคทีเรียที่เพิ่มจำนวนขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะอาหารอาจหมด และมีสารพิษสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก (สมศักดิ์, 2528)

2.3 กากไขมัน

กากไขมันเหลือใช้ หรือกากไขมันเหลือทิ้ง (Waste Grease) หมายถึง ไขมันหรือน้ำมันที่ได้จากบ่อดักไขมัน เป็นส่วนลอยตัวขึ้นเหนือน้ำออกมาอยู่ชั้นบน หรือในถังหรือบ่อดักไขมัน ซึ่งพบได้ทั้งน้ำเสียจากบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม มักจะพบที่จุดรวบรวมกากไขมันในบ่อดักไขมัน ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นเครื่องใช้ ในบ้านหรือครัวเรือนโดยผ่านขั้นตอนการผลิตอย่างง่าย เช่น การผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเทียนไข สบู่ และใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินหรือปุ๋ยหมัก นอกจากนี้แล้วกากไขมันเหลือทิ้งยังสามารถผ่านกระบวนการทางเคมีขั้นสูง เพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบ ต่างๆ เช่น การผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันชีวภาพแบบต่าง ๆ แก๊สชีวภาพ และเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง เป็นต้น (นัทพงศ์, 2557)

2.4 ของเสียในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม

ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจากทะลายปาล์ม จะเริ่มจากการนำทะลายสด (FFB : Fresh Fruit Bunch) เข้าไปในหม้อนึ่งซึ่งมีความดันสูง 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพื่อให้ผลปาล์มหลุดจากทะลายในขั้นตอนนี้จะเกิดของเสีย 2 อย่าง ได้แก่ น้ำที่ออกจากทะลาย (Condensate) ประมาณร้อยละ 12 ของน้ำหนักทะลายสดและทะลายเปล่าประมาณร้อยละ 22 ของน้ำหนักทะลายสด ผลปาล์มที่แยกออกจากทะลายแล้วถูกแยกน้ำมันออก น้ำมันที่ได้มาจะผ่านการทำความสะอาดเพื่อแยกสิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำมัน (Sludge) ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.5 ทำให้ได้น้ำมันเปลือกผลปาล์มที่สะอาดประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักทะลายสด ส่วนเมล็ดในและเปลือกของผลปาล์มที่แยกน้ำมันจากเปลือกแล้วถูกแยกเปลือกผลปาล์มออก ซึ่งมีน้ำหนักประมาณร้อยละ 13.5 ของน้ำหนักทะลายสด ส่วนเมล็ดปาล์มถูกกะเทาะแยกเป็นกะลา (ร้อยละ 0.55) และเมล็ดใน (ร้อยละ 0.5) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการสกัดน้ำมันปาล์มจากทะลายปาล์ม 1,000 กิโลกรัม จะได้น้ำมันเพียง 250 กิโลกรัม โดยเป็นน้ำหนักจากเปลือก (CPO : Crude Palm Oil) ประมาณ 200 กิโลกรัมและน้ำมันจากเมล็ดใน (CKPO : Crude Palm Kernel) ประมาณ 50 กิโลกรัม ส่วนที่เหลือประมาณ 750 กิโลกรัม เป็นของเสีย ดังนั้นหากนำของเสียดังกล่าวมาเพิ่มมูลค่าก็จะทำให้มูลค่าของทะลายปาล์มเพิ่มขึ้น (ธีระพงศ์, 2551)

แนวทางการนำของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์

1. ส่วนของเหลว (Condensate) เป็นน้ำที่เกิดขึ้นในหม้อนึ่งทะลาย ที่มีความดัน 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งในสภาวะความดันดังกล่าวสามารถทำให้แป้งในทะลายปาล์มแตกตัวเป็นน้ำตาลได้ โดยปกติส่วนของเหลวจะถูกแยกน้ำมันออก แล้วระบายสู่บ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ดังนั้น หากนำส่วนของของเหลวมาทำให้เข้มข้นจะได้ส่วนของโมลาส (Molasses) เช่นเดียวกับโมลาสที่ได้จากโรงงานหีบอ้อย

2. ทะลายเปล่า (Empty fruit bunch : EFB) เป็นส่วนของทะลายที่สลัดผลปาล์มออกแล้ว ในอดีตทะลายเปล่ามีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมาก เนื่องจากเป็นที่วางไข่ของด้วงแรด ซึ่งเป็นแมลงที่กัดกินยอดปาล์มและมะพร้าว ดังนั้นโรงงานจะต้องเผาทะลายเปล่า ซึ่งทำได้ยากเนื่องจากมีความชื้นสูง แต่ปัจจุบันมีการนำทะลายเปล่าเป็นวัสดุในการเพาะเห็ด แต่ยังอาจนำไปใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าได้มากกว่าการเพาะเห็ด เนื่องจากในแกนทะลายเปล่ามีเส้นใยที่เหนียวสามารถนำมาใช้ทดแทนเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวได้ นอกจากนี้ทะลายเปล่ายังมีปริมาณธาตุอาหารสูง (ไนโตรเจนประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละ 1 ฟอสฟอรัสประมาณร้อยละ 0.7 และโพแทสเซียมประมาณร้อยละ 3) ซึ่งสามารถนำไปเป็นวัสดุในการผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ

3. เส้นใยเปลือกผลปาล์ม (Mesocarp Fiber) เป็นส่วนของผลปาล์มที่บีบน้ำมันออกแล้ว โดยปกติในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จะใช้เส้นใยเปลือกผลปาล์มเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อผลิตไอน้ำ (Boiler) เพื่อนำไอน้ำไปนึ่งทะลาย และผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงาน เส้นใยเปลือกผลปาล์มมีปริมาณธาตุอาหารใกล้เคียงกับทะลายเปล่าแต่มีปริมาณโพแทสเซียมน้อยกว่า จึงสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหมักได้เช่นกัน

4. กากสลัดจ์ (Decantor Cake) เป็นเศษของเปลือกผลปาล์มหรือสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำมันปาล์ม สิ่งเจือปนเหล่านี้จะถูกแยกออกในขั้นตอนสุดท้ายของการสกัดน้ำมัน กากสลัดจ์มีโปรตีนและแคลเซียมค่อนข้างสูง จะใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับนมวัว นอกจากนั้นยังใช้ผสมกับทะลายเปล่า เปลือกผลปาล์ม เพื่อผลิตปุ๋ยหมักได้อีกด้วย

5. กะลา (Shell) ในปัจจุบันใช้เชื้อเพลิงสำหรับหม้อผลิตไอน้ำ และกะลาสามารถแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ (Activate Carbon) ได้

งานวิจัยนี้จึงได้สนใจนำเส้นใยเปลือกผลปาล์ม และกากสลัดจ์จากบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด มาศึกษาเพื่อหาแนวทางในการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ และเพิ่มแนวทางการจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม

2.5 ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

การผลิตสินค้าของโรงงานอุตสาหกรรมจะมีการปลดปล่อยน้ำเสียออกมา และมีหลายประเภทที่ในน้ำเสียจะมีอินทรียสารปะปนออกมาจำนวนมาก สามารถแยกออกไปโดยการตกตะกอน ซึ่งตะกอนน้ำเสียมักจะอุดมไปด้วยธาตุอาหารพืชต่างๆ สามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยหมักได้ เช่น ตะกอนน้ำเสียโรงงานกลั่นสุรา โรงงานน้ำอัดลม แต่ถ้าเป็นตะกอนน้ำเสียจากโรงงานถลุงแร่โลหะ โรงงานแบตเตอรี่ มักจะมีโลหะหนักที่เป็นพิษติดออกมาด้วยในปริมาณค่อนข้างสูง ไม่ควรนำไปใช้เป็นปุ๋ยให้กับพืชที่รับประทานได้ แต่สามารถใช้กับไม้ดอกไม้ประดับได้ รวมถึงตะกอนน้ำเสียชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท อาจมีธาตุแคดเมียม และปรอทเจือปนออกมา เพราะฉะนั้นการจะนำตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมาทำปุ๋ยควรมีการตรวจสอบปริมาณธาตุโลหะหนักก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้พืชดูดธาตุโลหะหนักเข้าไปมาก และเกิดการสะสมโลหะหนักในดินจนเกินระดับที่ปลอดภัย แนวทางป้องกันในกรณีที่ดินมีธาตุโลหะหนักในปริมาณสูงอยู่แล้ว อาจป้องกันพืชดูดธาตุเหล่านี้เข้ามากไปโดยการปรับปฏิกิริยาดินให้มีความเป็นกรดน้อยลง ซึ่งจะทำให้ธาตุโลหะหนักเหล่านี้ละลายออกมาให้พืชดูดได้น้อยลง (นลินี, 2536 ; มุกดา, 2545ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอก คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากมูลสัตว์ต่าง ๆ ในรูปของเหลวและของแข็ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นมูลสัตว์เลี้ยง เช่น มูลวัว ไก่ เป็ด และสุกร เป็นต้น มูลสัตว์จะประกอบไปด้วยอุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ ซึ่งเป็นส่วนซากพืชและสัตว์จากอาหารที่ผ่านกระบวนการย่อยจากระบบย่อยอาหารของสัตว์ ปัสสาวะจะเป็นส่วนประกอบของเกลือและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช นอกจากนี้ปุ๋ยคอกยังช่วยป้องกันและรักษาดิน รวมถึงช่วยปรับปรุงดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช โดยร้อยละธาตุอาหารของปุ๋ยคอกจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ อายุของสัตว์เลี้ยง อาหารที่สัตว์กินและเวลาในการเก็บรักษาปุ๋ยคอก (มุกดา, 2543ก ; นลินี, 2536) ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกชนิดต่าง ๆ

ชนิดปุ๋ยคอก	pH	%ไนโตรเจน	%ฟอสฟอรัส	%โพแทสเซียม
มูลวัว, ควาย	7.8	1.10	0.40	1.60
มูลไก่	7.6	1.26	0.69	1.66
มูลเป็ด	7.5	1.04	1.84	2.11
มูลสุกร	6.9	2.70	2.40	1.00
มูลค้างคาว	6.3	1.54	14.28	0.60
มูลคน	-	0.50	0.10	0.04

ที่มา : มุกดา (2543)

2.7 เศษใบไม้

เศษใบไม้เป็นวัสดุที่หาง่าย และมีมากในทุกที่ เกษตรกรส่วนใหญ่กำจัดโดยการเผาซึ่งก่อให้เกิดเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการลดมลภาวะทางอากาศ จึงได้มีการนำเศษใบไม้เหล่านี้มาทำปุ๋ยหมักเพื่อปรับปรุงดินให้ดีขึ้น และเป็นการลดต้นทุนในการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร โดยเศษใบไม้จะไปช่วยเพิ่มพื้นที่ในกระบวนการหมัก ทำให้สามารถคลุกเคล้าส่วนผสมได้ดี และทำให้อากาศเข้าไปทั่วถึงได้ดีขึ้น (กลุ่มงานศึกษาและพัฒนาที่ดิน, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149482

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิรจิรวัสและคณะ (2558) ได้ศึกษาความเหมาะสมของกระบวนการทำปุ๋ยหมักร่วมระหว่างกากไขมัน ดินค่ำและขี้เลื่อย วัสดุหมักถูกเตรียมโดยการผสมกากไขมัน 19.5 กิโลกรัม ร่วมกับดินค่ำ 12.0 กิโลกรัมและขี้เลื่อย 8.5 กิโลกรัม กระบวนการหมักดำเนินการในถังหมักที่มีการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักเป็นระยะ จากนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมและคุณภาพของปุ๋ยหมักถูกประเมินในการทดลองนี้ ผลการทดลองแสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในถังหมักที่ 63 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะลดลงเท่าอุณหภูมิภายนอกที่ภายในระยะเวลา 76 วัน ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของผลผลิตปุ๋ยหมักพบว่า ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนและค่าพีเอชของปุ๋ยหมักเท่ากับ 17.5:1 และ 5.45 ตามลำดับ ขณะที่ความเข้มข้นของกากไขมันและปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ ร้อยละ 2.0 และ 35.0 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ความเข้มข้นรวมของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักเท่ากับ ร้อยละ 1.2,6.0 และ 28.8 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ สุดท้ายค่าดัชนีการงอกที่ร้อยละ 132.0 ที่พบในเมล็ดผักบุ้งจีน (*Ipomea aquatic Forsk*) แสดงศักยภาพของปุ๋ยหมักจากกากไขมันร่วมกับดินค่ำและขี้เลื่อยในการใช้เป็นสารปรับสภาพดิน

สมเดช (2543) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำกากไขมันจากถังดักไขมันมาทำปุ๋ยหมัก วัสดุเหลือใช้ที่นำมาผสมกับกากไขมันจากถังดักไขมันมาทำปุ๋ยหมัก โดยผสมกับวัสดุเหลือใช้ 2 ชนิด คือ ขี้เลื่อย และขุยมะพร้าว แล้วนำมาบรรจุในถังหมักในห้องปฏิบัติการ การทดลองเป็นแบบ bath จากการทดลองผสมกากไขมันร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแห้งกับขี้เลื่อยในถังหมักที่ 1 และขุยมะพร้าวในถังหมักที่ 2 โดยมีน้ำหนักกากไขมันเริ่มต้นร้อยละ 16.97 และ 16.79 อัตราการย่อยสลายน้ำมันในวัสดุหมักอยู่ที่ 2.7 และ 9.9 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมักต่อวัน ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดน้ำมันใช้เวลา 48 และ 13 วัน ตามลำดับ โดยให้ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันอยู่ที่ร้อยละ 85 เห็นได้ว่าใช้ระยะเวลาในการกำจัดน้อยกว่าและมีอัตราการย่อยสลายน้ำมันในวัสดุหมักสูงกว่าชุดขี้เลื่อย จึงนำขุยมะพร้าวมาใช้เป็นวัสดุหมักในขั้นต่อไป จากนั้นทดลองโดยหมักในสภาพที่ไม่มีและมีการเติมอากาศโดยผสมกากไขมันร้อยละ 40 โดยน้ำหนักแห้งกับขุยมะพร้าวแล้วบรรจุในถังหมักที่ 3 ซึ่งไม่มีการเติมอากาศและถังหมักที่ 4 ซึ่งมีการเติมอากาศ โดยมีน้ำมันในกากไขมันเริ่มต้นร้อยละ 31.76 และ 33.44 การย่อยสลายของน้ำมันในกากไขมัน มีอัตรา 4.3 และ 9.1 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมักต่อวัน ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักอยู่ที่ 65 และ 30 วันตามลำดับ โดยที่ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันอยู่ที่ร้อยละ 85 ซึ่งเห็นว่าการเติมอากาศใช้ระยะเวลาในการกำจัดน้อยกว่าและมีอัตราการย่อยสลายน้ำมันในวัสดุหมักสูงกว่าจึงเลือกใช้สภาวะที่มีการเติมอากาศ และทำการทดลองแปรผันปริมาณกากไขมันเป็นร้อยละ 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนักแห้งกับขุยมะพร้าวซึ่งบรรจุในถังหมักที่ 4, 5 และ 6 มีน้ำมันในกากไขมันเริ่มต้นร้อยละ 33, 44, 41.85 และ 50.03 ตามลำดับ มีการเติมอากาศในถังหมักทั้ง 3 ชุดทดลอง อัตราการย่อยสลายน้ำมันในวัสดุหมักเป็น 9.1, 7.9 และ 7.3 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมักต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักอยู่ที่ 35, 47 และ 58 วัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันอยู่ที่ ร้อยละ 95 สรุปได้ว่า ปริมาณกากไขมันระหว่างร้อยละ 40 ถึง 60 โดยน้ำหนักแห้ง สามารถนำไปทำปุ๋ยหมักที่มีขุยมะพร้าวเป็นวัสดุผสมได้ดี โดยระยะเวลาที่ใช้หมักขึ้นกับปริมาณกากไขมันที่ใช้เริ่มต้น เมื่อนำปุ๋ยที่ได้จากการหมักมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่ามาตรฐาน เพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน จึงต้องเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสโดยอาจใช้วัสดุที่มีธาตุฟอสฟอรัสสูง ๆ เช่น กระดูกป่น ขี้เถ้ากระดูก เป็นต้น ผสมกับปุ๋ยหมักที่ได้

สุภา (2538) ได้ศึกษาการนำเศษอาหารมาหมักเป็นปุ๋ย เพื่อมาใช้ประโยชน์ในด้านการปรับปรุงดิน โดยใส่ลงในถังพลาสติกขนาด 10 ลิตร มีกระถางรองก้นถังเพื่อไม่ให้น้ำขัง แล้วเปรียบเทียบระหว่าง 3 กลุ่ม โดย กลุ่ม 1 เป็นกลุ่มควบคุม ไม่เติมอะไรเลย กลุ่มที่ 2 เติมปุ๋ยคอก 100 กรัมต่อเศษอาหาร 1 กิโลกรัม และกลุ่มที่ 3 เติมหัวเชื้อปุ๋ยหมัก เพชร-วิทย์-1 100 กรัมต่อเศษอาหาร 1 กิโลกรัม พบว่า เศษอาหารที่หมักด้วยเชื้อปุ๋ยหมัก เพชร-วิทย์-1 ย่อยสลายได้เร็วและไม่มีกลิ่นรบกวน รองลงมาคือกลุ่มที่หมักด้วยปุ๋ยคอกและกลุ่มควบคุม ตามลำดับ แต่ทั้งสองกลุ่มหลังมีกลิ่นเหม็นเน่า และส่งตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยหัวเชื้อ เพชร-วิทย์-1 ไปวิเคราะห์ พบว่าประกอบด้วยธาตุอาหารไนโตรเจนร้อยละ 2.5 ฟอสเฟตทั้งหมดร้อยละ 2.1 ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ร้อยละ 1.9 โพแทสเซียมที่ละลายน้ำร้อยละ 0.2 คาร์บอนร้อยละ 40.3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) 16:1 เมื่อทดลองปลูกต้นข้าวโพด โดยเปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยคอก การใส่ปุ๋ยหมักจากเศษอาหารและกลุ่มควบคุมซึ่งไม่ใส่ปุ๋ยเลย พบว่า ข้าวโพดที่ใส่ปุ๋ยหมักจากเศษอาหารเจริญเติบโตได้ดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย ความสูงและน้ำหนักแห้งสูงกว่ากลุ่มที่ใส่ปุ๋ยคอก และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อิสระและวิบูลย์ลักษณ์ (2554) ได้ศึกษาการบำบัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีววิทยาโดยอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มยีสต์ น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋องซึ่งมีไขมัน น้ำมัน และโปรตีนเป็นองค์ประกอบ มีค่า ซีโอดี 3,680 มิลลิกรัมต่อลิตร ไขมันและน้ำมัน 2,822 มิลลิกรัมต่อลิตร และโปรตีน 714 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบการบำบัดด้วย ยีสต์ 3 สายพันธุ์ที่ผ่านการทดสอบการผลิตเอนไซม์ไลเปสขั้นปฐมภูมิแล้ว ได้แก่ *Candida maltosa*, *Candida tropicalis* และ *Yarrowia lipolytica* โดยการทดลองแบบแบทช์ ที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 85, 82 และ 95 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดไขมันและน้ำมันเท่ากับร้อยละ 53, 51 และ 82 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า *Yarrowia lipolytica* เป็นยีสต์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดใน การบำบัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย โดยชีวมวลของยีสต์ที่ได้มีทั้งชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างครบถ้วนในปริมาณสูง และผ่านเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าตามมาตรฐานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) นั่นคือมีลักษณะสมบัติที่สามารถนำไปใช้เป็นอาหารเสริมประเภทโปรตีนสำหรับสัตว์ได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G.Silvestre *et al.* (2011) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผลผลิตที่ได้จากโรงบำบัดน้ำเสียมาย่อยรวมกับตะกอนน้ำเสีย เช่น กากไขมันที่ได้จากการดักด้วยระบบแยกไขมันออกจากน้ำ โดยจะทำการปั่นกวนอย่างต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 วัน ซึ่งมีการแบ่งช่วงการเติมไขมันออกเป็น 3 ช่วง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของไขมันจนมีปริมาณร้อยละ 23 จะทำให้ได้ผลผลิตของแก๊สมีเทนถึงร้อยละ 138 พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจวัดในการทดลองนี้ ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้ ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการทางเคมี ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนีย ค่าความเป็นด่าง ปริมาณซัลเฟต และความเข้มข้นของไขมัน ส่วนผลผลิตที่วัดจะออกมาในรูปของก๊าซชีวภาพซึ่งตรวจสอบโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

Orapin. *et al.* (2002) ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดทางชีวภาพของน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันในปริมาณสูงโดยเลือกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสได้ ดำเนินการในสองการทดลองกับสองกลุ่มของแบคทีเรียคือการเพาะเลี้ยงเดี่ยวและการเพาะเลี้ยงผสม ในการทดลองแรกนำน้ำเสียของอุตสาหกรรมเบเกอรี่มาบำบัดด้วยแบคทีเรีย 4 สาย ผลการศึกษาพบว่าไขมันในรูปแบบของไขมันและน้ำมันและค่าซีโอดีลดลงอย่างน่าสนใจ ที่กลุ่มการเพาะเลี้ยงเดี่ยวกำจัดไขมันและน้ำมันและค่าซีโอดีได้ ร้อยละ 73-88 และ 81-99 ในช่วงระหว่างการบำบัด 7 วันแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียสายพันธุ์ KUL8 และ KUL39 มีกิจกรรมการย่อยสลายที่ดีกว่า และจากผลการศึกษาพบว่าในการทดลองบำบัดด้วยการเพาะเลี้ยงเดี่ยวนั้นดีกว่าการเพาะเลี้ยงผสม ในการทดลองที่สอง นำน้ำเสียจากระบบบำบัดจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มและอุตสาหกรรมเบเกอรี่มาบำบัดด้วยแบคทีเรีย 6 สายพันธุ์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทั้ง 6 สายพันธุ์ พบว่าในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีการย่อยสลายดีกว่าน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเบเกอรี่ อย่างไรก็ตามแบคทีเรียสายพันธุ์ KUL8 และ KUL39 ยังคงแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการย่อยสลายที่ดีกว่า ทั้งสองสายพันธุ์สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันจากในน้ำเสียน้ำมันปาล์มได้ร้อยละ 87.7 และ 80.6 และในน้ำเสียเบเกอรี่ได้ร้อยละ 70 และ 64 ตามลำดับ ค่าซีโอดีลดลงไปถึงร้อยละ 90-96 ส่วนการเพาะเลี้ยงผสมระหว่างแบคทีเรียสายพันธุ์ KUL8, KUL39 และ KLB1 ถูกนำไปใช้กับน้ำเสียทั้งสองชนิด ผลการทดสอบพบว่าในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มที่บำบัดด้วยการเพาะเลี้ยงเชื้อเดี่ยวของแบคทีเรียสายพันธ์ KUL8, KUL39 และ KUB1 ให้ผลดีกว่าในขณะที่การเพาะเลี้ยงแบบผสม โดยนำแบคทีเรียสายพันธ์ KUL8 ผสมกับ KLB1 เหมาะสำหรับใช้ในน้ำเสียอุตสาหกรรมเบเกอรี่ โดยแบคทีเรียที่ถูกนำมาทดลองทั้งสามสายพันธุ์นั้น คือ *Acinetobacter sp.* (KUL8), *Bacillus sp.* (KUL39), และ *Pseudomonas sp.* สายพันธุ์ทั้งหมดอาศัยอยู่ในช่วงอุณหภูมิปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งสามสายพันธุ์นี้ยังผลิตเอนไซม์อะไมเลสและเอนไซม์โปรติเอส ซึ่งกระตุ้นให้เกิดการบำบัดของเสียที่ดีกว่า

S.A. Rawoteea *et al.* (2017) ศึกษาผลกระทบของกล่องกระดาษจากกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษผัก โดยการทดลองนี้ได้ทำการทดลองหมักปุ๋ยขนาด 80 ลิตร ซึ่งทำการผสมด้วยกัน 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร (สูตรผสม 1, 2 และ 3) ประกอบด้วย 1.) เศษผัก กระดาษ 2 กิโลกรัม และสารเพิ่มปริมาณ 2.) เศษผัก กล่องกระดาษ 1.5 กิโลกรัม และสารเพิ่มปริมาณ 3.) เศษผัก กล่องกระดาษ 4.5 กิโลกรัม และสารเพิ่มปริมาณ โดยมีการวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระยะเวลา 50 วัน คือ อุณหภูมิ พีเอช ระดับความชื้น อัตราการหายในร้อยละของแข็งที่ระเหยได้ และค่าการนำไฟฟ้า โดยปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตรนั้นไม่มีสูตรใดที่อุณหภูมิเกินกว่า 55 องศาเซลเซียส (สูตรผสมที่ 1, 2 และ 3 มีอุณหภูมิเท่ากับ 43, 49 และ 51 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) เนื่องจากขนาดของภาชนะที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักมีขนาดเล็ก ค่าความชื้นของสูตรผสมที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับร้อยละ 67.8, 65.9 และ 62.6 ตามลำดับ ส่วนสูตรผสมที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดคือสูตรผสมที่ 2 ซึ่งบ่งชี้ถึงการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่สูงที่สุด

Shafiquzzaman *et al.* (2016) ศึกษาใยปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นวัสดุที่ง่ายต่อการย่อยสลายเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติและในการหมักหมักปุ๋ย โดยสามารถแบ่งตามสารอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักชีวภาพ ปุ๋ยหมักชีวภาพไม่เพียงแต่เป็นปุ๋ยชีวภาพที่ดีแต่เป็นตัวควบคุมทางชีวภาพที่ดีเพื่อต่อสู้กับเชื้อโรคพืชในดิน ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองทำปุ๋ยหมักจากทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า (EFB) จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ทำการทดลองโดยใช้สองความสามารถของเชื้อราสายพันธุ์ไตรโคเดอร์มาจากการวิเคราะห์ค่าพีเอช ในขั้นต้นพบว่าดินมีความเป็นกรดเล็กน้อย แต่ภายหลังการทำปุ๋ยหมักพบว่าดินมีค่าเป็นด่างขึ้น การขยายพันธุ์ของไตรโคเอดส์มาในดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 72 เมื่อเทียบกับเชื้อราตัวอื่น ค่าการนำไฟฟ้าของดินสำหรับปุ๋ยหมัก A คือ 50.40 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร สำหรับปุ๋ยหมัก B คือ 42.10 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร และสำหรับชุดควบคุม คือ 40.11 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร อัตราส่วน C/N สูงสุดที่ได้จากปุ๋ยหมัก A คือ 3.33 ตามด้วยปุ๋ยหมัก B คือ 2.79 และชุดควบคุม คือ 1.55 ค่าร้อยละของไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ที่พบในปุ๋ยหมัก A คือ (0.91:2.13:6.68) ตามด้วยปุ๋ยหมัก B คือ (0.46:0.83:5.85) และชุดควบคุม คือ (0.32:0.26:5.76) ดังนั้น การทำปุ๋ยหมักชีวภาพจากใยปาล์มน้ำมันแสดงให้เห็นความสามารถในการเพิ่มธาตุอาหารในดิน การเจริญเติบโตของพืช และเพิ่มปริมาณการเก็บเกี่ยวผลผลิต

Yuvaneswaran Krishnan *et al.* (2016) ศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเร่งกระบวนการการทำปุ๋ยหมักร่วมระหว่างทะลายปาล์มเปล่ากับตะกอนน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม โดยศึกษาสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าพีเอช และค่าความชื้น ของปุ๋ยหมักร่วมระหว่างทะลายปาล์มเปล่ากับน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม และศึกษาถึงชนิดของจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิค Metagenomic sequencing analysis ผลการศึกษาพบว่า ส่วนพื้นผิวปุ๋ยหมักอุณหภูมิ มีค่า 30 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 7.43 และค่าความชื้นร้อยละ 58.76 ส่วนข้างในปุ๋ยหมักอุณหภูมิ มีค่า 45 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 7.94 และค่าความชื้นร้อยละ 60.56 ตามลำดับ ในส่วนพื้นผิวปุ๋ยหมักการที่ความชื้นมีค่าสูงมาจากการนำตะกอนน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มมาหมักปุ๋ยร่วม ส่วนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์จำพวก Mesophilic bacteria ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ส่วนข้างในปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณพื้นผิว มาจากผลการทำงานของจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophilic bacteria) และพีเอชมีค่าเฉลี่ย 7.7 อาจเกิดจากการเกิดแอมโมเนีย จากปฏิกิริยาทางชีวเคมีของวัสดุที่มีไนโตรเจนในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AAnalyst 200, บริษัท PerkinElmer precisely
2. เครื่อง ยูวี-วิสสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UH5300, บริษัท HITACHI, ประเทศไทย
3. ชุดเครื่องกลั่นแอมโมเนีย (Ammonia) รุ่น Gerhardt, บริษัท Scientific Promotion Co., Ltd, ประเทศไทย
4. ชุดเครื่องย่อย (Digestion apparatus) รุ่น Gerhardt, บริษัท Scientific Promotion Co., Ltd, ประเทศไทย
5. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) รุ่น pH/Ion meter S220, บริษัท Mettler-Toledo AG ประเทศ สวิสเซอร์แลนด์
6. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) รุ่น Consort C860 บริษัท Chatcharee Holding
7. เครื่องชั่ง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) รุ่น TC-254, บริษัท Danver Instrument Company, ประเทศเยอรมนี
8. ตู้อบ (oven) รุ่น Memmert บริษัท Fisher Scientific
9. เครื่องให้ความร้อนและปั่นกวน รุ่น CB162, บริษัท Braloworld Scientific Ltd., ประเทศอังกฤษ
10. เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizontal Shalker) บริษัท GALLENKAMP
11. ชุดสกัดซอกห์เลต
12. เครื่องชั่งสปริง พิกัดน้ำหนัก 7 กิโลกรัม ยี่ห้อ Trade mark
13. เทอร์โมมิเตอร์แบบแอลกอฮอล์
14. เครื่องบดอาหาร รุ่น CP – 390 ยี่ห้อ OTTO
15. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
16. เครื่องแก้วต่าง ๆ
17. ถังน้ำพลาสติกขนาด 6 ลิตร, 28 ลิตร
18. ตะแกรงกลม ขนาดรูตะแกรง 10x3 มิลลิเมตร
19. กระบอกฉีด 250 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร
20. ท่อพีวีซี ขนาด 4 หุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. เครื่องปั๊มลม
22. สายยางขนาด 1 นิ้ว

3.2 สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie Pvt. Ltd., ประเทศอินเดีย
2. กรดซัลฟิวริก 98% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
3. กรดบอริก เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie Pvt. Ltd., ประเทศอินเดีย
4. เมทิลเรด เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific Europe ประเทศเบลเยี่ยม
5. เอทิลแอลกอฮอล์ 95% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
6. เมทิลีนบลู เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific Europe ประเทศเบลเยี่ยม
7. กรดกลูตามิก เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
8. โซเดียมคาร์บอเนต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
9. เฮกเซน เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
10. กรดไฮโดรคลอริก เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific Europe ประเทศเบลเยี่ยม
12. ฟีนอล์ฟทาลีน เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
13. แอมโมเนียมโมลิบเดท เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
14. แอมโมเนียมเมตาเวนาเดท เกรดวิเคราะห์ บริษัท BDH Laboratory Supplies, Poole. ประเทศอังกฤษ
15. โพแทสเซียมไดโครเมต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
16. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie Pvt. Ltd., ประเทศอินเดีย
17. แบเรียมไดฟีนิลลามีนซัลโฟเนต อินดิเคเตอร์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
18. แอมโมเนียมฟลูออไรด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific Europe ประเทศเบลเยี่ยม
19. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (แอนไฮดรัส) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
20. แอนติโมนีโพแทสเซียมตาร์เตรท เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
21. กรดแอสคอบิก เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
22. สารละลายแอมโมเนีย 25% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. กรดไนตริกเข้มข้น 68% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
24. โพแทสเซียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
25. เดวาดา แอลลอย เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie Pvt. Ltd., ประเทศอินเดีย
26. โพแทสเซียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท RFCL Limited, New Delhi ประเทศอินเดีย
27. ซีลีเนียม เกรดวิเคราะห์ วิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific Europe ประเทศเบลเยี่ยม
28. แมกนีเซียมออกไซด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific Europe ประเทศเบลเยี่ยม
29. แอมโมเนียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
30. คอปเปอร์ซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมนี
31. สารละลายมาตรฐานแคดเมียม บริษัท Ajax Finechem Pty. Ltd. ประเทศนิวซีแลนด์
32. สารละลายมาตรฐานโครเมียม เกรดวิเคราะห์ บริษัท Merck kGaA ประเทศเยอรมนี
33. สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem ty. Ltd. ประเทศเยอรมนี
31. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม บริษัท Panreac ประเทศบาเซโลน่า
30. สารละลายมาตรฐานเลด เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem Pty. Ltd. ประเทศนิวซีแลนด์

3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

1. แหล่งที่มาของวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

1.) กากไขมันที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นกากไขมันที่ได้มาจากถังดักไขมันของโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.) ตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลอง นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียของบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด

3.) ใยปาล์มที่นำมาใช้ในการทดลอง นำมาจากโรงคัดแยกใยปาล์มของบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด

4.) ปุ๋ยคอกที่นำมาใช้ในการทดลอง มาจากร้านขายอุปกรณ์ทางการเกษตรถนนร่มเกล้า

5.) เศษใบไม้ที่นำมาใช้ในการทดลอง เก็บรวบรวมจากบริเวณโดยรอบของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเตรียมตัวอย่างวัสดุหมักปุ๋ย

1.) การเตรียมตัวอย่างกากไขมัน ทำได้โดยตักกากไขมันจากถังดักไขมัน ดังรูปที่ 3.1 ใส่ลงยังถังที่มีตะแกรงกลมขนาดรูตะแกรง 10x3 มิลลิเมตร (mm) วางปิดอยู่ข้างบน และรองด้วยผ้าขาวบาง ดังรูปที่ 3.2 และวางตากแดดทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 วัน เพื่อเป็นการกรองน้ำออกจากกากไขมัน หลังจากนั้นนำกากไขมันที่ได้มาบดผ่านตะแกรงกลมขนาดรูตะแกรง 10x3 มิลลิเมตร เพื่อเป็นการลดขนาดกากไขมันและกำจัดเศษอาหารโมเลกุลใหญ่ และสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการออกไป ดังรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4

2.) การเตรียมตัวอย่างใยปาล์ม ทำได้โดยนำใยปาล์มตากแดดบนเสื่อน้ำมันเป็นระยะเวลา 4 วัน เพื่อป้องกันการเกิดรา และบรรจุเก็บไว้ในถุงดำที่เจาะรูไว้รอบ ๆ เพื่อระบายอากาศ ดังรูปที่ 3.5

3.) การเตรียมตัวอย่างตะกอนน้ำเสีย ทำได้โดยนำตะกอนน้ำเสียแห้งตากแดดเป็นระยะเวลา 1 วัน ก่อนนำไปใช้ ดังรูปที่ 3.6

4.) การเตรียมตัวอย่างปุ๋ยคอก ทำได้โดยนำปุ๋ยคอกที่ซื้อมาจากร้านขายอุปกรณ์ทางการเกษตร ถนนร่มเกล้า นำมาตากแดดให้แห้งก่อนนำไปใช้

5.) การเตรียมตัวอย่างเศษใบไม้ ทำได้โดยรวบรวมเศษใบไม้จากบริเวณโดยรอบคณะวิทยาศาสตร์ จากนั้นนำมาแยกเศษกิ่งไม้ออก ตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 3-5 มิลลิเมตร ก่อนนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ถังดักไขมัน โรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์

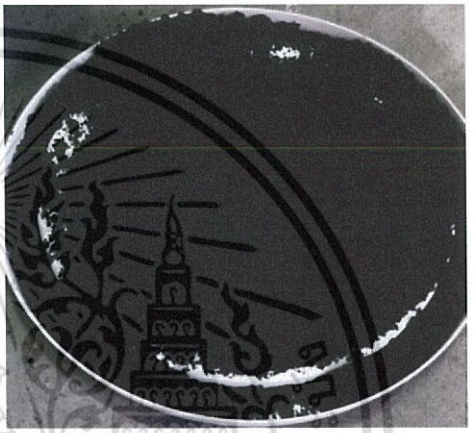
รูปที่ 3.2 ถังกรองกากไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างกากไขมันก่อนผ่านการบด

รูปที่ 3.4 วิธีบดตัวอย่างกากไขมันผ่านตะแกรง

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างใยปาล์ม



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างตะกอนน้ำเสียจากบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด

3. อุปกรณ์สำหรับใช้ในการหมักปุ๋ย

3.1) การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาหาปริมาณกากไขมัน และวัสดุหมักที่เหมาะสม

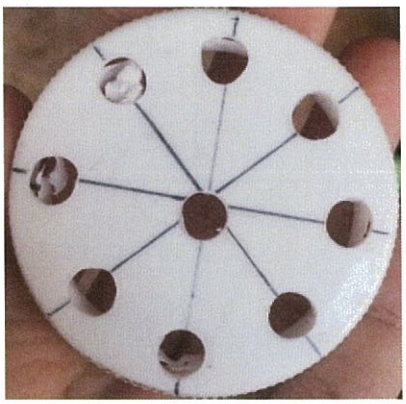
ขั้นตอนการทำถังหมักปุ๋ย

1. นำขวดน้ำพลาสติก ขนาด 6 ลิตร นำมาตัดส่วนท้ายออกโดยวัดจากก้นถังขึ้นมาประมาณ 12 เซนติเมตร เพื่อทำเป็นฐานรองน้ำที่ไหลออกจากกองปุ๋ยระหว่างการหมัก

2. นำฝาขวดน้ำพลาสติก มาทำการเจาะรูโดยรอบ โดยให้มีระยะห่างของรูที่เท่ากัน เพื่อเป็นทางออกให้น้ำที่เกิดจากกระบวนการหมักปุ๋ยไหลออกไปยังฐานรองรับน้ำ ดังรูปที่ 3.7

3. นำข้อ 1-2 มาประกอบกันดังรูปที่ 3.9 และนำใยสังเคราะห์มาใส่ปิดบริเวณด้านในฝาถัง เพื่อกันไม่ให้ปุ๋ยหมักร่วงหล่นออกไป ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ลักษณะฝาขวดที่เจาะรูโดยรอบ

รูปที่ 3.8 วิธีบรรจุใยสังเคราะห์บริเวณด้านในฝาถัง

รูปที่ 3.9 ลักษณะถังปุ๋ยหมัก

3.2) การทดลองส่วนที่ 2 การศึกษาการทำปุ๋ยหมักเปรียบเทียบการหมักแบบมีการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

ขั้นตอนการทำถังหมักปุ๋ย

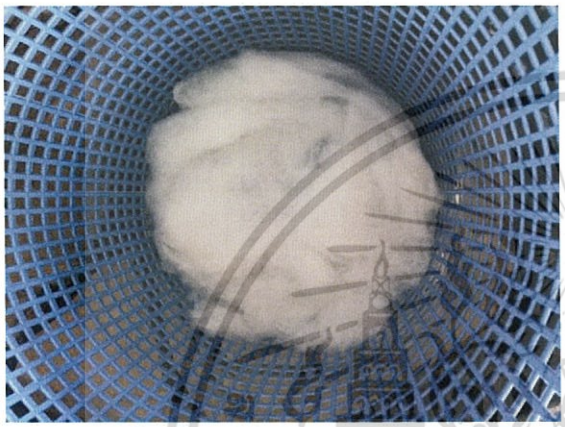
1. นำตะกร้ากลมทรงสูง ขนาดรูตะแกรง 10x3 มิลลิเมตร มาบรรจุใยสังเคราะห์บริเวณก้นตะแกรง และคลุมบริเวณด้านนอกด้วยถุงดำ เพื่อป้องกันไม่ให้ปุ๋ยหมักล่วงหล่นออกไป ดังรูปที่ 3.10 และ รูปที่ 3.12

2. นำตะกร้ากลมทรงสูงใส่ลงไปยังถังน้ำขนาด 28 ลิตร ที่มีอิฐตัวหนอนรองก้นถังเพื่อเป็นทางออกให้น้ำที่เกิดจากกระบวนการหมักปุ๋ยไหลออกได้ บริเวณด้านบนนำตะแกรงกลมขนาดรูตะแกรง 10x3 มิลลิเมตรที่บรรจุแกลบดำห่อด้วยผ้าขาวบางมาวางปิดไว้ เพื่อเป็นวัสดุดูดซับกลิ่น ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สำหรับถังไม่เติมอากาศหลังจากบรรจุแกลบดำแล้วให้ปิดด้วยฝาถัง ส่วนถังเติมอากาศให้นำท่อพีวีซีขนาด 4 หุน มีฝาท่อปิดส่วนท้ายมาเจาะรูระบายอากาศโดยรอบ โดยมีขนาดรู 1×1.5 เซนติเมตร (cm) ดังรูปที่ 3.13 จากนั้นนำไปบรรจุไว้ในบริเวณตรงกลางของตะกร้ากลมทรงสูง ก่อนทำการบรรจุปุ๋ยหมัก ดังรูปที่ 3.14

4. ถังเติมอากาศ ตะแกรงกลมให้ทำการเจาะรูเพื่อสอดสายให้อากาศขนาด 1 นิ้วลงไปยังท่อเติมอากาศ ดังรูปที่ 3.15 พร้อมต่อสายให้อากาศกับปั๊มลมเพื่อให้อากาศตลอด 24 ชั่วโมง จากนั้นบรรจุแกลบดำและปิดด้วยฝาถัง



รูปที่ 3.10 วิธีบรรจุใยสังเคราะห์บริเวณก้นตะแกรง

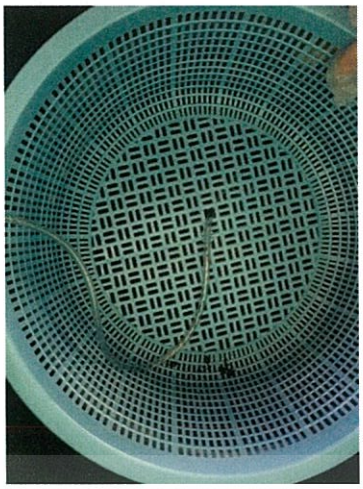
รูปที่ 3.11 แกลบดำในตะแกรงกลม

รูปที่ 3.12 วิธีคลุมถุงดำบริเวณนอกตะกร้า

รูปที่ 3.13 ลักษณะท่อให้อากาศสำหรับถังปุ๋ยหมักเติมอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 การบรรจุท่อให้อากาศในถังปุ๋ยหมักเติมอากาศ



รูปที่ 3.15 วิธีการบรรจุสายให้อากาศในถังปุ๋ยหมักเติมอากาศ

รูปที่ 3.16 ลักษณะถังปุ๋ยหมักแบบไม่เติมอากาศ

รูปที่ 3.17 ลักษณะถังปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศ

3.4 วิธีการทดลอง

การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของวัสดุหมักปุ๋ย กากไขมัน และปุ๋ยหมักที่ได้ ดังตารางที่ 3.1

3.4.1 การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาหาปริมาณกากไขมัน และวัสดุหมักที่เหมาะสม

1.) นำกากไขมันและวัสดุหมักมาผสมให้เข้ากัน โดยแปรผันปริมาณกากไขมัน 3 ค่า คือ ใช้กากไขมันร้อยละ 40, 50, 60 ตามอัตราส่วนดังรูปที่ 3.18 และตารางที่ 3.2

2.) คลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน และพรมน้ำให้ความชื้นเพียงพอ โดยควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 และบรรจุลงในถังหมักพลาสติกขนาด 6 ลิตร

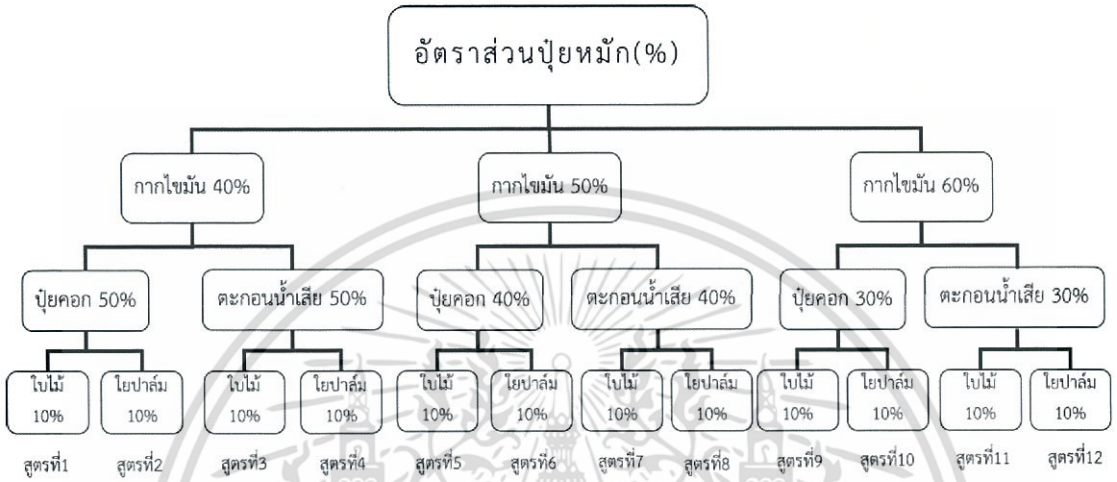
3.) ทำการหมักปุ๋ยสูตรละ 3 ซ้ำ จะได้รวมทั้งสิ้น 12 สูตร 36 ถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) คลุมกองปุ๋ยด้วยตาข่ายเพื่อป้องกันแมลงและสิ่งแปลกปลอมตกลงไปในกองปุ๋ยหมัก ดังรูปที่ 3.19

5.) ดูแลรักษากองปุ๋ย โดยการกลับกองปุ๋ยทุกวันพฤหัสบดี เพื่อให้อากาศเกิดการถ่ายเท

6.) ทำการหมักเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 2 เดือน



รูปที่ 3.18 แผนภาพอัตราส่วนปริมาณกากไขมันและวัสดุในการหมักปุ๋ย

รูปที่ 3.19 ปุ๋ยหมักการทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาหาปริมาณกากไขมันและวัสดุหมักที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	กากไขมัน	ตะกอนน้ำเสีย	ใยปาล์ม	เศษใบไม้	ปุ๋ยคอก	ปุ๋ยหมัก	ปุ๋ยหมักเติมอากาศ	ปุ๋ยหมักไม่เติมอากาศ	วิธีการวิเคราะห์
อุณหภูมิ	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	เทอร์โมมิเตอร์
ความชื้น	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	evaporation ตามวิธีมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน 2547
ไขมันและน้ำมัน	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	วิธี Soxhlet ดัดแปลงจาก AOAC, 1990
ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Walkley-Black titration method ตามวิธีมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน 2547
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Kjeldahl Method ตามวิธีมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน 2547
ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	×	×	×	×	×	✓	×	×	Steam Distillation ตามวิธีมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน 2547
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	Vanadomolybdo-phosphoric acid ตามวิธีมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน 2547
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	×	×	×	×	×	✓	×	×	สารละลายสกัด Bray II ตามวิธีมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน 2547
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	Atomic absorption spectrophotometry (AAS)
C/N ratio	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Calcutation
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	pH meter
ค่าการนำไฟฟ้า	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	conductivity meter
ปริมาณโลหะหนัก Cd, Cr, Cu และ Pb	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	Atomic absorption spectrophotometry (AAS)

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของปริมาณกากไขมันและวัสดุในการทำปุ๋ยหมัก

สูตรปุ๋ยหมัก	กากไขมัน (kg wet wt)	ตะกอนน้ำเสีย (kg wet wt)	ปุ๋ยคอก (kg wet wt)	เส้นใยปาล์ม (kg wet wt)	เศษใบไม้ (kg wet wt)
สูตร 1	0.2	-	0.25	-	0.05
สูตร 2	0.2	-	0.25	0.05	-
สูตร 3	0.2	0.25	-	-	0.05
สูตร 4	0.2	0.25	-	0.05	-
สูตร 5	0.25	-	0.2	-	0.05
สูตร 6	0.25	-	0.2	0.05	-
สูตร 7	0.25	0.2	-	-	0.05
สูตร 8	0.25	0.2	-	0.05	-
สูตร 9	0.3	-	0.15	-	0.05
สูตร 10	0.3	-	0.15	0.05	-
สูตร 11	0.3	0.15	-	-	0.05
สูตร 12	0.3	0.15	-	0.05	-

3.4.2 การทดลองส่วนที่ 2 การศึกษาการทำปุ๋ยหมักเปรียบเทียบเปรียบเทียบการหมักปุ๋ยในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

1.) นำกากไขมันและวัสดุหมักมาผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วนของสูตรที่ดีที่สุดจากการทดลองส่วนที่ 1 โดยขยายขนาดการหมักให้เพิ่มขึ้น คือเพิ่มปริมาณรวมจาก 0.5 กิโลกรัม เป็น 2 กิโลกรัม

2.) คลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน และพรมน้ำให้ความชื้นเพียงพอ โดยควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 และบรรจุลงในถังหมักขนาด 28 ลิตร ที่เตรียมไว้ หมักปุ๋ยจำนวน 2 ถัง คือ ถังที่ 1 ได้มีการเติมอากาศเข้าไปเป็นระยะเวลาตลอด 24 ชั่วโมง และถังที่ 2 เป็นถังที่ไม่มีการเติมอากาศ

3.) ดูแลรักษากองปุ๋ย โดยการควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 ถ้าความชื้นน้อยให้ทำการพรมน้ำลงไป

4.) ทำการหมักเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

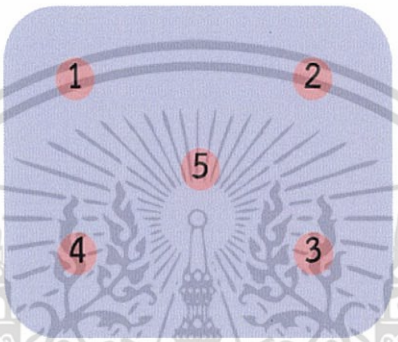
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การพิสูจน์กลิ่น

พิสูจน์โดยหาอาสาสมัครมาทดสอบกลิ่นแทนผู้ทำการวิจัย เนื่องจากผู้ทำการวิจัยจะมีการคุ้ยเคยกับกลิ่น โดยพิสูจน์ในสัปดาห์เริ่มต้น สัปดาห์ที่มีการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ และสัปดาห์สิ้นสุด

3.4.4 วิธีการวัดอุณหภูมิปุ๋ยหมัก

วัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบแอลกอฮอล์ วัดที่ตำแหน่งตรงกลาง และมุมทั้ง 4 มุมของถังหมัก ดังรูปที่ 3.20 และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ



รูปที่ 3.20 จุดวัดอุณหภูมิ 5 จุดบริเวณถังหมัก

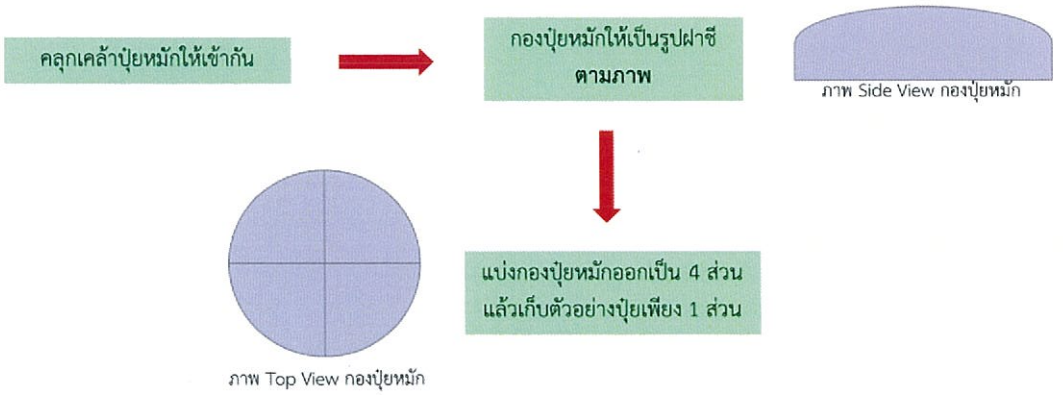
3.4.5 วิธีการเก็บตัวอย่าง

สำหรับการทดลองส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาหาปริมาณกากไขมันและวัสดุหมักที่เหมาะสม ก่อนการเก็บตัวอย่างต้องทำการวัดอุณหภูมิ ทำการกลับกองปุ๋ย และเติมน้ำให้มีความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 50-60 จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างใส่ถุงซิปล๊อค และรักษาสภาพตัวอย่างในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยวิธีการเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก ดังรูปที่ 3.21 และในการทดลองส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาการทำปุ๋ยหมักเปรียบเทียบการหมักแบบมีการเติมอากาศและไม่เติมอากาศให้พรวนปุ๋ยในถังให้คลุกเคล้ากัน และเติมน้ำให้มีความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 50-60 จากนั้นเก็บตัวอย่างใส่ถุงซิปล๊อค และรักษาสภาพตัวอย่างในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกัน

3.4.6 แผนการวิเคราะห์

ความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของตัวอย่างปุ๋ยหมักต่าง ๆ สำหรับการทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาหาปริมาณกากไขมันและวัสดุหมักที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 วิธีการเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 3.4 ความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาหาปริมาณกากไขมันและวัสดุหมักที่เหมาะสม

พารามิเตอร์	ความถี่ในการวิเคราะห์
พีเอช (pH)	2 สัปดาห์
อุณหภูมิ (Temperature)	วันจันทร์และพฤหัสบดี
ความชื้น (Humidity)	2 สัปดาห์
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	2 สัปดาห์
ไขมันและน้ำมัน	2 สัปดาห์
ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด	2 สัปดาห์
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	2 สัปดาห์
ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์	สิ้นสุดการทดลอง
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
ปริมาณโลหะหนัก Cd,Cr,Pb,Cu	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
C/N ratio	2 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ การทดลองส่วนที่ 2 การศึกษาการทำปุ๋ยหมักเปรียบเทียบการหมักแบบมีการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

พารามิเตอร์	ความถี่ในการวิเคราะห์
อุณหภูมิ (Temperature)	ทุกวัน
ไขมันและน้ำมัน	เริ่มต้นและสิ้นสุด
ปริมาณอินทรียวัตถุ	เริ่มต้นและสิ้นสุด
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	เริ่มต้นและสิ้นสุด
C/N ratio	เริ่มต้นและสิ้นสุด

3.4.7 การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์

1.) ในการวิเคราะห์กราฟมาตรฐานที่ได้ต้องมีระดับของสารไม่น้อยกว่า 5 ระดับและมีค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear correlation coefficient, R^2) เข้าใกล้ 1

2.) การวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละพารามิเตอร์ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกันอย่างน้อย 3 ซ้ำ เพื่อทดสอบความแม่นยำของผู้ทดสอบ และความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์

3.) การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) โดยวิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl) ทำได้โดยการหา %accuracy โดยสารมาตรฐานที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์คือกรดกลูตามิก ปริมาณ 1.000 g นำไปวิเคราะห์เหมือนตัวอย่างทุกขั้นตอน เกณฑ์การยอมรับ 90-110% อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ง

4.) การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์หาค่าคาร์บอนทั้งหมด (Total carbon) โดยวิธี Walkley and Black method ทำได้โดยการหา %accuracy โดยสารมาตรฐานที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ คือกลูโคส นำไปวิเคราะห์เหมือนตัวอย่างทุกขั้นตอน เกณฑ์การยอมรับ 90-110% อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ง

5.) การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Nitrogen) โดยวิธี Steam Distillation ทำได้โดยการหา %accuracy โดยสารมาตรฐานที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ คือแอมโมเนียมซัลเฟต [$(NH_4)_2SO_4$] โดยนำไปกลั่นที่เครื่องกลั่นแอมโมเนียและไทเทรตเหมือนตัวอย่างทุกขั้นตอน เกณฑ์การยอมรับร้อยละ 90-110 อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การศึกษาการกำจัดกากไขมันโดยกระบวนการทำปุ๋ยหมัก แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาปริมาณกากไขมันและวัสดุหมักที่เหมาะสม ทดลองหมักปุ๋ยโดยแปรกากไขมันแบ่งออกเป็น 3 อัตราส่วน คือ ร้อยละ 40, 50 และ 60 ต่อน้ำหนักรวมของปุ๋ยหมักในแต่ละสูตร (น้ำหนักเปียก) จากนั้นนำไปผสมกับวัสดุหมักต่าง ๆ รวมทั้งสิ้น 12 สูตร และในส่วนที่สองเป็นการศึกษาการทำปุ๋ยหมักเปรียบเทียบการหมักในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ โดยการเลือกปุ๋ยหมักจากการทดลองส่วนที่ 1 ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดกากไขมันสูงที่สุดมาศึกษาต่อในสภาวะดังกล่าว ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยหมักทั้ง 2 ส่วนการทดลอง ผลการศึกษา ดังนี้

4.1 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

ในการทดลองเพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือ และถูกต้องในการทดลอง จึงได้มีการทำประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ในแต่ละพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ดังต่อไปนี้

พีเอช ประกันคุณภาพโดยการเทียบมาตรฐานเครื่องวัดพีเอช

คาร์บอน ไนโตรเจน และไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ ประกันคุณภาพโดยการวิเคราะห์ปริมาณของกลูโคส กรดกลูตามิก และแอมโมเนียมซัลเฟตตามลำดับ ได้ร้อยละความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 105.49 102.93 และ 98.00 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การยอมรับร้อยละ 90-110 ดังนั้นการประกันคุณภาพการวิเคราะห์จึงสามารถเชื่อถือได้ ดัง ตารางที่ 4.1 อ่านรายละเอียดเพิ่มเติม ภาคผนวก ง.

ฟอสฟอรัสทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม และโลหะหนัก ประกันคุณภาพ โดยการทำกราฟมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่วัด และมีค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear correlation coefficient, R^2) เข้าใกล้ 1 ทุกพารามิเตอร์ ดังนั้นการการประกันคุณภาพการวิเคราะห์จึงสามารถเชื่อถือได้ ดังตารางที่ 4.2 อ่านรายละเอียดเพิ่มเติม ภาคผนวก ง.

4.2 สมบัติของวัสดุหมัก

ในการทดลองได้ศึกษาลักษณะของกากไขมันและวัสดุหมัก โดยการวิเคราะห์หาค่าเบื้องต้น ได้แก่ พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และน้ำมันในกากไขมัน ดังตารางที่ 4.3 จากการวิเคราะห์พบว่าปุ๋ยคอกและตะกอนน้ำเสียมีพีเอชค่อนข้างเป็นเบส ส่วนใยปาล์ม เศษใบไม้ และกากไขมันมีพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อนข้างเป็นเป็นกรด โดยตะกอนน้ำเสียเป็นวัสดุที่มีความชื้นสูงที่สุด กากไขมันที่นำมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วมมีปริมาณไขมันและน้ำมันเท่ากับร้อยละ 89.55 โดยน้ำหนักแห้ง และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงถึง 43.25 ซึ่งหากนำมาทำปุ๋ยหมักจะต้องใช้วัสดุหมักร่วมที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต่ำ เช่น ใยปาล์ม และตะกอนน้ำเสีย จึงมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์พบปริมาณของโลหะหนักในกากไขมัน คาดว่าอาจมีการปนเปื้อนจากถังดักไขมัน เนื่องจากถังดักไขมันมีลักษณะเป็นแบบเปิดและมีเศษวัสดุผสมตกอยู่ในถังดักไขมัน แต่เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการใช้ประโยชน์ที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรมแล้วไม่เกินค่ามาตรฐาน และไม่จัดว่าเป็นวัตถุอันตราย เทียบตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548

ตารางที่ 4.1 ผลการประกันคุณภาพผลการวิเคราะห์ TC, TN และ AN

ตัวอย่าง	TC		TN		AN	
	Glucose		Glutamic acid		Ammonium Sulfate	
	ค่าที่ได้	%ความถูกต้อง	ค่าที่ได้	%ความถูกต้อง	ค่าที่ได้	%ความถูกต้อง
1	42.31		9.45		20.80	
2	42.00	105.49	10.19	102.93	20.66	98.00
3	42.27		9.75		20.91	
$\bar{X}$	42.19		9.79		20.79	
S.D.	±0.17		±0.37		±0.13	

ตารางที่ 4.2 ผลการประกันคุณภาพผลการวิเคราะห์ TP, AP, K, Cd, Cr, Cu และ Pb

พารามิเตอร์	สมการ		R^2		เกณฑ์
	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 8	
TP	11.04x - 0.0022	10.92x - 0.001	0.9995	0.9996	R^2 เข้าใกล้ 1
AP	0.0397x - 0.0015	0.0403x + 0.0011	0.9995	0.9996	
K	27566.1677x		0.9995		
Cd	0.15618x		0.9997		
Cr	0.03355x		0.9995		
Cu	0.12406x		0.9990		
Pb	0.03061x		0.9991		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

พารามิเตอร์	วัสดุหมัก				
	ปุ๋ยคอก	ตะกอนน้ำเสีย	เศษใบไม้	เส้นใยปาล์ม	กากไขมัน
พีเอช	8.71 ±0.02	7.17 ±2.94	5.39 ±2.34	5.96 ±2.53	5.36 ±5.36
ความชื้น (%)	1.95 ±0.52	90.7 ±1.12	24.42 ±1.32	1.25 ±0.20	70.12 ±1.65
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	0.88 ±0.01	1.47 ±0.49	0.49 ±0.43	0.61 ±0.46	0.49 ±0.40
คาร์บอนทั้งหมด (%)	46.46 ±11.39	50.46 ±13.04	41.07 ±4.69	9.43 ±16.66	34.6 ±16.81
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	1.18 ±1.70	3.98 ±0.05	0.85 ±1.25	1.28 ±1.38	0.8 ±0.22
อัตราส่วน C/N	39.37	12.68	48.32	7.37	43.25
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.02 ±0.01	0.03 ±0.01	0.02 ±0.01	0.03 ±0.01	- -
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	3.8 ±0.12	3.96 ±0.03	2.28 ±0.23	2.57 ±0.13	0.38 ±0.06
ไขมันและน้ำมัน (%)	-	-	-	-	89.55 ±4.63
ทองแดง (mg/kg)	65.81 ±1.60	543.76 ±4.45	12.49 ±1.48	76.63 ±3.08	80.05 ±3.64
ตะกั่ว (mg/kg)	39.21 ±9.06	134.17 ±10.98	48.77 ±4.61	49.98 ±91.21	122.35 ±54.51
โครเมียม (mg/kg)	128.47 ±20.83	139.97 ±11.04	47.29 ±1.20	247.68 ±16.15	23.25 ±3.84
แคดเมียม (mg/kg)	8.62 ±3.68	15.25 ±2.54	9.61 ±4.39	7.7 ±3.18	19.18 ±6.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาปริมาณกากไขมัน และวัสดุหมักที่เหมาะสม

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการทดลองผสมกากไขมันร่วมกับวัสดุหมัก เพื่อศึกษาปริมาณกากไขมันและวัสดุหมักที่เหมาะสมในการกำจัดกากไขมัน โดยใช้ปริมาณกากไขมัน 3 อัตราส่วน คือ ร้อยละ 40, 50 และ 60 ต่อน้ำหนักรวมของปุ๋ยหมักในแต่ละสูตร (น้ำหนักเปียก) จากนั้นติดตามศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี ระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมัก ดังต่อไปนี้

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ

กลิ่น (Odor) ของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร ซึ่งถูกทดสอบโดยอาสาสมัคร เริ่มต้นมีกลิ่นที่คล้ายคลึงกันมาก แต่สูตรที่ใช้กากไขมันปริมาณร้อยละ 60 โดยน้ำหนักเปียก มีกลิ่นรุนแรงที่สุดเป็นกลิ่นเหม็นของกากไขมันจากเศษอาหาร มีลักษณะเหมือนกลิ่นอาหารบูด และกลิ่นท่อระบายน้ำ เนื่องจากกากไขมันที่นำมาใช้ไม่ได้ถูกตักขึ้นอย่างสม่ำเสมอ แต่เป็นกากไขมันกากจากเศษอาหารที่มีการสะสมมานาน ทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศจึงมีกลิ่นเน่าบูด ดังสมการที่ (4.1) เมื่อทำการหมักปุ๋ยได้ระยะเวลา 1 สัปดาห์ กลิ่นเหม็นของกากไขมันเริ่มจางลง โดยที่ปุ๋ยหมักที่ใช้ปุ๋ยคอกเป็นวัสดุหมักเหลือเพียงกลิ่นของวัสดุหมักคือกลิ่นใยปาล์มแห้ง ส่วนทางด้านของปุ๋ยหมักที่ใช้ตะกอนน้ำเสียเป็นวัสดุหมักยังมีกลิ่นของกากไขมันอยู่ เมื่อหมักปุ๋ยได้ 2 สัปดาห์ ปุ๋ยหมักทุกสูตรไม่มีกลิ่นของกากไขมันหลงเหลืออยู่ เหลือเพียงแต่กลิ่นของใยปาล์มแห้ง ยกเว้นปุ๋ยหมักสูตรที่ใช้ตะกอนน้ำเสียเป็นวัสดุหมักร่วมกับกากไขมันปริมาณร้อยละ 60 ยังมีกลิ่นของกากไขมันคงเหลืออยู่เล็กน้อย เมื่อครบระยะเวลาหมักปุ๋ย 3 สัปดาห์ ปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร ไม่หลงเหลือกลิ่นเหม็นของกากไขมันและมีกลิ่นคล้ายดิน เนื่องจากมีการกลับกองปุ๋ยทุก 2 สัปดาห์ ทำให้กองปุ๋ยถ่ายเทอากาศได้ดี จึงมีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอ และไม่ก่อให้เกิดสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์

$$\text{Org-C} \longrightarrow H_2O + CO_2 + CH_4 + H_2S + N_2 + \text{energy} \qquad (4.1)$$

อุณหภูมิ (Temperature) ของการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสัปดาห์แรก เริ่มต้นจาก 30.1 องศาเซลเซียส ไปที่อุณหภูมิ 40.0 องศาเซลเซียส ในปุ๋ยสูตรที่ 6 ดังตารางที่ 4.4 กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสารอินทรีย์ต่าง ๆ รวมถึงกากไขมัน ได้สารผลิตภัณฑ์ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกิจกรรมการย่อยสลายนี้เกิดได้ดีในวันที่ 5 ของการหมักปุ๋ย เพราะมีอุณหภูมิที่สูงที่สุดในระยะเวลาการทดลองหมักปุ๋ย หลังจากนั้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลงอย่างฉับพลันในวันที่ 11 ของการหมักปุ๋ย สาเหตุมาจากสภาพอากาศภายนอกที่ลดลงอย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์จึงไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากสภาพอากาศมีผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ หากสภาพอากาศภายนอกมีอุณหภูมิที่สูงจุลินทรีย์จะสามารถทำกิจกรรมการย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า และหากอุณหภูมิต่ำมากจะทำให้จุลินทรีย์ตายเพราะจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักเป็นจุลินทรีย์ประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermophile ดังนั้นจึงควรนำฉนวนหุ้มถังหมักเอาไว้เพื่อไม่ให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากถังหมักออกสู่ภายนอก เพราะอุณหภูมิภายนอกมีผลต่ออุณหภูมิของปุ๋ยหมักเป็นอย่างมาก โดยอุณหภูมิห้องตลอดการทดลองอยู่ระหว่าง 21.0 ถึง 32.2 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.1-4.3

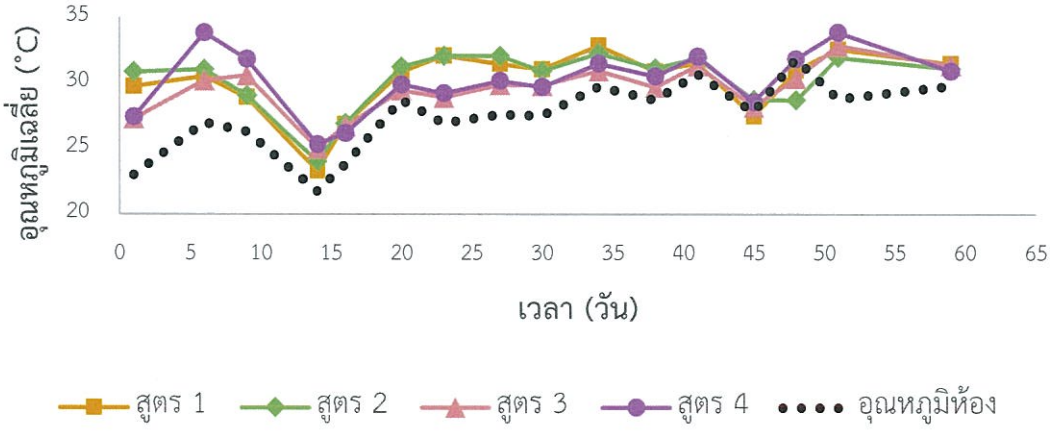
ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของปุ๋ยหมักในแต่ละสูตร

สูตร	อุณหภูมิสูงสุด (°c)	อุณหภูมิต่ำสุด (°c)
1	34.0	31.0
2	33.0	30.0
3	34.0	30.2
4	36.0	30.0
5	39.3	30.2
6	40.0	30.1
7	35.0	30.9
8	35.0	30.1
9	38.0	31.0
10	34.5	31.0
11	35.9	30.0
12	35.7	28.7

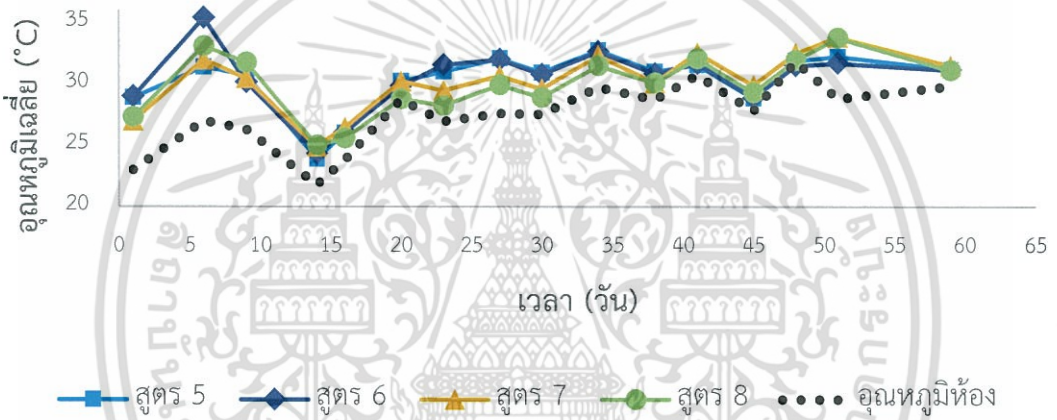
ความชื้น (Humidity) ของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตรตลอดระยะเวลาการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 29.50 ถึง 143.17 โดยในสัปดาห์แรกปุ๋ยหมักสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 11 และ 12 มีความชื้นที่สูงมากเนื่องจากความชื้นของกากไขมันที่ไม่สามามารถควบคุมได้ ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่ไม่เหมาะสมต่อการทำปุ๋ยหมัก การวัดความชื้นของปุ๋ยหมักในการทดลองนี้ใช้วิธีการสัมผัสโดยการบีบด้วยมือ ปุ๋ยหมักที่มีความชื้นเหมาะสมจะมีลักษณะเย็น และต้องไม่มีไม่มีน้ำหยดออกมา ซึ่งทำให้คาดเดาได้ยากและเกิดความผิดพลาดได้ง่ายกว่าการใช้เครื่องมือในการวัดความชื้น โดยความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำปุ๋ยหมักเท่ากับร้อยละ 50-60 โดยน้ำหนัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

พีเอช (pH) ของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร เริ่มต้นการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 4.84 ถึง 5.42 และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งวันที่ 59 ปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.77 ถึง 7.44 ดังรูปที่ 4.4-4.6 โดยสมเดช (2543) ได้อธิบายว่า ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดบัฟเฟอร์ (buffer)

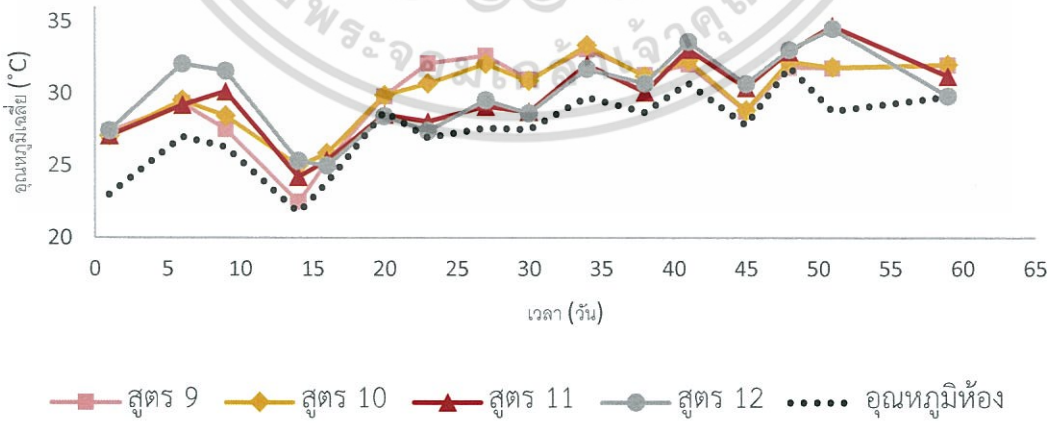
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอ่อน แอมโมเนีย และเบสอ่อน โดยค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ (4.2-4.4) และการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมเป็นไนเทรตระหว่างการเติมอากาศหรือพลิกกลับของวัสดุหมัก ดังสมการที่ (4.5-4.6) แต่หากไม่มีการกลับกองปุ๋ยจะทำให้ค่าพีเอชลดลง เนื่องจากอัตราการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดลงและการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมเป็นก๊าซแอมโมเนียระเหยออกไปจากระบบ

$$\text{Org-C} + O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad (4.2)$$

$$CO_2 + H_2O \longleftrightarrow H_2CO_3 \qquad (4.3)$$

$$\text{Org-N} + O_2 \longrightarrow NH_4^+ \qquad (4.4)$$

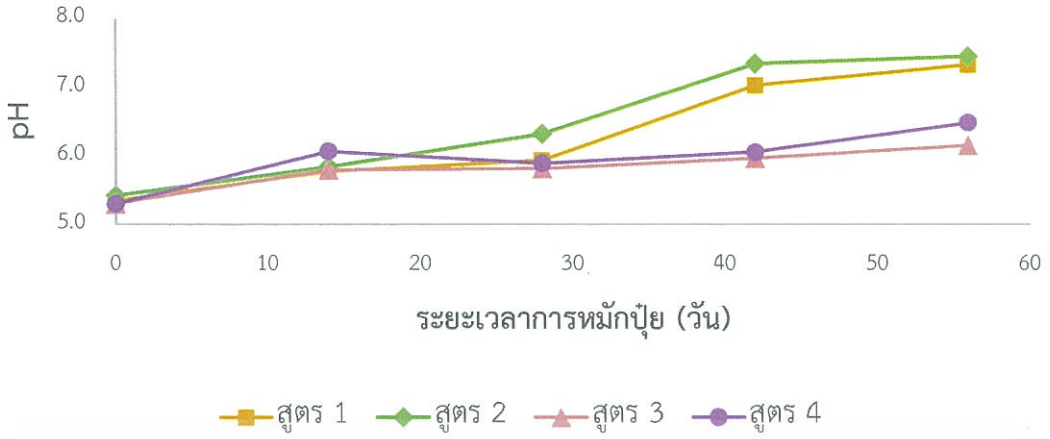
เมื่อมีการกลับกองปุ๋ย

$$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{energy} \qquad (4.5)$$

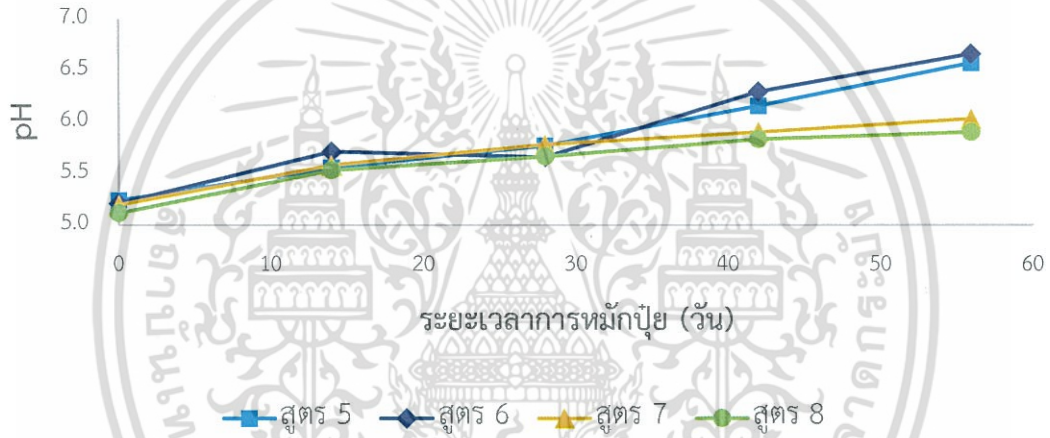
$$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^- \qquad (4.6)$$

ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร เริ่มต้นการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 0.29 ถึง 0.62 และมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 0.29 ถึง 0.52 ในวันที่ 59 ซึ่งค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าจึงสามารถนำมาประมาณค่าไอออนที่ละลายในน้ำเพื่อเป็นดัชนีชี้วัดค่าความเค็มซึ่งเป็นตัวรบกวนในการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนทั้งหมด ดังรูปที่ 4.7-4.9 ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าที่มากที่สุดคือ 0.82 2 dS/m ในปุ๋ยสูตรที่ 9 อาจเกิดจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน โดยเปลี่ยนจากรูปอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียมซึ่งเป็นไอออนที่สามารถละลายน้ำได้จึงทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่มีบางช่วงที่ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเนื่องจากจุลินทรีย์สามารถนำไอออนประเภทไบคาร์บอเนตและไนเทรตไปใช้ได้ ไอออนที่สามารถละลายน้ำได้จึงลดลงเป็นผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย ค่าการนำไฟฟ้าจึงไม่สามารถบอกแนวโน้มได้ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพราะการนำไอออนไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การย่อยอาหาร การเจริญเติบโต การสร้างเซลล์ใหม่ เป็นต้น จากการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 8 พบว่าปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร มีค่าความเค็มต่ำ เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 2 dS/m ดังนั้นจึงไม่มีผลเสียในกรณีที่นำปุ๋ยหมักไปปรับปรุงดินสำหรับปลูกพืชที่ไม่ทนเค็ม

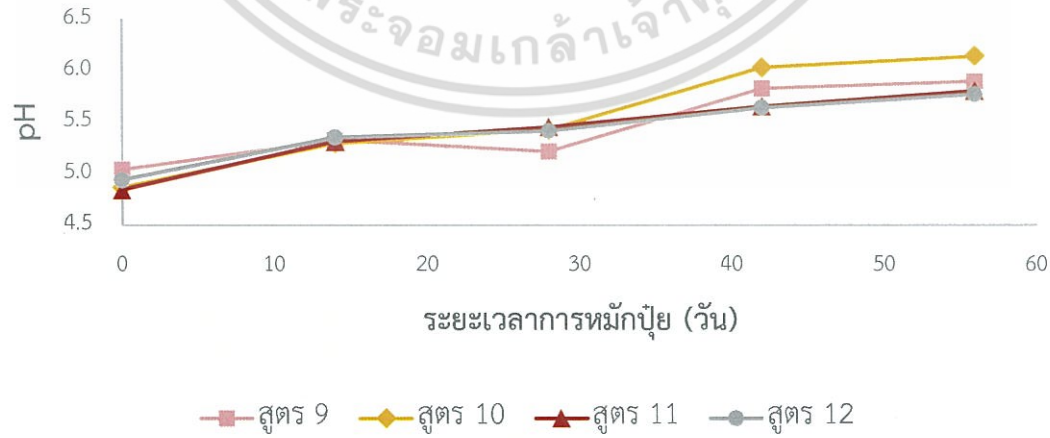
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4

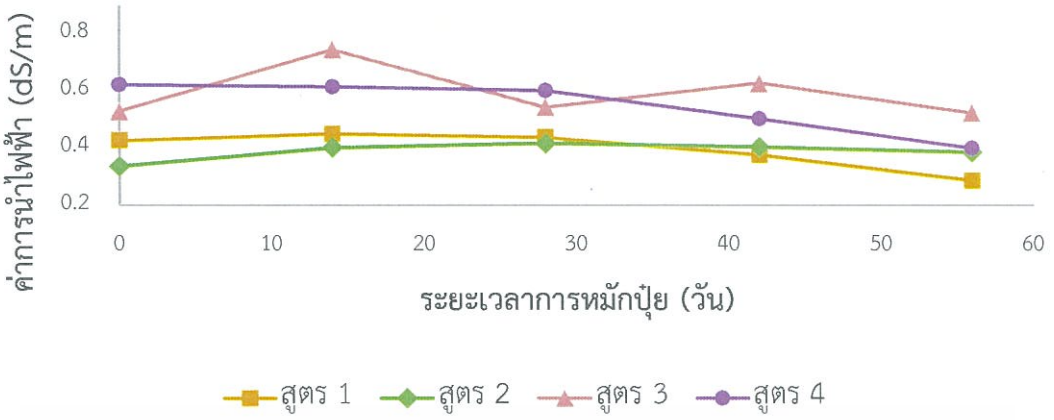


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8

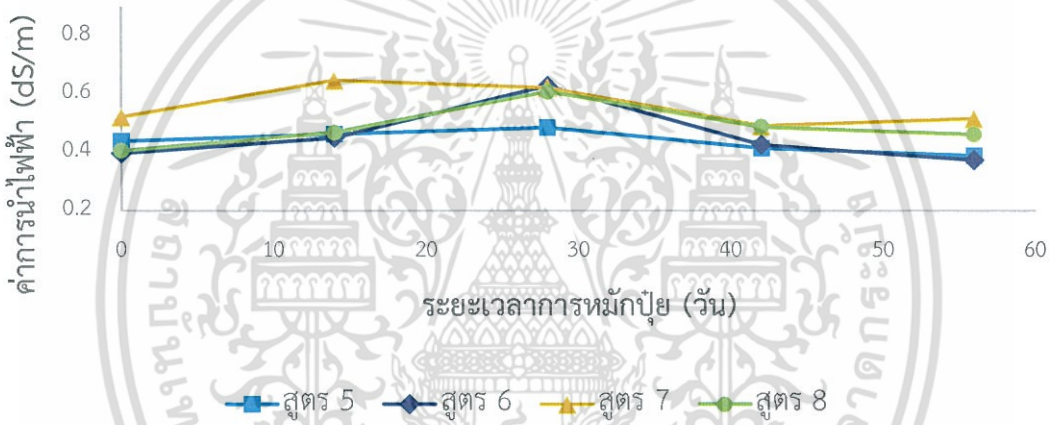


รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12

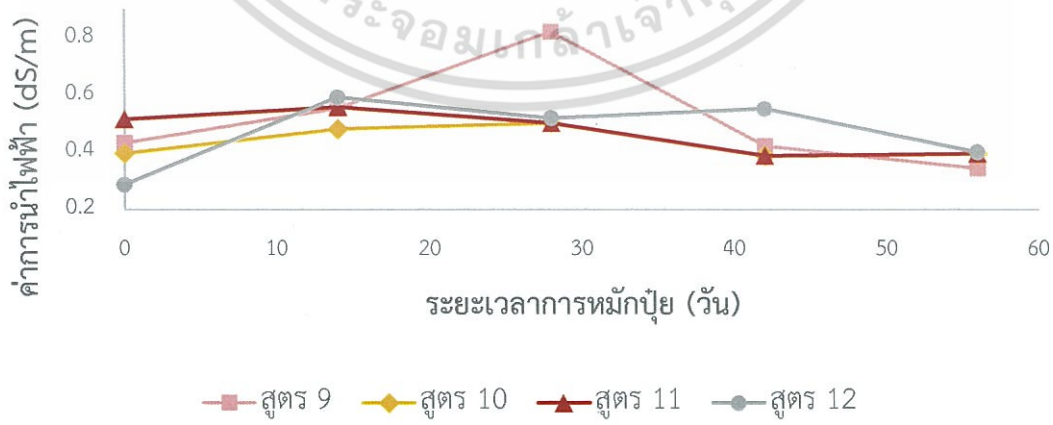
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

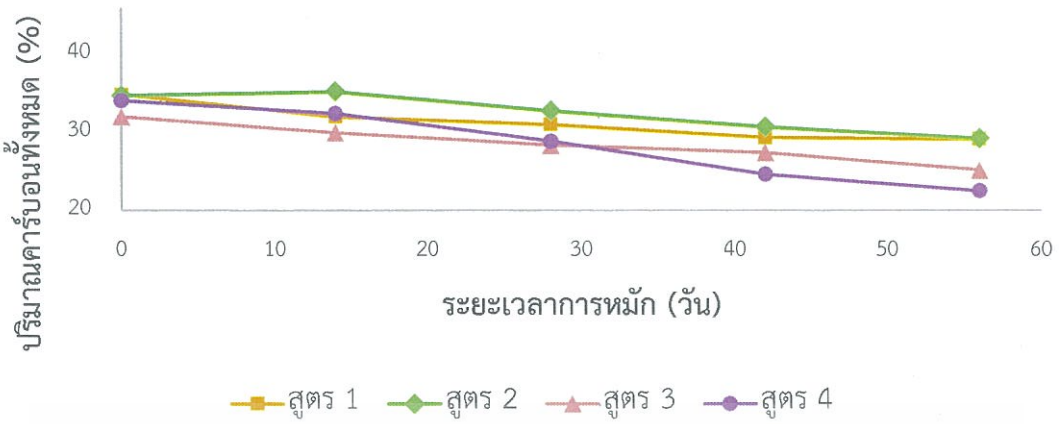
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี

คาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) เริ่มต้นการทดลองของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตรมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 29.69 ถึง 45.28 โดยน้ำหนักแห้ง และค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งวันที่ 59 มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 21.83 ถึง 29.30 โดยน้ำหนักแห้ง ดังรูปที่ 4.10-4.12 เนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ซึ่งจะไปย่อยสลายคาร์บอนจากวัสดุหมัก และกากไขมัน ส่วนการกลับกองปุ๋ยเป็นกระบวนการเพิ่มออกซิเจนให้กับกองปุ๋ยทำให้เกิดการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งช่วยลดปริมาณคาร์บอนได้ การลดลงของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเป็นส่วนหนึ่งของการกำจัดไขมันเช่นกัน เพราะไขมันมีองค์ประกอบส่วนมากเป็นคาร์บอน จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ใช้ปุ๋ยคอกเป็นวัสดุหมักจะสามารถลดปริมาณคาร์บอนทั้งหมดได้มากกว่าปุ๋ยหมักที่ใช้ตะกอนน้ำเสียเป็นวัสดุหมัก โดยปุ๋ยสูตรที่สามารถลดปริมาณคาร์บอนทั้งหมดได้มากกว่าร้อยละ 30 คือปุ๋ยสูตรที่ 4, 5 และ 10 ซึ่งปุ๋ยสูตรที่ 10 สามารถลดปริมาณคาร์บอนทั้งหมดได้มากที่สุด มีประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนทั้งหมดได้เท่ากับร้อยละ 36.69 เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตรมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณคาร์บอนทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ฉ.

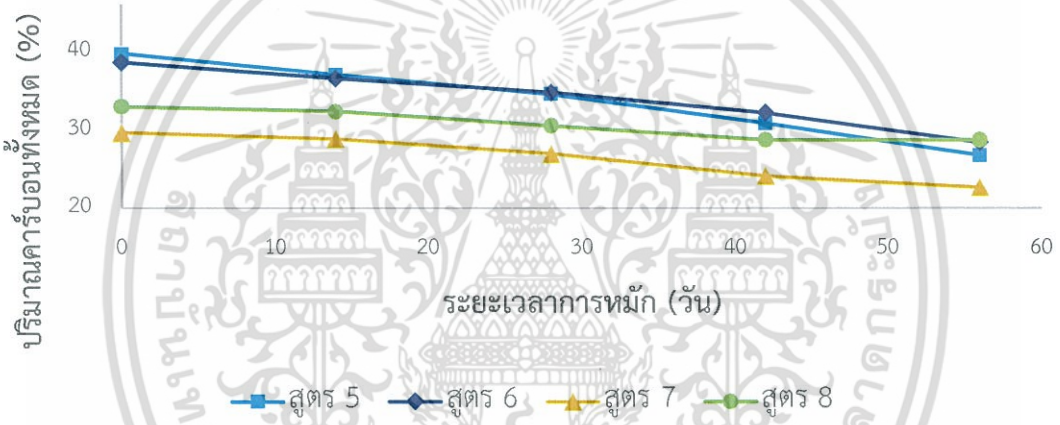
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) เริ่มต้นการทดลองของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตรมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.08 ถึง 2.14 โดยน้ำหนักแห้ง และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่ 8 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 1.53 ถึง 2.70 โดยน้ำหนักแห้ง ดังรูปที่ 4.13-4.15 เนื่องจากการสลายตัวของวัสดุหมักต่าง ๆ ในกองปุ๋ย และอาจมีการตรึงไนโตรเจนในอากาศของจุลินทรีย์ แต่มีบางช่วงของปุ๋ยหมักบางสูตรที่ค่าไนโตรเจนทั้งหมดลดลง โดยสมเดช (2543) อธิบายว่าการลดลงของปริมาณไนโตรเจนเกิดจากการระเหยของก๊าซแอมโมเนีย และได้อ้างถึงการทดลองของ Mahimairaja ว่าพบการลดลงของไนโตรเจนเช่นเดียวกัน ซึ่ง Mahimairaja ได้อธิบายไว้ว่า มูลสัตว์มีสัดส่วนของไนโตรเจนประมาณร้อยละ 80 อยู่ในรูปกรดยูริคและยูเรีย ซึ่งถูกไฮโดรไลท์มากกว่าร้อยละ 60 เป็นแอมโมเนียและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตรมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.52 ถึง 64.74 เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ฉ.

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) เริ่มต้นของกระบวนการหมักปุ๋ยทั้ง 12 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 15.92 ถึง 40.57 และค่อย ๆ ลดต่ำลงจนมีค่าอยู่ในช่วง 8.31 ถึง 22.76 ในวันที่ 59 ดังรูปที่ 4.16-4.18 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ลดลง เนื่องมาจากการลดลงของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์และการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักไม่ควรเกิน 20:1 (มุกดา, 2545ข) สูตรปุ๋ยหมักที่มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 20:1 ในสัปดาห์ที่ 8 คือ สูตรที่ 9 ซึ่งประกอบไปด้วย กากไขมันร้อยละ 60 ปุ๋ยคอกร้อยละ 30 ใบไม้ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเปียก

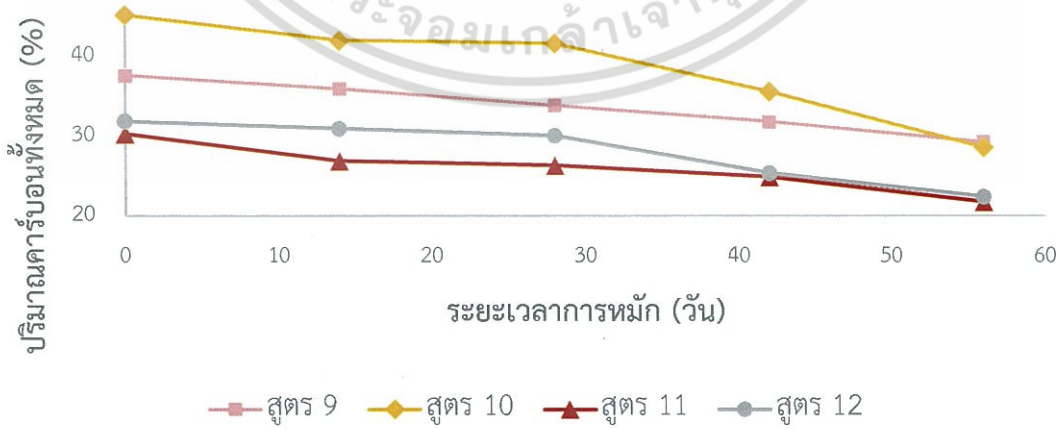
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4

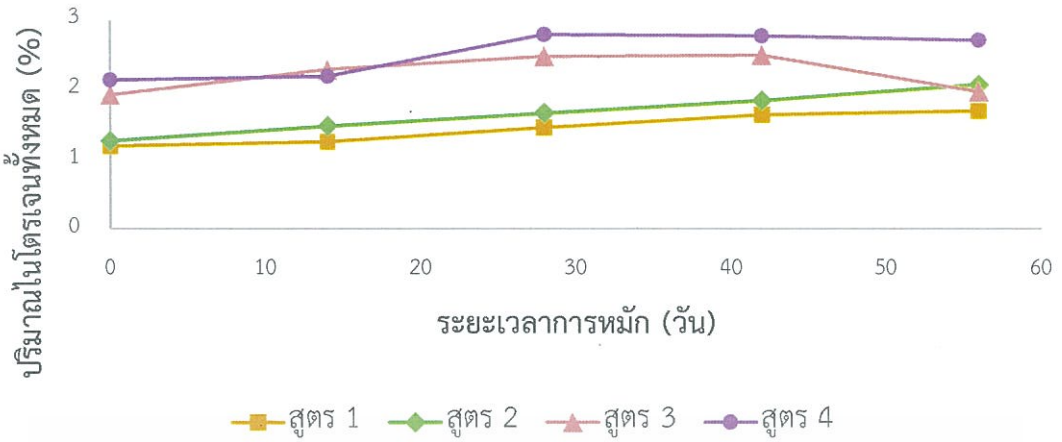


รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8

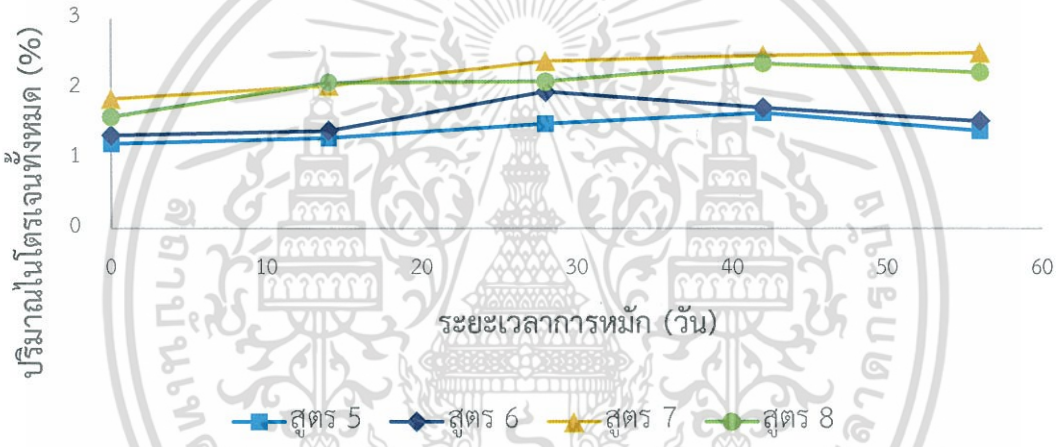


รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12

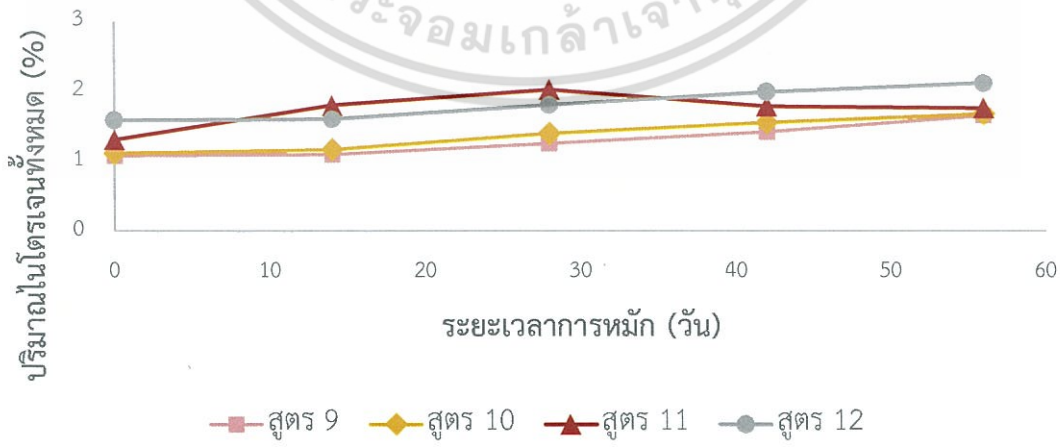
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4

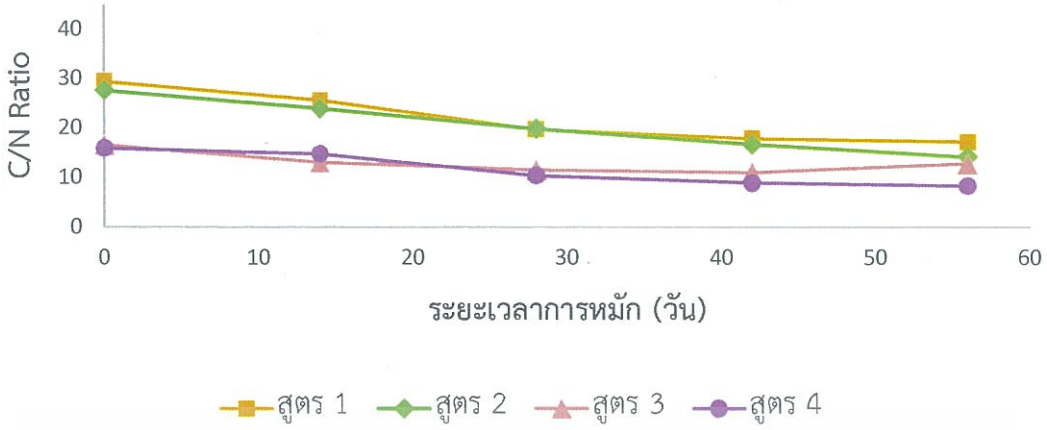


รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8

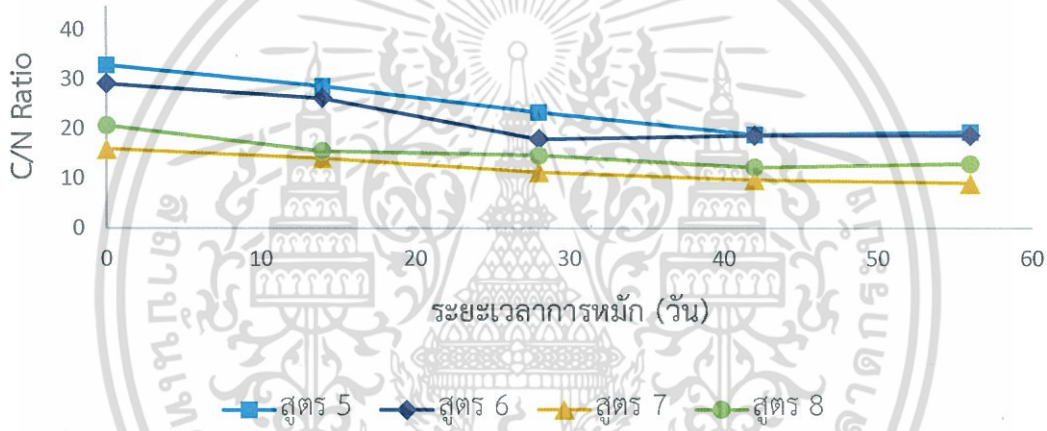


รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8

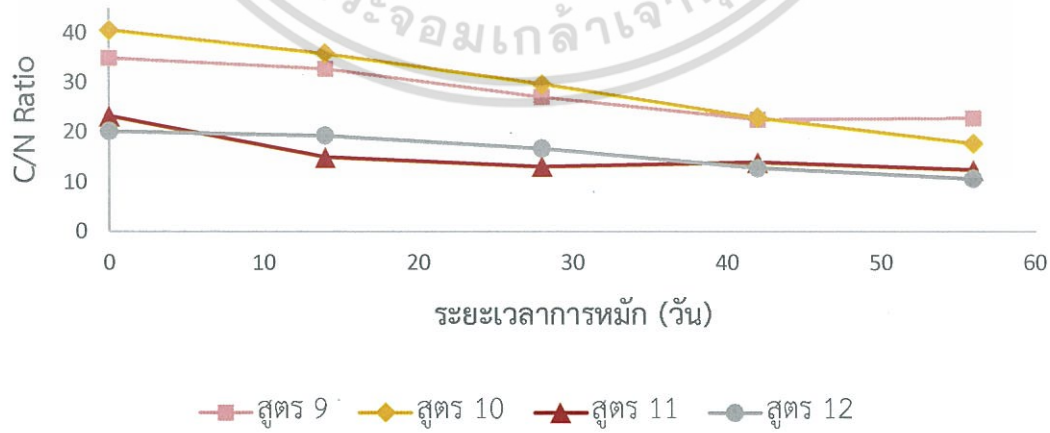
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ (Available Nitrogen) เป็นไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรงจะมีอยู่ด้วยกัน 2 รูป คือ แอมโมเนียมและไนเทรต โดยที่ไนโตรเจนส่วนมากจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ มีส่วนน้อยจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมและไนเทรต ซึ่งการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียมหรือไนเทรตนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของกองปุ๋ย ถ้าหากกองปุ๋ยมีการระบายอากาศที่ดี จุลินทรีย์จะสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียมไปอยู่ในรูปของไนเทรตได้มากกว่า เนื่องจากแอมโมเนียมเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในกองปุ๋ยหมัก ดังสมการที่ (4.8-4.9) โดยในปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร มีปริมาณของแอมโมเนียมอยู่ในช่วง 3.33 ถึง 132.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีปริมาณของไนเทรตอยู่ในช่วง 2.70 ถึง 102.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปุ๋ยหมักสูตรที่มีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดสูงสุด คือ ปุ๋ยหมักสูตรที่ 7 ที่ระดับนับสำคัญ 0.05 อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ฉ. โดยมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดเท่ากับ 135.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดังตารางที่ 4.5 ซึ่งปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณของไนโตรเจนสูงกว่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร

$$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{energy} \quad (4.8)$$

$$2NO_2^- + O \longrightarrow 2NO_3^- \quad (4.9)$$

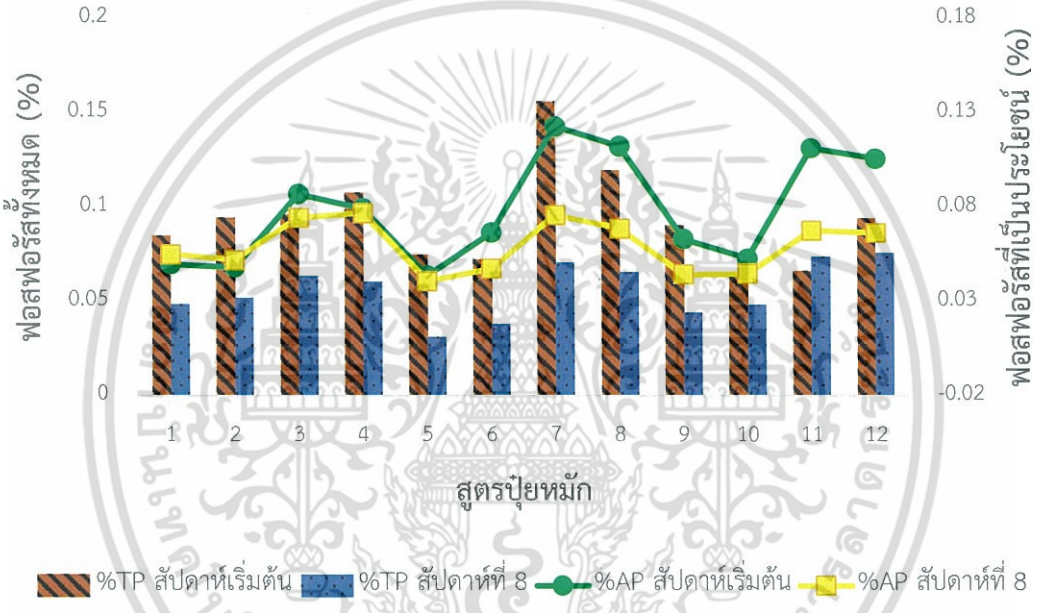
ตารางที่ 4.5 ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักแต่ละสูตร

สูตรปุ๋ย	ปริมาณไนโตรเจน (mg/kg)			
	ไนโตรเจนทั้งหมด	ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์		
		NH_4^+-N	NO_3^--N	Total Available N
สูตร 1	1693.15	7.62	102.81	110.43
สูตร 2	2063.89	15.31	45.94	61.25
สูตร 3	1967.07	68.79	2.99	71.78
สูตร 4	2704.76	62.20	18.66	80.86
สูตร 5	1390.07	45.66	21.07	66.73
สูตร 6	1530.67	119.73	3.52	123.25
สูตร 7	2515.79	132.43	2.70	135.13
สูตร 8	2229.73	13.17	15.81	28.98
สูตร 9	1654.87	3.33	36.62	39.95
สูตร 10	1678.15	48.47	19.39	67.86
สูตร 11	1764.80	5.22	10.45	15.67
สูตร 12	2114.85	2.73	13.63	16.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) ของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร เริ่มต้นการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.07 ถึง 0.16 โดยน้ำหนักแห้ง และมีค่าลดลงเป็นร้อยละ 0.03 ถึง 0.08 โดยน้ำหนักแห้ง รูปที่ 4.19 ซึ่งพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยทุกสูตรมีปริมาณน้อยกว่าที่มาตรฐานปุ๋ยกำหนดไว้เท่ากับร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) เป็นฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ซึ่งจะอยู่ในรูป P_2O_5 ซึ่งปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร มีปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เริ่มต้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.04 ถึง 0.12 โดยน้ำหนักแห้ง และมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.04 ถึง 0.08 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

จะเห็นได้ว่าปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากฟอสฟอรัสทั้งหมดเปลี่ยนรูปเป็นฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญอย่างหนึ่งของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะนำฟอสฟอรัสไปสร้าง ATP ให้กับเซลล์ ดังนั้นปริมาณของฟอสฟอรัสจึงลดลง โดยปุ๋ยหมักสูตรที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุดคือปุ๋ยหมักสูตรที่ 3, 4, 7 และ 8 ซึ่งมีปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ฉ. แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักนั้นมีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักที่กำหนดไว้คือไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 ดังนั้นจึงควรเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักก่อนนำไปใช้งานโดยการเติม กระดูกป่น หรือปุ๋ยฟอสฟอรัส

ปริมาณไขมันและน้ำมัน (FOG) ของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร เริ่มต้นการหมักมีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 26.72 ถึง 63.62 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งปุ๋ยหมักสูตรที่ 7 เป็นปุ๋ยหมักที่มีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

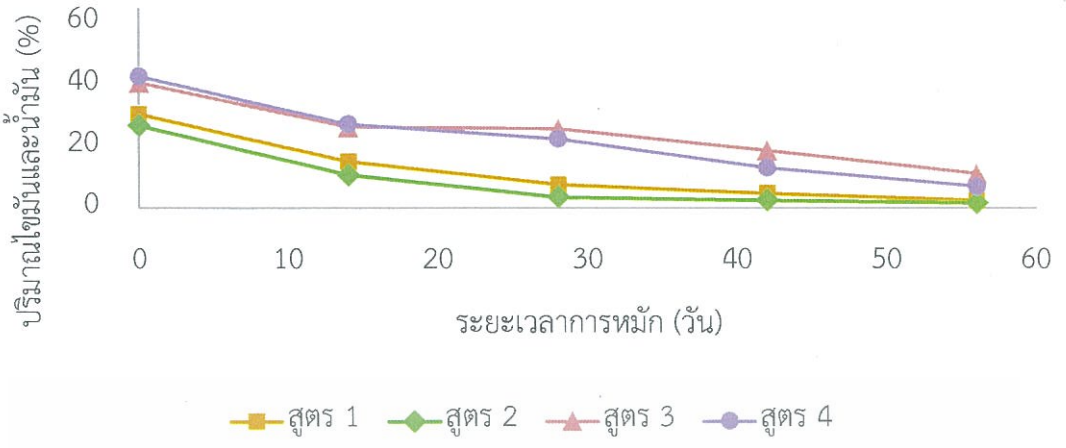
ร้อยละของไขมันสูงที่สุด ปริมาณไขมันและน้ำมันในปุ๋ยหมักค่อย ๆ ลดต่ำลงตลอดระยะเวลาในการทดลอง ซึ่งในสัปดาห์ที่ 2 ของการหมักปุ๋ยมีการลดลงของปริมาณไขมันและน้ำมันเป็นปริมาณมาก เนื่องจากเป็นช่วงที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายไขมันและน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว โดยการย่อยสลายไขมันนั้นยังสามารถเกิดจากการสร้างเอ็นไซม์ออกซิเจนเนสในช่วงการย่อยสลาย โดยอินทรียวัตถุจะสลายตัวอย่างรวดเร็วถ้ามีระดับออกซิเจนที่เพียงพอ (สมเดช, 2543) จนกระทั่งวันที่ 59 ปริมาณไขมันและน้ำมันมีปริมาณลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 1.52 ถึง 24.67 โดยน้ำหนักแห้ง จากการวิเคราะห์พบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ใช้ปุ๋ยคอกเป็นวัสดุหมักสามารถลดปริมาณไขมันและน้ำมันได้มากกว่าปุ๋ยหมักที่ใช้ตะกอนน้ำเสีย เมื่อนำปุ๋ยคอกและตะกอนน้ำเสียมาทดสอบการทำงานของจุลินทรีย์โดยการทำ Starter พบว่าจุลินทรีย์จากปุ๋ยคอกสามารถทำงานได้ดีกว่าจุลินทรีย์จากตะกอนน้ำเสีย ดังนั้นจึงทำให้จุลินทรีย์จากปุ๋ยคอกสามารถย่อยสลายไขมันได้ดีกว่าจุลินทรีย์จากตะกอนน้ำเสีย ซึ่งปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 สามารถลดปริมาณไขมันและน้ำมันได้มากที่สุด มีประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันได้สูงสุดถึงร้อยละ 94.29 แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันไม่แตกต่างกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ฉ.

จากรูปที่ 4.20 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 มีปริมาณกากไขมันเท่ากับร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งมีปริมาณไขมันและน้ำมันเริ่มต้นการหมักเท่ากับร้อยละ 30.40, 26.72, 40.63 และ 42.65 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งวันที่ 59 มีปริมาณไขมันและน้ำมันเหลือเพียงร้อยละ 2.45, 1.52, 11.06 และ 6.87 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้ร้อยละ 91.93, 94.29, 72.78 และ 83.89 ตามลำดับ

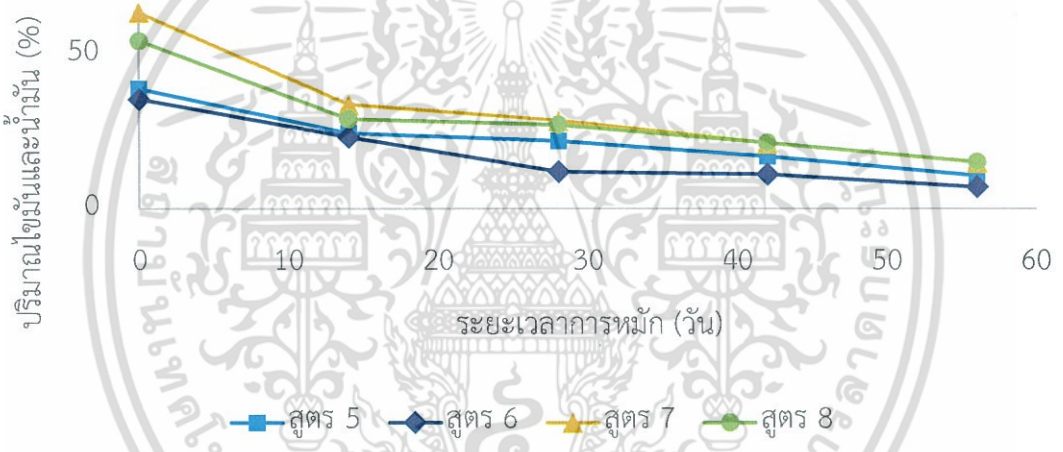
จากรูปที่ 4.21 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 5, 6, 7 และ 8 มีปริมาณกากไขมันเท่ากับร้อยละ 50 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งมีปริมาณไขมันและน้ำมันเริ่มต้นการหมักเท่ากับร้อยละ 38.89, 35.53, 63.62 และ 54.37 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งวันที่ 59 มีปริมาณไขมันและน้ำมัน เหลือเพียงร้อยละ 10.72, 7.25, 15.16 และ 15.25 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้ร้อยละ 72.29, 79.60, 76.17 และ 71.94 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.22 ปุ๋ยหมักสูตรที่ 9, 10, 11 และ 12 มีปริมาณกากไขมันเท่ากับร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก เปียก ซึ่งมีปริมาณไขมันและน้ำมันเริ่มต้นการหมักเท่ากับร้อยละ 44.42, 52.92, 55.16 และ 50.92 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งวันที่ 59 มีปริมาณไขมันและน้ำมัน เหลือเพียงร้อยละ 19.77, 12.08, 21.35 และ 24.67 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้ร้อยละ 55.50, 77.17, 61.29 และ 51.55 ตามลำดับ

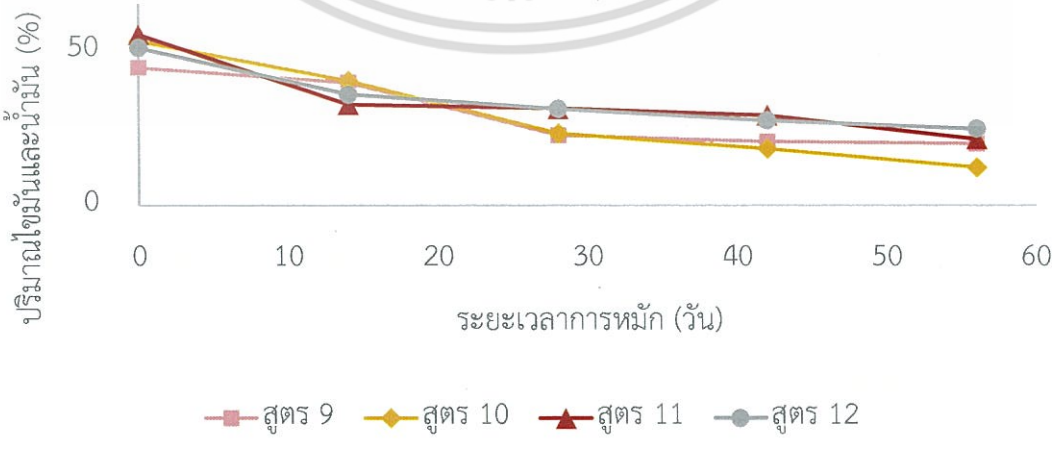
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ปริมาณไขมันและน้ำมันของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4



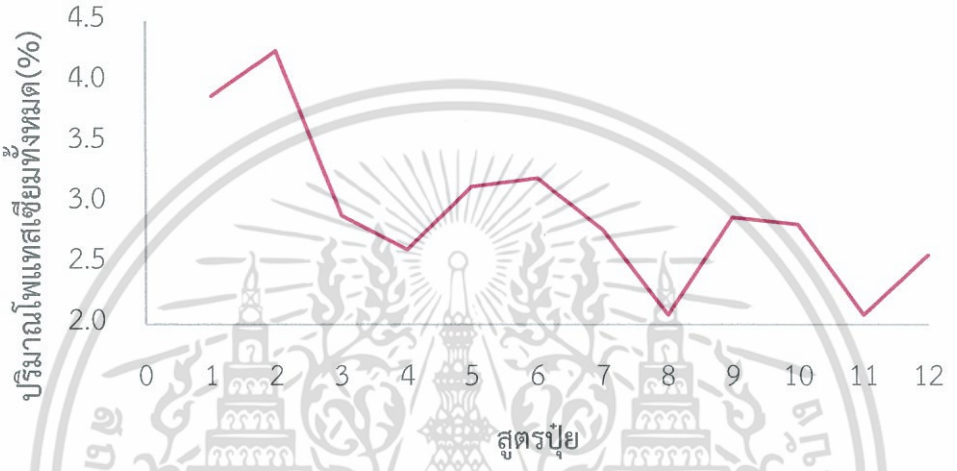
รูปที่ 4.21 ปริมาณไขมันและน้ำมันของปุ๋ยหมักสูตร 5, 6, 7 และ 8



รูปที่ 4.22 ปริมาณไขมันและน้ำมันของปุ๋ยหมักสูตร 9, 10, 11 และ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

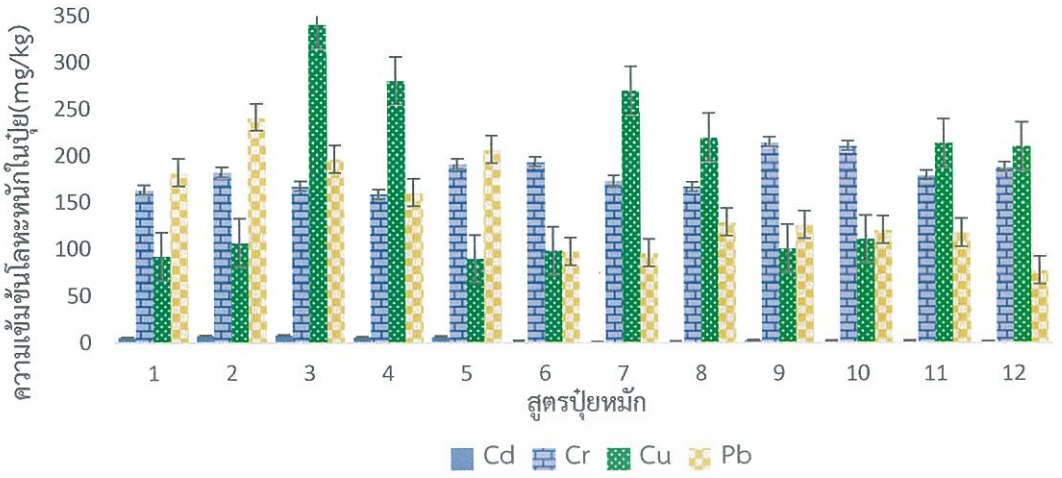
โพแทสเซียม (Potassium) ของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร เริ่มต้นการทดลองมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 1.43 ถึง 2.80 โดยน้ำหนักแห้ง และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนมีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 2.08 ถึง 4.26 โดยน้ำหนักแห้ง ดังรูปที่ 4.23 ปุ๋ยหมักสูตรที่มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดมากที่สุดคือปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ฉ. โดยมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 3.21 และ 4.26 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักที่กำหนดไว้ คือ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)



รูปที่ 4.23 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละสูตร

โลหะหนัก (Heavy Metal) ของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร เริ่มต้นการหมักมีปริมาณของทองแดงอยู่ในช่วง 72.69 ถึง 270.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียม 9.88 ถึง 33.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว 28.18 ถึง 394.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโครเมียม 50.55 ถึง 143.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 59 ปุ๋ยหมักแต่ละสูตรมีปริมาณ ทองแดงอยู่ในช่วง 89.84 ถึง 341.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียม 0.90 ถึง 7.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว 78.03 ถึง 241.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโครเมียม 159.22 ถึง 215.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าปริมาณแคดเมียมมีค่าเกินมาตรฐานปุ๋ยหมักที่กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่มีปริมาณไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย และเกษตรกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ส่วนสารปรอทและสารหนูไม่ได้ทำการตรวจวัดเนื่องจากห้องปฏิบัติการไม่มีหลอดรังสีแคโทดของสารปรอทและสารหนู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในปุ๋ยหมักแต่ละสูตร

จากการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร สรุปดังตารางที่ 4.6 พบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วย กากไขมันร้อยละ 40 ปุ๋ยคอกร้อยละ 50 ใยปาล์มร้องละ 10 โดยน้ำหนักเปียก มีสมบัติเหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 มีสมบัติบางประการไม่แตกต่างกับปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ฉ. แต่การใช้วัสดุหมักจากใยปาล์มร้อยละ 10 ให้ผลดีกว่าการใช้เศษใบไม้ร้อยละ 10 ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของเส้นใยดูดซับ และทำให้ไขมันกระจายตัวได้ดีกว่าเศษใบไม้ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ พบว่าใยปาล์มประกอบด้วย เซลลูโลสและลิกนิน ทำให้ปุ๋ยหมักสูตรที่มีใยปาล์มเป็นวัสดุหมักมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดน้อยกว่าปุ๋ยหมักสูตรที่มีเศษใบไม้เป็นวัสดุหมัก ดังนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 จึงเหมาะสมกับกิจกรรมของจุลินทรีย์มากกว่าสูตรที่ 1 เพราะฉะนั้นการศึกษาในหัวข้อต่อไปจึงเลือกใช้ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ในการศึกษาการหมักปุ๋ยในสภาวะเติมอากาศ และไม่เติมอากาศ

4.4 การศึกษาผลของสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศของปุ๋ยหมัก

การทดลองส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการทำปุ๋ยหมักในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ในการย่อยสลายไขมันและน้ำมันของจุลินทรีย์ โดยจะใช้ปุ๋ยหมักจากกากไขมันร่วมกับปุ๋ยคอกและใยปาล์ม (ปุ๋ยหมักสูตรที่ 2) เนื่องจากจากการทดลองการศึกษาปริมาณกากไขมันและวัสดุหมักที่เหมาะสมพบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันสูงที่สุด จึงเหมาะสมที่จะนำมาศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างการทำปุ๋ยหมักในสภาวะเติมอากาศและไม่เติมอากาศมากที่สุด โดยวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ถังหมัก ถังละ 2 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งถังแรกจะมีการเติมอากาศ ส่วนถังที่ 2 จะไม่มีการเติมอากาศ โดยใช้วัสดุหมักที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกัน คือ กากไขมันร้อยละ 40 (0.8กก.) ปุ๋ยคอกร้อยละ 50 (1.0กก.) และใยปาล์มร้อยละ 10 (0.2กก.) โดยน้ำหนักเปียก เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

4.4.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

กลิ่น (Odor) ของปุ๋ยหมักซึ่งถูกทดสอบโดยอาสาสมัคร พบว่าเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก ทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีกลิ่นคล้ายคลึงกัน คือ กลิ่นกากไขมันที่มีลักษณะคล้ายกับกลิ่นของอาหารบูด และท่อระบายน้ำ ซึ่งมีกลิ่นที่รุนแรงมาก โดยสิ่งที่แตกต่างออกไปจากการหมักปุ๋ยชุด แรก คือ การหมักปุ๋ยชุดนี้มีการวางแกลบดำไว้ด้านบนของถังหมักปุ๋ยทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ พบว่า เมื่อระยะเวลาการหมักปุ๋ยผ่านไป 3 วัน ทั้งปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศมี กลิ่นคล้ายกับดิน ไม่หลงเหลือกลิ่นของกากไขมัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแกลบดำสามารถช่วยลดกลิ่นได้ดี และมีราคาถูก

อุณหภูมิ (Temperature) ในส่วนของปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 29.74 องศาเซลเซียส และสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 ซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับ 45.90 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ ลดต่ำลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง ส่วนปุ๋ยหมักแบบไม่เติมอากาศมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 29.22 องศาเซลเซียส และสูงขึ้นถึง 45.70 องศาเซลเซียสในวันที่ 2 ของการหมัก ดังรูปที่ 4.25 ในวันนี้จุลินทรีย์จะสามารถทำกิจกรรมการย่อยสลายได้ดีที่สุดเนื่องจากมีอุณหภูมิที่สูง โดยปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศมีอุณหภูมิสูงสุดมากกว่าปุ๋ยหมักแบบไม่เติมอากาศเล็กน้อย ข้อดีของการเติมอากาศโดยใช้ปั๊มคือไม่เปลืองแรงงานและเป็นการเติมอากาศเข้าสู่กองปุ๋ยโดยตรง ทำให้มีอากาศเพียงพอต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ จากนั้นอุณหภูมิของปุ๋ยหมักค่อย ๆ ลดต่ำลง เนื่องจากมีฝนตกหนักหลายวันติดต่อกัน แม้มีการห่อหุ้มฉนวนโดยใช้ถังดำคลุมปุ๋ยหมักเอาไว้เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อน แต่ยังไม่สามารถป้องกันได้ทั้งหมด ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงจึงทำให้อุณหภูมิของปุ๋ยหมักลดต่ำลงไปด้วย ทำให้จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักปุ๋ยจะทำงานได้ดีในอุณหภูมิที่สูงเพราะเป็นจุลินทรีย์ประเภท Thermophile

4.4.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

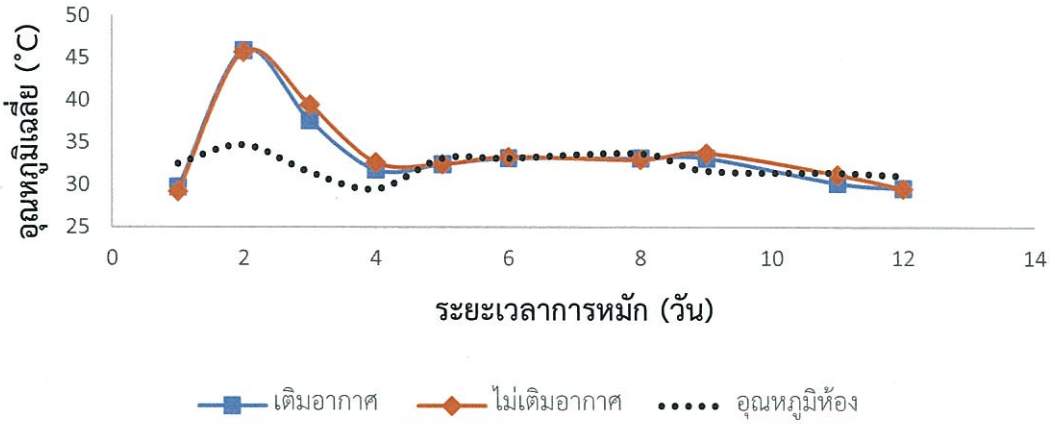
คาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) ของปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศเริ่มต้นมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 38.73 โดยน้ำหนักแห้ง และลดลงจนมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 25.01 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนปุ๋ยหมักแบบไม่เติมอากาศมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 39.83 โดยน้ำหนักแห้ง และลดลงจนมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 28.51 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณคาร์บอนที่ลดลงนี้ เนื่องมาจากกิจกรรมการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ที่ได้ผลิตภัณฑ์ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานความร้อน ดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก และประสิทธิภาพการกำจัดไขมัน

พารามิเตอร์		กลิ่น	pH	ค่าการนำไฟฟ้า	ไขมันและน้ำมัน	คาร์บอนทั้งหมด	ไนโตรเจนทั้งหมด	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	แคดเมียม (mg/kg)	โครเมียม (mg/kg)	ทองแดง (mg/kg)	ตะกั่ว (mg/kg)
มาตรฐานปุ๋ยหมัก		-	5.5-8.5	<10 dS/m	ประสิทธิภาพการกำจัด	ประสิทธิภาพการกำจัด	≥1.00%	ไม่เกิน 20:1	≥0.50%	≥0.50%	<5 mg/kg	<300 mg/kg	<500 mg/kg	<500 mg/kg
สูตรปุ๋ยหมัก	1	✓*	✓	✓	91.93	16.38	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓
	2	✓*	✓	✓	94.29	15.83	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓
	3	✓*	✓	✓	72.78	21.44	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓
	4	✓*	✓	✓	83.89	34.00	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓
	5	✓*	✓	✓	72.29	32.80	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓
	6	✓*	✓	✓	79.60	26.62	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
	7	✓*	✓	✓	76.17	23.63	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
	8	✓*	✓	✓	71.94	12.96	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
	9	✓*	✓	✓	55.50	22.20	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
	10	✓*	✓	✓	77.17	36.69	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
	11	✓*	✓	✓	61.29	28.12	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
	12	✓*	✓	✓	21.55	29.76	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓

✓ = ผ่านมาตรฐาน ✗ = ไม่ผ่านมาตรฐาน ✓* = ไม่มีกลิ่นกากไขมัน



รูปที่ 4.25 อุณหภูมิปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 2 แบบเติมอากาศ, ไม่เติมอากาศ และอุณหภูมิห้อง

ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ของปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศเริ่มต้นมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 1.47 โดยน้ำหนักแห้ง และลดลงจนมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 1.43 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนปุ๋ยหมักแบบไม่เติมอากาศมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 1.43 โดยน้ำหนักแห้ง และลดลงจนมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 1.40 โดยน้ำหนักแห้ง สาเหตุที่ไนโตรเจนลดลงเนื่องจากการย่อยสลายไนโตรเจนในกากไขมันแล้วเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซแอมโมเนียระเหยออกไป ดังตารางที่ 4.7

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) เริ่มต้นของปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีค่าเท่ากับ 26.39 และ 27.92 ตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากมีอัตราส่วนเข้าใกล้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ คือ 20:1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) โดยสาเหตุที่ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของปุ๋ยหมักทั้ง 2 ถังมีค่าไม่เท่ากันถึงแม้ว่าจะมีน้ำหนักเท่ากัน เนื่องจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุจึงทำให้ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนของปุ๋ยหมักแต่ละถังมีปริมาณแตกต่างกัน เมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงจนมีค่าเท่ากับ 17.53 และ 20.37 ตามลำดับ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง เนื่องจากการลดลงของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ดังตารางที่ 4.7

ไขมันและน้ำมัน (FOG) ของปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศเริ่มต้นมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 10.09 โดยน้ำหนักแห้ง และลดลงจนมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 5.20 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนปุ๋ยหมักแบบไม่เติมอากาศมีปริมาณไขมันและน้ำมันเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 13.01 โดยน้ำหนักแห้ง และลดลงจนมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 7.01 โดยน้ำหนักแห้ง ดังตารางที่ 4.7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันเท่ากับร้อยละ 48.45 และ 46.07 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศสามารถลดปริมาณไขมันและน้ำได้รวดเร็วกว่าแบบไม่เติมอากาศในระยะเวลาเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

ระยะเวลา	ชุดปุ๋ยหมัก	พารามิเตอร์				
		คาร์บอนทั้งหมด (%)	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	C/N Ratio	ไขมันและน้ำมัน (%)	ความชื้น (%)
สัปดาห์เริ่มต้น	เติมอากาศ	38.73	1.47	26.39	10.09	79.71
	S.D.	±0.72	±0.06		±0.91	±0.21
	ไม่เติมอากาศ	39.83	1.43	27.92	13.01	71.03
	S.D.	±0.30	±0.02		±1.22	±0.56
สัปดาห์ที่ 2	เติมอากาศ	25.01	1.43	17.53	5.20	51.37
	S.D.	±0.11	±0.18		±0.83	±0.18
	ไม่เติมอากาศ	28.51	1.40	20.37	7.01	31.45
	S.D.	±0.40	±0.02		±0.70	±0.35

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศมีค่าสูงกว่าแบบไม่เติมอากาศ เนื่องจากมีการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์หลังจากเติมความชื้นให้กับปุ๋ยหมัก ดังนั้นจึงทำให้ปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศมีค่าความชื้นสูงกว่า

ถังที่มีการเติมอากาศมีการกำจัดกากไขมันได้ดีกว่าถังที่ไม่มีการเติมอากาศเล็กน้อย แต่จากการวิเคราะห์การลดลงของปริมาณไขมันและน้ำมันทางสถิติ พบว่าปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศและแบบไม่เติมอากาศสามารถลดปริมาณไขมันและน้ำมันได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ฉ. นอกจากนี้ปุ๋ยหมักทั้ง 2 ถังสามารถกำจัดกลิ่นของกากไขมันได้ในเวลาที่ไม่แตกต่างกัน จากการใช้แกลบดำเข้ามาช่วยดูดซับกลิ่น

การลดกลิ่นของกากไขมันจากถังดักไขมันขั้นต้นสามารถทำได้โดยการกำจัดกากไขมันให้ไวที่สุด ไม่ปล่อยทิ้งสะสมให้เกิดสภาวะไร้อากาศเพราะจะทำให้เกิดกลิ่นที่เหม็นเน่าอย่างรุนแรง เมื่อเก็บกากไขมันมาแล้วควรนำมาทำปุ๋ยหมักทันที หรือมาผสมกับวัสดุดูดซับกลิ่น เช่น แกลบดำ เพื่อกำจัดกลิ่นเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการกำจัดกากไขมันจากเศษอาหารโดยกระบวนการทำปุ๋ยหมัก โดยใช้ปุ๋ยคอก ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม เศษใบไม้ และใยปาล์ม เป็นวัสดุหมัก และศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยแปรผันอัตราส่วนกากไขมันร้อยละ 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนักเปียก พบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ใช้ปุ๋ยคอก สามารถลดกลิ่นเหม็นของปุ๋ยหมักได้ดีกว่าตะกอนน้ำเสีย โดยสามารถลดกลิ่นลงได้ภายใน 1 และ 2 สัปดาห์ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ใช้ใยปาล์มสามารถสลายกากไขมันได้ดีกว่าสูตรที่ใช้เศษใบไม้ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดกากไขมันได้ถึงร้อยละ 94.29 ของปริมาณกากไขมันเริ่มต้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเปียก ปุ๋ยหมักทั้ง 12 สูตร ส่วนใหญ่มีสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ยกเว้นปริมาณฟอสฟอรัสที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และแคดเมียมมีค่าเกินมาตรฐานเล็กน้อย นอกจากนี้พบว่าสมบัติทางกายภาพและทางเคมีโดยภาพรวมของปุ๋ยหมักสูตรที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนกากไขมันร้อยละ 40 ปุ๋ยคอกร้อยละ 50 และใยปาล์มร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเปียก มีสมบัติที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักมากที่สุด และมีธาตุอาหารหลักผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2550 จากการเติมอากาศในการหมักปุ๋ยช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดกากไขมันในระยะเวลา 2 สัปดาห์ ได้ถึงร้อยละ 48.45 เมื่อเทียบกับการไม่เติมอากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ไม่ควรปล่อยให้เกิดการสะสมของกากไขมันในถังดักไขมันจนเกิดสภาวะไร้อากาศ

5.2.2 เมื่อเก็บกากไขมันแล้วควรรีบนำไปหมักปุ๋ยทันที

5.2.3 เมื่อเก็บกากไขมันแล้วไม่สามารถนำไปหมักปุ๋ยได้ทันที ควรผสมกับวัสดุดูดซับกลิ่น เช่น แกลบดำ

5.2.4 ถ้ามีพลังงานหรือปั๊ม ควรใช้ระบบเติมอากาศเพื่อประหยัดเวลาและแรงงาน

5.2.5 ควรเพิ่มระบบการกวนวัสดุหมักให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด

5.2.6 ควรหมักปุ๋ยในบริเวณที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการหมักได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. **มาตรฐานคุณภาพดิน.** [Online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html

กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. **มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง).** [Online]. Available : https://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiX5KmisobUAhWKvY8KHWSEC_IQFgg6MAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.agriinfo.doae.go.th%2Fyear52%2Fknowledge%2Fkm_13-01-52.doc&usg=AFQjCNEEICD0UeltLuqTF7CRKy8g3SIHog&sig2=oWu25k9MUDStue9kiJeKDw

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และคณะ. 2558. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อมสำหรับดินและอากาศ.** กรุงเทพฯ : โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และพิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. 2557. **เอกสารประกอบการสอนวิชาปฏิบัติการคุณภาพน้ำและน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ : โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2552. "คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยใหม่ (composting)." 3-4. ทวีชัย. คพ. 04-117. กรุงเทพฯ :

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2549. **การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. ๒๕๔๘.** [Online]. Available : http://www.induswaste.com/waste4 2 4 3 / download/ministry-of-48.pdf

กลุ่มงานศึกษาและพัฒนาที่ดิน. 2557. **หมักและน้ำการฟื้นฟูดินด้วยปุ๋ยหมักชีวภาพ เพื่อการผลิตพืช.** [Online]. Available : http://www.hongkhrai.com/pdf/report%20pdf%20High %20Light/data%2014.pdf

เกษตรดีดี.คอม. 2553. **เอาธาตุอาหารของมูลสัตว์มาฝาก. [Online]. Available :** https://kasetdd. wordpress.com/2010/02/20/kasetdd-table/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชูจิตต์ สงวนทรัพยากร และคณะ. 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า.** เล่มที่2. พิมพ์ครั้งที่2 กรุงเทพฯ : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.

ณัฐ ยอดแก้ว. 2555. **การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ.** [Online]. Available : https://www.gotoknow.org/posts/428550

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. 2542. **ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ : เพื่อการปรับปรุงดินโดยวิธีเกษตรธรรมชาติ.** กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

ธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2551. **กระบวนการไร้ของเสียในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม.** [Online]. Available : http://portal.psu.ac.th/blog/marky11/22623

นลินี ว่องมงคลฤทธิ์. 2536. **ปุ๋ยอินทรีย์.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา.

นันทวัน ฤทธิ์เดช. 2556. **ข้อควรพิจารณาก่อนทำปุ๋ยหมัก.** [Online]. Available : https://scijournal.kku.ac.th/files/Vol_41_No_3_P_595-606.pdf

นัทพงศ์ จันทมาศ. 2557. "กากไขมันเหลือใช้ไม่ไร้ประโยชน์: การใช้ประโยชน์จากของเสียเหลือทิ้ง." *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย.* 8(1) : 47-54.

นิรนาม. **การผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ.** [Online]. Available : https://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiqtN_6hlnUAhXLPo8KHcEoA90QFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fr07.ldd.go.th%2 FWeb%2 F2 1 _Q%2 Fmanual2 . pdf&usg=AFQjCNG2 wNr5 LbnBXq2 D-2OR_c6ByWiKxw&sig2=XhpCBjATVu8IUv6uhvd N6g

นิรนาม. **โครงการต้นปุ๋ย.** [Online]. Available : http://agri.wu.ac.th=/msomsak/ManureTree/RawMat.htm

นิรนาม. 2560. **ปุ๋ยหมัก.** [Online]. Available : https://th.wikibooks.org/wiki/%E0%B8%9B%E0%B8%B8%E0%B9%8B%E0%B8%A2%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิรนาม. **วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen Cycle).** Available : http://www.siamchemi.com/%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%8F%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B9%84%E0%B8%99%E0%B9%82%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%88%E0%B8%99/

นิรนาม. **วัฏจักรออกซิเจน (oxygen cycle).** Available : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter1/chapter1_nitrogen1.htm

ประวิศ. 2550. **การตรวจคุณภาพปุ๋ยหมักธรรมดา (ในต่างประเทศ).** [Online]. Available : http://www.weloveshopping.com/template/e1/show_article.php?qid=31669&shopid=26601

ปรีดี สีขาว. 2554. **ประโยชน์ของปุ๋ยหมักชีวภาพ.** [Online]. Available : https://sites.google.com/site/seekhao03/khwam-sakhay-khxng-pu-y-chiw-phaph/prayochn-khxng-pu-y-hmak-chiwphaph

ภัทรา วงษ์พันธ์กมล. 2552. "การหมักทำปุ๋ยชีวภาพ จากกากน้ำตาล." งานวิจัยทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่ ปีงบประมาณ 2552.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. **ปุ๋ยอินทรีย์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).

รัชกร นามกร และคณะ. 2558 “การผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากกากตะกอนน้ำทิ้ง เศษผัก และกากไขมัน.” *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต.* 3(1) : 95-103

วิรจิรวัส รวิชญทรัพย์ และคณะ. 2558 “การจัดการกากไขมันจากบ่อดักไขมัน โดยกระบวนการทำปุ๋ยหมักร่วมกับดินค่ำและขี้เลื่อย.” *วารสารสาธารณสุข ฉบับพิเศษ.* 117-126

วุฒิพงษ์. **ปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานกรมวิชาการเกษตร.** [Online]. Available : http://www.cw-sm.com/5004.html

ศิริพร กาทอง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2557. “การหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในปุ๋ยอินทรีย์น้ำ.” *วารสารวิจัย มข. (บศ.).* 14 (4) : 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์เรียนรู้ปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงและเกษตรทฤษฎีใหม่. 2560. **ธาตุอาหารพืชฟอสฟอรัส.** [Online]. Available : http://www.kasetkawna.com/artcle/114/ธาตุฟอสฟอรัสอาหาพืช

สมเดช ใจเพ็ชร์. 2543 "การย่อยสลายกากไขมันโดยวิธีการทำปุ๋ยหมัก." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมศักดิ์ จีรัตน์. 2554. "การผลิตปุ๋ยหมักเพื่อใช้ในการปรับปรุงดินและรักษาสิ่งแวดล้อม." เชียงใหม่ : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมศักดิ์ วังใน. 2528. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน.** พิมครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด

สามารถ บุญจรัส. 2553. **เรียนรู้ "ซีเอ็นเรโช" (คาร์บอน : ไนโตรเจน, C:N ratio) เพื่อกำหนดการออกดอกติดผลของพืช.** [Online]. Available : http://www.thaigreenagro.com/aticle.aspx?id=6922

สุภา อุ่นสกุล. 2538 "การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร." ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.

อภินันท์ กำนัลรัตน์ และคณะ. 2560. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย.** [Online]. Available : http://natres.psu.ac.th/Department/PlantScience/510111web/book/book%20content.htm/chapter10/Agri_10.htm

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2548. **ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อิสระ นนธิราช, วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี. 2554 "การบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบไขมันและน้ำมันในปริมาณสูงด้วยจุลินทรีย์กลุ่มยีสต์." *วารสารสิ่งแวดล้อม.* 7(2) : 1-9

Fresh Organic Gardening. 2013. **Trench Composting or Pit Composting.** [Online]. Available : http://freshorganicgardening.com/trench-composting-or-pit-composting/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gofertilizerplus. 2556. **ปุ๋ยหมัก: กระบวนการทางเคมีในการหมัก**. [Online]. Available : http://www.gofertilizerplus.com/%E0%B8%9B%E0%B8%B8%E0%B9%8B%E0%B8%A2%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%8103/

kit_130633. **การทดสอบที (t - test) ใช้ทดสอบกรณีต่าง ๆ ดังนี้.** Available : https://www.scribd.com/doc/105660183/%E0%B8%AA%E0%B8%B9%E0%B8%95%E0%B8%A3t-test

MiltBeychok. 2012. **Henry's Law.** [Online]. Available : https://chemengineering.wikispaces.com/page/history/Henry%27s+Law

Nazaroff and Alvarez-Cohen. **EnvironmentalChem2.** [Online]. Available : https://engineering.dartmouth.edu/~d30345d/courses/engs37/EnvironmentalChem2.pdf

Nita. 2554. **การนำเปลือกทุเรียนและกิ่งไม้มาย่อยเพื่อทำปุ๋ยอินทรีย์**. [Online]. Available : https://203.155.220.174/modules.php?name=News&file=article&sid=93

Orapin, A. S. 2002. "Biotreatment of High Fat and Oil Wastewater by Lipase Producing Microorganisms." *Kasetsart J.* 36(3) : 261-267.

S. Siddiquee *et al.* 2017. "Effective composting of empty fruit bunches using potential *Trichoderma* strains." *Biotechnology Reports.* 17(13) : 1-7.

Soonita, A. S. 2016. "Co-composting of vegetable wastes and carton: Effect of carton composition and parameter variations." *Biosource Technology.* 2017(227) : 171-178

Tamara and Claudia. 2016. **How to do a Proper Cell Culture Quick Check.** [Online]. Available : http://www.leica-microsystems.com/science-lab/how-to-do-a-proper-cell-culture-quick-check/

www.puechkaset.com. 2560. **ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักชีวภาพ และวิธีทำปุ๋ยหมัก.** [Online]. Available : http://puechkaset.com/%E0%B8%9B%E0%B8%B8%E0%B9%8B%E0%B8% A2%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%81/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Y. Krishnan *et al.* 2016. "Co-composting of palm empty fruit bunch and palm oil mill effluent: Microbial diversity and potential mitigation of greenhouse gas emission." *Journal of Cleaner Production.* 2017(146) : 94-100.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง) ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2550)

ตารางที่ ก-1 มาตรฐานปุ๋ยหมัก

พารามิเตอร์	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
ความชื้น	≤30	%โดยน้ำหนัก
ขนาดปุ๋ย	≤12.5×12.5	มิลลิเมตร
pH	5.5-8.5	-
ค่าการนำไฟฟ้า	≤10	เดซิซีเมนต่อเมตร
การย่อยสลายที่สมบูรณ์	≥80	%
ปริมาณอินทรียวัตถุ	≥30	%โดยน้ำหนัก
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	≥1.00	%โดยน้ำหนัก
ฟอสเฟตทั้งหมด (Total P_2O_5)	≥0.50	%โดยน้ำหนัก
โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O)	≥0.50	%โดยน้ำหนัก
ปริมาณโซเดียม (Na)	≤1	%โดยน้ำหนัก
C/N ratio	≤20:1	-
Arsenic (As)	≤50	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
Cadmium (Cd)	≤5	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
Chromium (Cr)	≤300	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
Copper (Cu)	≤500	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
Lead (Pb)	≤500	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
Mercury (Hg)	≤2	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

หมายเหตุ : 1. ปริมาณหิน และกรวด ขนาดตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรขึ้นไปไม่เกินร้อยละ 2 ของน้ำหนัก
2. ต้องไม่พบเศษพลาสติก แก้ว วัสดุมีคม หรือโลหะอื่น ๆ

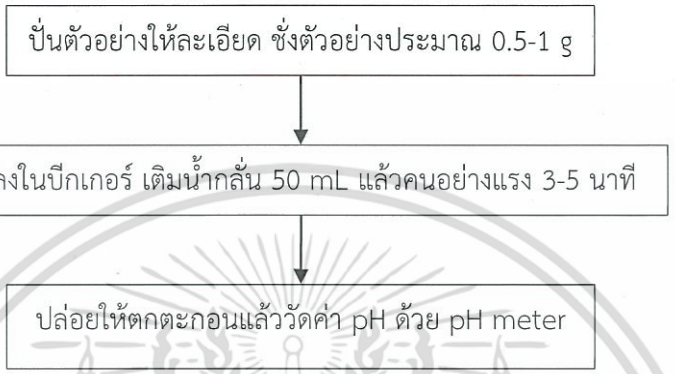
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

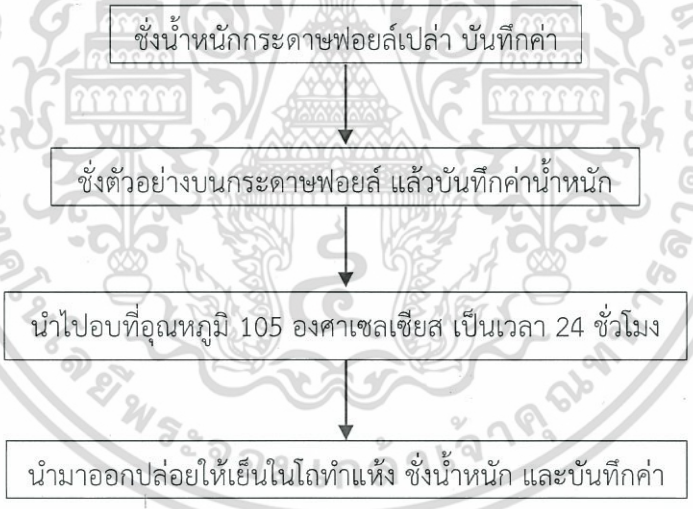
ภาคผนวก ข

รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์และการคำนวณผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์หาค่า pH ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน 2547



2. การวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน 2547



การคำนวณ

$$\% M = \frac{W - D}{D} X\ 100 \qquad (ข.1)$$

เมื่อ % M = เปอร์เซ็นต์ความชื้น

W = น้ำหนักตัวอย่างเปียก

D = น้ำหนักตัวอย่างแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยมีน้ำหนักตัวอย่างเปียกของปุ๋ยหมักสูตร 1 เท่ากับ 1.0825 g น้ำหนักภาชนะเท่ากับ 0.1896 g น้ำหนักภาชนะและตัวอย่างหลังอบเท่ากับ 0.7273 g

น้ำหนักแห้ง (D) = น้ำหนักภาชนะและตัวอย่างหลังอบ - น้ำหนักภาชนะ

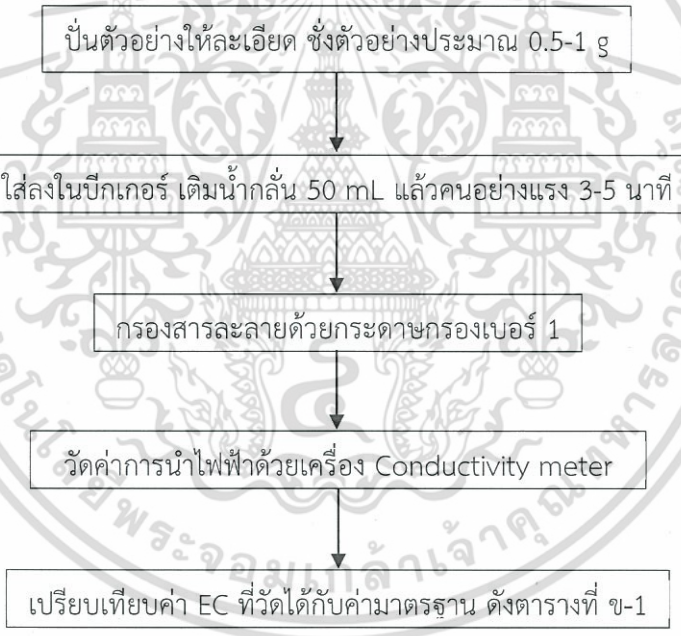
= 0.7273 g - 0.1896 g

= 0.5377 g

เพราะฉะนั้น $\%W = \frac{1.0825\ g - 0.5377\ g}{0.5377\ g} \times 100$

= 101.32 %

3. การหาปริมาณค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ค่ามาตรฐานค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

EC (mmho/cm หรือ dS/m)	ระดับความเค็ม
< 2	ไม่เค็ม
2-4	เค็มเล็กน้อย
4-8	เค็มปานกลาง
8-16	เค็มมาก
> 20	เค็มมากสุด

4. การวิเคราะห์หาค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total carbon) โดยวิธี Walkley and Black ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน 2547

การเตรียมสารเคมี

1.) สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 1 นอร์มอล (N)

ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ก่อน จำนวน 49.0000 g

↓

ละลายแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น

2.) สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.5 นอร์มอล (N)

ชั่งเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต $[Fe(NH_4)_2(SO_4)_26H2O]$ มา 196.1 g

↓

ละลายด้วยน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 ml แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) แบเรียมไดฟีนิลลามีนซัลโฟเนต อินดิเคเตอร์ (BDS) 0.16%

วิธีการวิเคราะห์

หมายเหตุ : การเตรียมแบลงค์ ให้ทำตามขั้นตอนดังกล่าว โดยไม่ใส่ตัวอย่าง

สมการเคมีที่เกี่ยวข้อง :

1.) ใช้ Oxidizing agent ได้แก่ $K_2Cr_2O_7$ ที่มากเกินพอทำปฏิกิริยากับ reducing agent ที่มีอยู่ ซึ่งก็คือคาร์บอนทั้งหมด ดังสมการที่ ข-1 และ ข-2

$$2Cr_2O_7^{2-} + 3C^0 + 16\ H^+ \longrightarrow 4Cr^{3+} + 3CO_2 \qquad (ข\text{-}1)$$

$$2K_2Cr_2O_7 + 3C + 8H_2SO_4 \longrightarrow 2K_2SO_4 + 2Cr_2(SO_4)_3 + 8H_2O + 3CO_2 \qquad (ข\text{-}2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ใช้ Reducing agent ได้แก่ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_26H_2O$ ทำปฏิกิริยากับ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือดังสมการ ข-3

$$Cr_2O_7^{2-} + 6Fe^{2+} + 14H \longrightarrow 2Cr^{3+} + 6Fe^{3+} + 7H_2O \qquad (ข-3)$$

การคำนวณ

$$\% \text{ organic carbon} = \frac{(B - T)\,N}{B} \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{10^3} \times \frac{20}{W} \qquad (ข.2)$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต (นอร์มอล)

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์ (ml)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่าง (ml)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (g)

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างปุ๋ย	น้ำหนัก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตรไทแทรนต์ FAS (ml)		
			เริ่มต้น	สิ้นสุด	ใช้ไป
Blank			0.00	10.28	10.28
1/1	0.1055	0.0524	7.49	15.49	8.00
1/2	0.1369	0.0680	10.28	17.81	7.53
1/3	0.1078	0.0535	0.00	7.99	7.99
เฉลี่ย		0.0579			7.84

โดย น้ำหนัก $K_2Cr_2O_7$ เท่ากับ 24.5000 g.

- หาความเข้มข้น $K_2Cr_2O_7$ จาก N (eq/L) $= \dfrac{\text{น้ำหนักตัวทำละลาย (g)}}{[\text{ปริมาตร (L)} \times \text{น้ำหนักสมมูล } \left(\frac{g}{eq}\right)]}$ (ข.3)

$$\text{น้ำหนักสมมูล (g/eq)} = \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)}}{\text{จำนวนหน่วยปฏิกิริยา (eq/mol)}} \qquad (ข.4)$$

$$= \frac{294 \text{ g/mol}}{6 \text{ eq/mol}}$$

$$= 49 \text{ g/eq}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N\ (eq/L) = \frac{24.5001\ g}{0.5\ L \times 49\ (\frac{g}{eq})}$$

$$= 1.0000\ eq/L \text{ หรือ } 1.0000\ N$$

ปิเปตตัวอย่างมา 100 ml ใช้ปริมาตร FAS เท่ากับ 31.36 ml

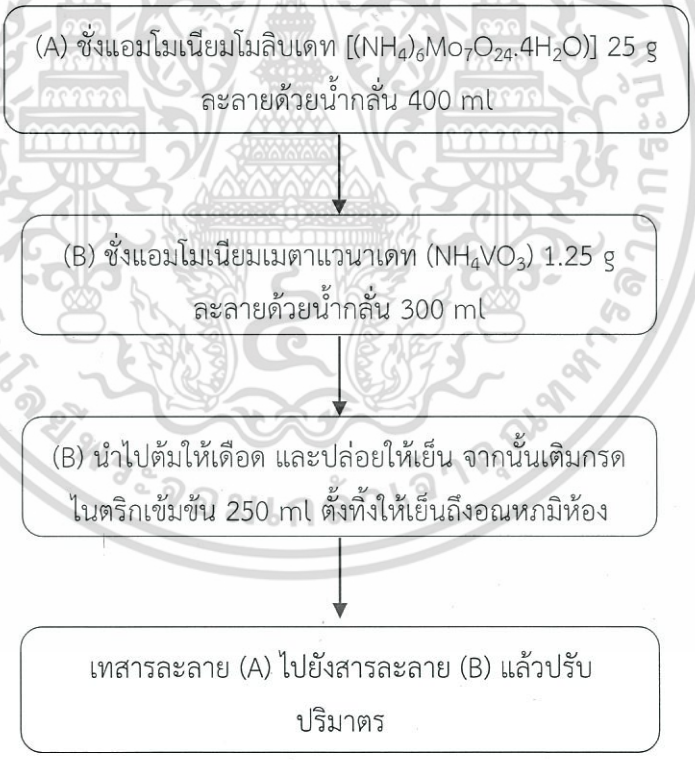
$$\% \text{ organic carbon} = \left| \frac{(41.12\ ml - 31.36\ ml)1N}{41.12\ ml} \right| \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{10^3} \times \frac{20}{0.0580\ g}$$

$$= 31.89\%$$

5. การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) โดยวิธี Vanadomolybdate method ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน 2547

การเตรียมสารเคมี

1.) สารละลายแวนาเดท-โมลิบเดท รีเอเจนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) สารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)

ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 0.2195 g
อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

↓

ละลายและปรับปริมาตรให้เป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายใส่ขวดสีชา

3.) การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

ปิเปตสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน 50 mg/l
0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50

↓

เติมน้ำยาน้ำยาแวนาเดท-โมลิบเดท 10 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
จะได้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเป็น 0. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7 และ 8

↓

ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm

วิธีการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดมา 1.0 g ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 100 ml

↓

เติมกรดไนตริก 15 ml และ กรดซัลฟิวริก 3 ml นำไปย่อยจนสารละลายใส

↓

นำสารละลายมากรองใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 ml

↓

เติมน้ำยาน้ำยาแวนาเดท-โมลิบเดท 10 mlปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

↓

ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\% \text{ ฟอสฟอรัส (P)} = \frac{\text{mgP (จากกราฟ)} \times \text{d.f.} \times 100}{\text{mg Sample (น้ำหนักแห้ง)}} \qquad \text{(ข.5)}$$

$$\% P_2O_5 = \%P \times 2.29 \qquad \text{(ข.6)}$$

เมื่อ d.f. = ค่าการเจือจาง

ตัวอย่างการคำนวณ

สูตรปุ๋ย	น้ำหนักตัวอย่าง(g)	น้ำหนักตัวอย่างแห้ง(g)	ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้
1/1	1.0575	0.4865	0.271
1/2	1.0015	0.4608	0.282
1/3	1.0541	0.4850	0.275

จากสมการกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส $y = 10.92x - 0.001$, $R^2 = 0.9996$

แทนค่า $0.271 = 10.92x - 0.001$

$X = 0.025$ mg

$$\% \text{ ฟอสฟอรัส (P)} = \frac{0.025 \text{ mg} \times \frac{100}{25} \times 100}{0.4865 \times 1{,}000 \text{ mg}}$$

$= 0.0206$

$\% P_2O_5 = 0.0206 \times 2.29$

$= 0.05\%$

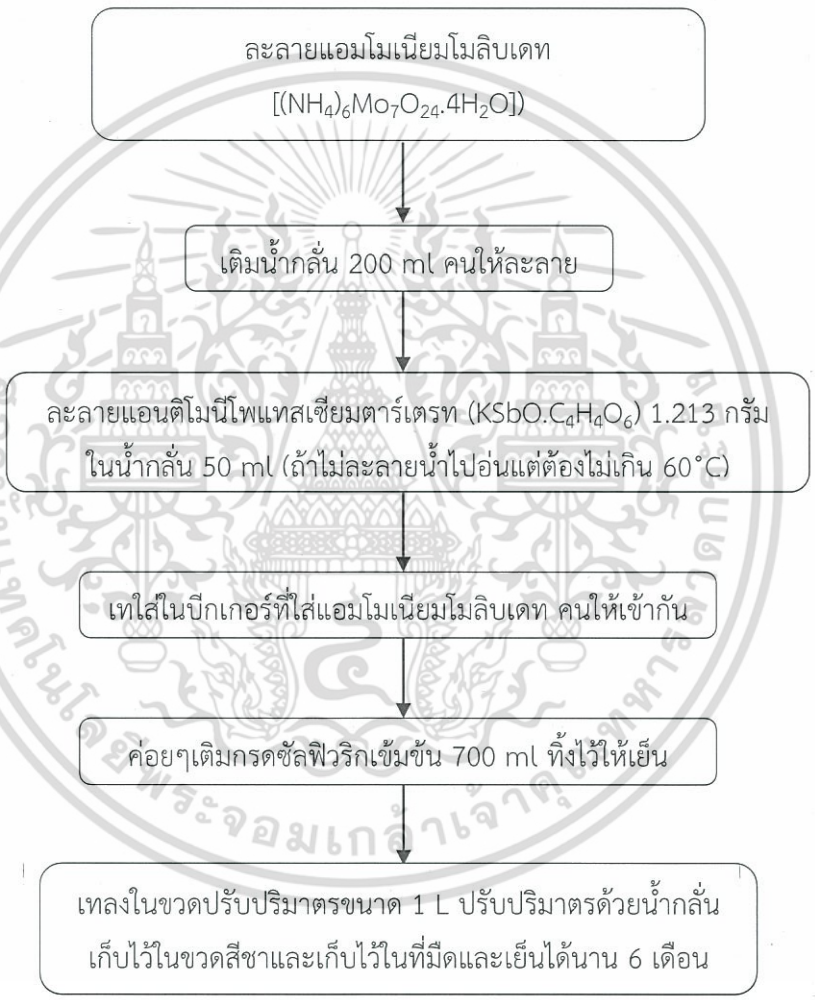
6. การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่มีประโยชน์ (Available phosphorus) โดยวิธี Bray II ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน 2553

การเตรียมสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

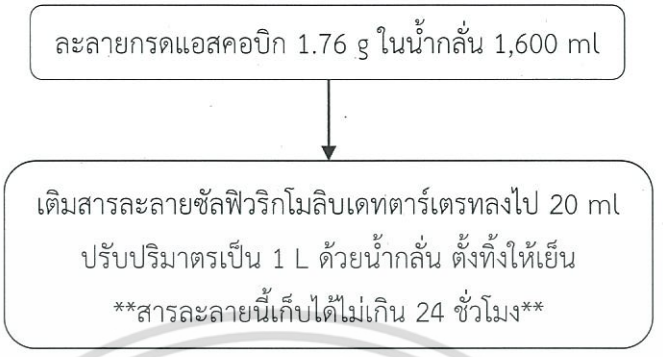
1.) น้ำยาสกัด Bray II (0.03 N NH_4F, 0.1 N HCl)

2.) สารละลายซัลฟิวริกโมลิบเดทตาร์เตรท (รีเอเจนต์ A)

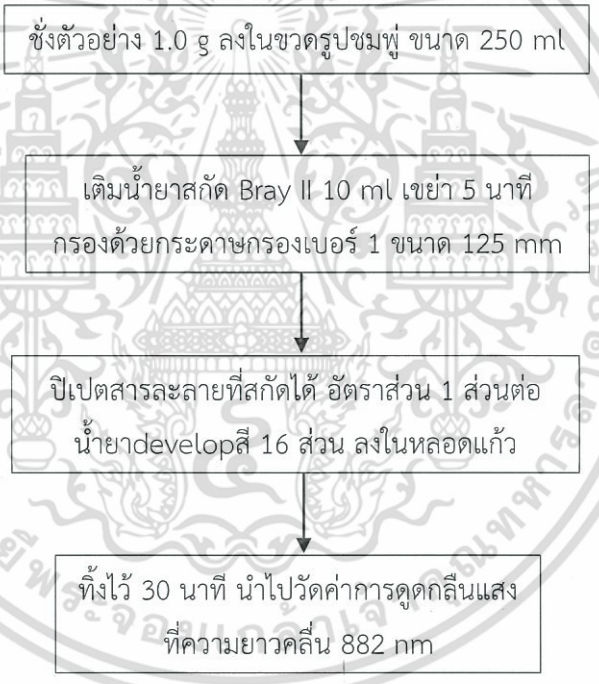


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) น้ำยา develop สี (รีเอเจนต์ B)



วิธีการวิเคราะห์



การคำนวณ

$$\textbf{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P)} = \frac{B \times X}{A} \text{ mg/kg} \qquad \text{(ข.7)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

B = ปริมาตรสารสกัด (มิลลิลิตร)

X = ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง	น้ำหนักแห้ง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น		ปริมาตรสารสกัด (ml)
			กราฟ	d.f 10 เท่า	
1/1	0.7991	0.153	3.8610	38.6104	1.00
1/2	0.7647	0.157	3.9603	39.6030	1.00
1/3	0.7907	0.153	3.8610	38.6104	1.00

$$\text{ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์} = \frac{10\ \text{ml} \times 38.6104}{0.7991\ \text{g}}\ \text{mg/kg}$$

$$= 483.17\ \text{mg/kg}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น \%ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์} = \frac{483.1710\ \text{mg/kg} \times 100}{10^6}$$

$$= 0.05\%$$

7. การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) โดยวิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl) ตามวิธีของ กรมพัฒนาที่ดิน 2547

การเตรียมสารเคมี

1.) สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 N

โดยปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37% w/w) มา 8.2 ml

↓

ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 L

2.) สารละลายกรดบอริก เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์

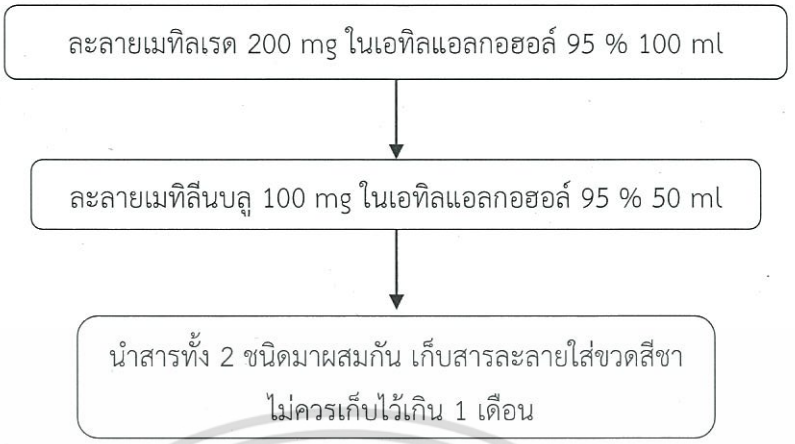
ชั่งกรดบอริก (H_3BO_3) มา 20 g

↓

ละลายและปรับปริมาตรให้เป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น

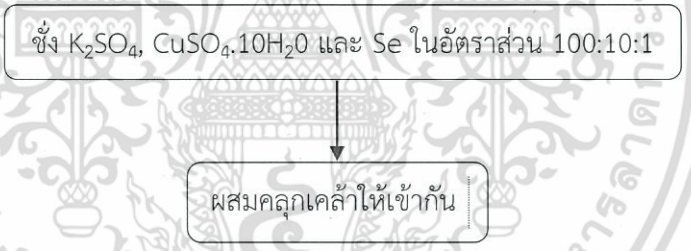
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)



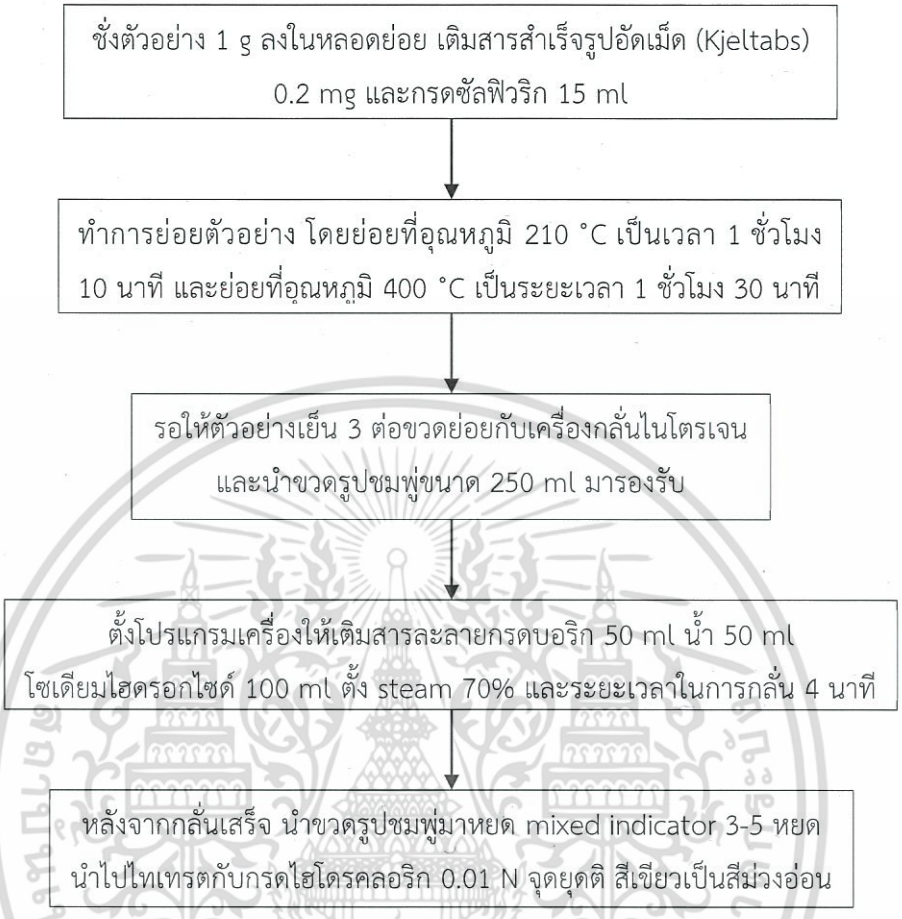
4.) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 33 เปอร์เซ็นต์

5.) สารสำเร็จรูปอัดเม็ด (Kjeltabs)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวิเคราะห์



หมายเหตุ : การเตรียมแบลงค์ ให้ทำตามขั้นตอนดังกล่าว โดยไม่ใส่ตัวอย่าง

สมการเคมีที่เกี่ยวข้อง

ศิริพร และเฉลิม (2557) ได้อธิบายว่า ในขั้นตอนการย่อย (digestion step) เป็นการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็น $(NH_4)_2SO_4$ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา K_2SO_4:$CuSO_4 5H_2O$:Se ในอัตราส่วน 100:10:1 ดังสมการที่ ข-4

$$\text{Organic N} + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4 + CO_2\,(g) \qquad \text{(ข-4)}$$

ขั้นตอนการกลั่น (distillation step) เป็นการเติม NaOH ลงไป จากนั้นจับก๊าซที่เกิดขึ้นด้วยกรดบอริก ปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกเป็นการเปลี่ยน $(NH_4)_2SO_4$ ที่เกิดจากการย่อย ไปเป็นก๊าซ NH_3 โดยการเติม NaOH ดังสมการที่ ข-5 และ ข-6

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \longrightarrow 2NH_3 + Na_2SO_4 + 2H_2O \qquad \text{(ข-5)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_3BO_3 + NH_3 \longrightarrow NH_4H_2BO_3 \quad \text{(ข-6)}$$

(ammonium borate) สีเขียว

ขั้นตอนการไทเทรต (titration step) เป็นการไทเทรตหา $NH_4H_2BO_3$ ที่เกิดขึ้น โดยใช้กรด HCl ดังสมการที่ ข-7

$$NH_4H_2BO_3 + H^+ \longrightarrow H_2BO_3 + NH_4^+ \quad \text{(ข-7)}$$

(ammonium borate) สีเขียว (boric acid) สีม่วงแดง

วิธีการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารมาตรฐาน HCl 0.1 N

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 250 °C เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงมา 0.0539 กรัม

↓

ละลายด้วยน้ำปราศจากคาร์บอน และปรับปริมาตรเป็น 100 ml **ห้ามเขย่าขวด**

↓

หยดเมทิลเรด 3-5 หยด นำไปไทเทรตกับ HCl 0.1 N

การคำนวณ

$$[HCl, N] = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)} \times 1{,}000}{53 \times V_{HCl} \text{ ที่ใช้}} \quad \text{(ข.8)}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

Na_2CO_3	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร HCl ที่ใช้		
		เริ่มสุด	สิ้นสุด	ปริมาตรที่ใช้
1	0.0539	0	12.0	12.0
2	0.0540	12.11	24.11	12.0
3	0.0540	24.11	36.30	12.19
เฉลี่ย	0.0540			12.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[HCl, N] = \frac{0.0540\ g \times 1,000}{53 \times 12.06\ ml}$$
$$= 0.08446\ N$$

การคำนวณหา Total N

$$\% N = \frac{(A - B) \times N \times 1.401}{W} \qquad (ข.9)$$

เมื่อ A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (ml)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตแบลงค์ (ml)

N = นอมัลริตี้ ของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (g)

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	น้ำหนักแห้ง (g)	ปริมาตรไทแทรนต์ HCl (ml)			ความเข้มข้นของ HCl
			เริ่มต้น	สิ้นสุด	ใช้ไป	
Blank			0.00	0.14	0.14	0.08446
1/1	1.0424	0.4796	0.14	6.82	6.68	0.08446
1/2	1.0463	0.4814	6.82	13.60	6.78	0.08446
1/3	1.0154	0.4672	13.60	20.98	7.38	0.08446

$$\% N = \frac{(6.68\ ml - 0.14\ ml) \times 0.08446\ N \times 1.401}{0.4796\ g}$$
$$= 1.61\%$$

8. การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช Ammonium – N และ Nitrate – N โดยวิธี Steam Distillation ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน 2547

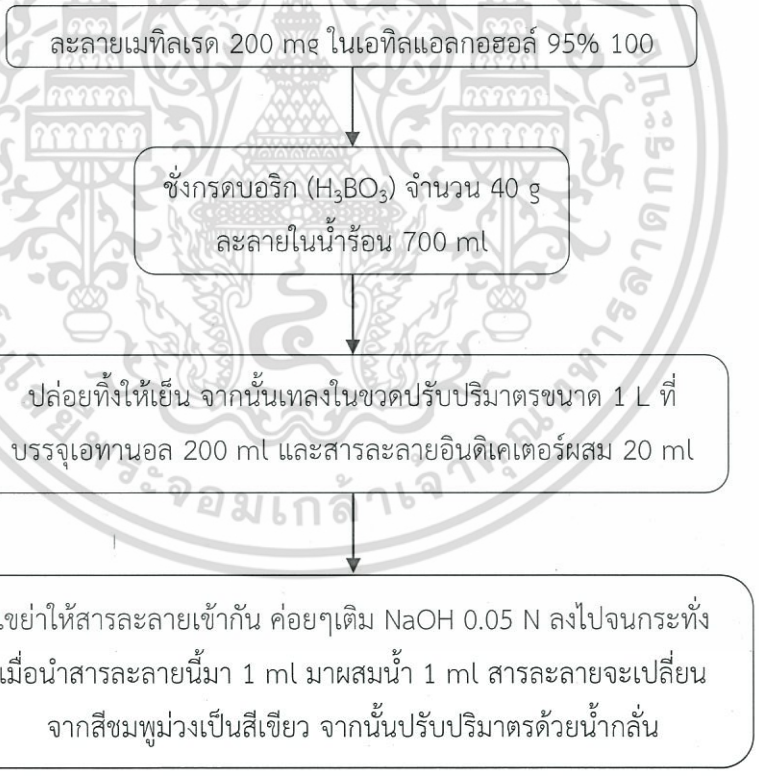
การเตรียมสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 2 N

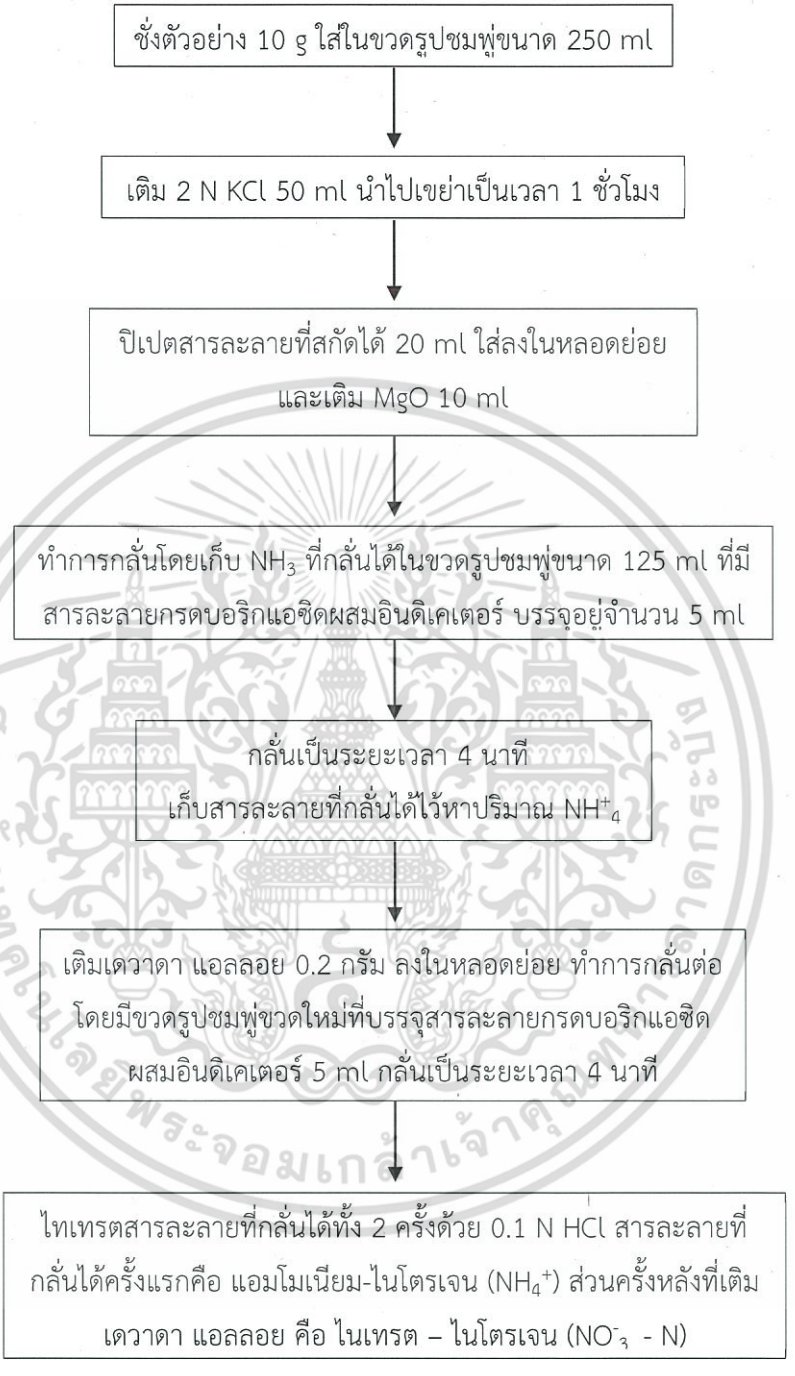
2.) สารละลายแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เข้มข้น 12 เปอร์เซ็นต์

3.) บอริกแอซิด อินดิเคเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวิเคราะห์



หมายเหตุ : การเตรียมแบลงค์ ใช้ 2 N KCl และทำตามขั้นตอนเหมือนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$NH_4^+ - N \text{ หรือ } NO^-_3 - N = \frac{N(A - B) \times D \times 0.014 \times 10^6}{C \times E} \text{ mg/kg} \qquad (ข.10)$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน *(นอร์มอล)*

A = ปริมาณสารละลายที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl (ml)

B = ปริมาณของแบลงค์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl (ml)

C = ปริมาณสารละลายที่ดูดจากสารละลายที่สกัดได้ (ml)

D = ปริมาณสารละลายที่สกัดได้ (ml)

E = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

ตัวอย่างการคำนวณ

สูตรปุ๋ย	น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้น HCl (N)	ปริมาตร HCl (ml)		
			$NH4^+$-N		
			เริ่มต้น	สิ้นสุด	ใช้ไป
Blank			0	17.0	17.0
1/1	4.6600	0.000845	38.0	57.0	19.0
สูตรปุ๋ย	น้ำหนักแห้ง (g)	ความเข้มข้น HCl (N)	ปริมาตร HCl (ml)		
			$NO3^-$-N		
			เริ่มต้น	สิ้นสุด	ใช้ไป
Blank			17.0	30.0	13.0
1/1	4.6600	0.000845	39.0	79.0	40.0

$$NH_4^+ - N = \frac{0.000845 \text{ N } (19.0 \text{ ml} - 17.0 \text{ ml}) \times 30 \text{ ml} \times 0.014 \times 10^6}{(20 \text{ ml} \times 4.6600 \text{ g})}$$

$$= 7.62 \text{ mg/kg}$$

$$NO^-_3 - N = \frac{0.000845 \text{ N } (40 \text{ ml} - 13 \text{ ml}) \times 30 \text{ ml} \times 0.014 \times 10^6}{(20 \text{ ml} \times 4.6600 \text{ g})}$$

$$= 102.82 \text{ mg/kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันและน้ำมัน (Oil and Grease) โดยวิธีซอกห์เลต (Soxhlet) ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC, 1990

วิธีการวิเคราะห์

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำมันคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (น้ำหนักแห้ง)}} \times 100 \quad \text{(ข.11)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

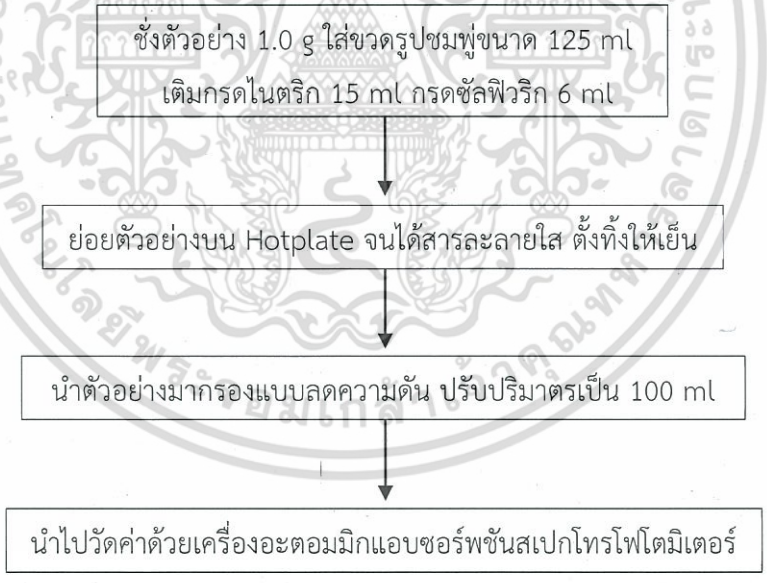
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง	น้ำหนักขวดก้นกลม (g)	น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (g)	น้ำหนักตัวอย่าง + ขวดก้นกลม (g)	น้ำหนักน้ำมันหลังอบ (g)
1	101.2239	1.6342	102.3036	1.0797
2	104.0446	1.7531	105.1021	1.0575
3	102.2841	1.5887	103.3084	1.0243

$$\text{ปริมาณไขมันคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{1.0797\ g}{1.6342\ g} \times 100$$
$$= 66.07\%$$

10. การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium) โดยวิธี อะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปคโทรสโกปี ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน 2547

วิธีการวิเคราะห์



หมายเหตุ : การเตรียมแบลงค์ ให้ทำตามขั้นตอนดังกล่าว โดยไม่ใส่ตัวอย่าง
ถ้ายังไม่ทำการวิเคราะห์โดยทันทีให้เก็บรักษาสภาพที่อุณหภูมิ 4 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\%K = \frac{r \times 100 \times d.f \times 100}{10^6 \, S} \qquad \text{(ข.12)}$$

เมื่อ r = ค่า mg/L ที่อ่านได้จากเครื่อง

S = น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

d.f = dilution factor ถ้าไม่ได้ dilute ให้ตัด d.f ออก

ตัวอย่างการคำนวณ

สูตรปุ๋ย	น้ำหนักแห้ง(กรัม)	ปริมาณธาตุ K (ppm)
Blank		4.8
1/1	0.8552	52.9
1/2	0.7535	46.6
1/3	0.7748	57.6

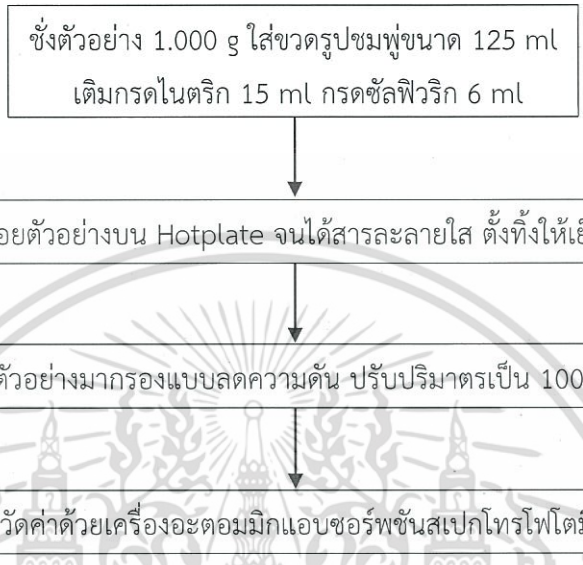
$$\%K = \frac{52.9 \text{ mg/L} \times 100 \times (\frac{75}{25}) \times 100}{10^6 \times 0.8552 \text{ g}}$$

$$= 1.86\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) และตะกั่ว (Pb) โดยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปคโทรสโกปี ตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน 2547

วิธีการวิเคราะห์



หมายเหตุ : การเตรียมแบลงค์ ให้ทำตามขั้นตอนดังกล่าว โดยไม่ใส่ตัวอย่าง ถ้ายังไม่ทำการวิเคราะห์โดยทันทีให้เก็บรักษาสภาพที่อุณหภูมิ 4 °C

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโลหะหนัก} = \frac{(r\text{-}b) \times 100 \times d.f.}{s} \text{ mg/kg} \qquad \text{(ข.13)}$$

เมื่อ r-b = ค่าที่อ่านได้ (mg/L) – blank

s = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

d.f. = dilution factor ค่าการเจือจางสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

สูตรปุ๋ย	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ปริมาณธาตุ Cd	ปริมาณธาตุ Cr	ปริมาณธาตุ Cu	ปริมาณธาตุ Pb
		ppm	ppm	ppm	ppm
Blank		0.102	0.019	0.034	0.927
1/1	1.1365	0.136	0.309	0.244	1.056
1/2	1.0013	0.121	0.328	0.208	1.004
1/3	1.0296	0.137	0.383	0.228	1.086

$$\text{ปริมาณ Cu} = \frac{(0.244 \text{ ppm} - 0.034 \text{ ppm}) \times 100 \times (\frac{75}{25})}{1.1365 \text{ g}} \text{ mg/kg}$$

$$= 73.66 \text{ mg/kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์

ตารางที่ 1-ค การตรวจวัดสมบัติของวัสดุหมักพารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	ครั้ง	วัสดุหมัก				
		ปุ๋ยคอก	ตะกอนน้ำเสีย	เศษใบไม้	เส้นใยปาล์ม	กากไขมัน
พีเอช	1	8.69	7.25	5.40	6.00	5.37
	2	8.73	7.16	5.38	5.95	5.35
	3	8.70	7.09	5.38	5.93	5.36
	$\bar{X}$	8.71	7.17	5.39	5.96	5.36
	S.D.	0.02	0.08	0.01	0.04	0.01
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	1	900	1430	502	619	473
	2	874	1500	492	610	512
	3	879	1490	480	608	498
	$\bar{X}$	884	1473	491	612	494
	S.D.	14	38	11	6	20
ความชื้น (%)	1	3.72	89.93	4.60	3.95	70.12
	2	2.69	88.15	6.07	3.56	68.47
	3	3.27	87.86	62.59	3.78	71.77
	$\bar{X}$	3.23	88.65	24.42	3.76	70.12
	S.D.	0.52	1.12	33.06	0.20	1.65
คาร์บอนทั้งหมด (%)	1	46.47	51.17	36.53	7.15	36.65
	2	47.02	47.29	40.35	11.51	12.01
	3	45.90	52.94	46.33	9.64	55.15
	$\bar{X}$	46.46	50.47	41.07	9.43	34.60
	S.D.	0.56	2.89	4.94	2.19	21.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ครั้ง	วัสดุหมัก				
		ปุ๋ยคอก	ตะกอนน้ำเสีย	เศษใบไม้	เส้นใยปาล์ม	กากไขมัน
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	1	1.17	3.99	0.84	1.25	0.67
	2	1.24	4.03	0.86	1.30	0.69
	3	1.15	3.93	0.85	1.29	1.05
	$\bar{X}$	1.19	3.98	0.85	1.28	0.80
	S.D.	0.05	0.05	0.01	0.03	0.21
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	1	0.01	0.01	0.01	0.01	-
	2	0.01	0.01	0.01	0.01	-
	3	0.01	0.01	0.01	0.01	-
	$\bar{X}$	0.01	0.01	0.01	0.01	
	S.D.	0.01	0.01	0.01	0.01	
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	1	3.16	3.30	1.89	2.05	0.38
	2	3.25	3.24	2.11	2.27	0.28
	3	3.01	3.28	1.66	2.05	0.27
	$\bar{X}$	3.14	3.27	1.89	2.12	0.31
	S.D.	0.12	0.03	0.23	0.13	0.06
ไขมันและน้ำมัน (%)	1	-	-	-	-	57.70
	2	-	-	-	-	48.60
	3	-	-	-	-	51.62
	$\bar{X}$	-	-	-	-	52.64
	S.D.	-	-	-	-	4.63
อัตราส่วน C/N	1	39.72	12.82	43.49	5.72	54.70
	2	37.92	11.73	46.92	8.85	17.41
	3	39.91	13.47	54.50	7.47	52.52
	$\bar{X}$	39.18	12.68	48.30	7.35	41.54
	S.D.	1.10	0.88	5.64	1.57	20.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ครั้ง	วัสดุหมัก				
		ปุ๋ยคอก	ตะกอนน้ำเสีย	เศษใบไม้	เส้นใยปาล์ม	กากไขมัน
แคดเมียม (mg/kg)	1	11.11	15.14	5.39	6.00	20.86
	2	10.34	17.84	14.14	11.38	12.21
	3	4.40	12.77	9.29	5.73	24.47
	$\bar{X}$	8.62	15.25	9.61	7.70	19.18
	S.D.	3.68	2.54	4.39	3.18	6.30
โครเมียม (mg/kg)	1	105.72	132.64	48.86	324.19	18.96
	2	146.61	134.59	45.04	272.13	24.43
	3	133.07	152.67	47.96	146.74	26.38
	$\bar{X}$	128.47	139.97	47.29	247.68	23.25
	S.D.	20.83	11.04	2.00	91.21	3.84
ทองแดง (mg/kg)	1	63.97	548.33	13.29	78.65	75.85
	2	66.92	539.44	13.40	78.17	82.00
	3	66.54	543.50	10.78	73.08	82.31
	$\bar{X}$	65.81	543.76	12.49	76.63	80.05
	S.D.	1.60	4.45	1.48	3.08	3.64
ตะกั่ว (mg/kg)	1	31.29	127.51	43.71	68.54	149.33
	2	37.26	146.84	52.73	39.13	59.61
	3	49.10	128.15	49.88	42.27	158.10
	$\bar{X}$	39.21	134.17	48.77	49.98	122.35
	S.D.	9.07	10.98	4.61	16.15	54.51

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่ได้ทำการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-ค แสดงการตรวจวัดอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก

สูตร	ครั้ง	อุณหภูมิ (°c)															
		วันที่ 1	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 14	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 23	วันที่ 27	วันที่ 30	วันที่ 34	วันที่ 38	วันที่ 41	วันที่ 45	วันที่ 48	วันที่ 51	วันที่ 59
1	1	29.6	30.7	28.8	24.0	27.0	31.2	32.2	31.7	31.4	33.3	31.3	32.0	21.5	31.2	33.2	32.1
	2	29.6	30.5	28.8	22.5	25.8	30.0	31.5	30.7	30.3	31.9	30.3	30.8	28.4	30.0	32.1	31.0
	3	29.7	30.5	29.0	23.9	26.8	30.7	31.9	31.6	31.0	32.9	30.9	31.5	29.0	31.0	32.7	31.3
	4	29.8	30.5	29.1	23.0	27.1	30.3	32.0	31.5	31.1	32.8	30.8	31.4	29.0	31.0	32.5	31.2
	5	30.0	30.5	28.9	23.2	27.6	32.0	32.9	31.9	31.4	33.4	31.2	32.0	29.5	31.5	32.4	31.7
2	1	31.0	31.3	29.1	24.5	27.3	31.5	32.3	32.4	31.4	32.4	31.6	32.3	29.2	20.9	32.6	31.9
	2	30.8	29.8	28.9	23.0	26.1	31.0	31.5	31.7	30.2	31.5	30.5	31.4	28.2	30.0	31.6	30.9
	3	30.7	32.0	28.7	24.7	26.8	31.3	31.7	31.9	30.8	32.3	31.0	31.8	28.7	30.8	31.9	31.1
	4	30.9	31.0	29.2	23.8	27.0	30.5	32.1	31.9	30.9	32.1	31.0	31.6	28.6	30.3	31.8	30.5
	5	30.9	31.0	29.4	24.0	27.3	32.0	32.8	32.5	31.2	33.0	31.5	32.3	29.1	31.4	31.9	31.1

สูตร	ครั้ง	อุณหภูมิ (°c)															
		วันที่ 1	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 14	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 23	วันที่ 27	วันที่ 30	วันที่ 34	วันที่ 38	วันที่ 41	วันที่ 45	วันที่ 48	วันที่ 51	วันที่ 59
3	1	27.2	29.8	30.1	25.6	27.0	29.7	29.3	30.0	30.6	30.9	30.1	31.1	28.4	30.7	33.4	32.0
	2	27.3	29.3	30.9	23.8	25.7	28.9	28.5	29.7	29.1	30.3	29.4	30.5	27.7	30.6	32.4	31.1
	3	27.3	31.3	30.8	26.0	26.7	29.3	28.7	30.1	29.8	30.8	30.0	31.1	27.7	31.0	32.7	31.4
	4	27.3	30.2	30.4	24.9	26.9	29.2	28.7	30.0	29.5	31.1	28.5	31.4	28.0	28.4	32.6	31.4
	5	27.5	30.3	30.7	24.7	27.2	30.1	29.3	29.5	30.0	31.5	30.3	32.5	29.0	31.2	33.1	30.9
4	1	27.2	34.0	31.7	26.0	26.5	30.2	29.5	30.3	30.0	31.9	31.0	32.4	29.0	32.3	33.4	31.4
	2	27.4	33.0	31.9	24.3	25.2	29.3	29.0	29.7	29.1	30.9	29.9	31.3	27.5	31.5	32.4	30.2
	3	27.3	35.5	32.0	26.1	26.3	30.1	28.7	30.3	29.7	31.5	30.6	32.0	28.4	31.6	32.7	31.0
	4	27.7	33.0	31.7	25.0	26.4	29.6	29.3	30.0	29.7	31.2	30.2	32.0	28.7	31.4	32.6	31.0
	5	27.6	33.7	31.9	25.1	26.6	30.1	29.5	30.7	30.0	31.9	30.9	32.5	29.3	32.3	33.1	31.1
5	1	28.8	31.7	33.4	24.6	26.6	31.3	31.3	32.3	31.3	33.0	31.2	32.0	29.2	32.1	34.1	31.6
	2	29.0	30.7	30.0	22.9	25.0	30.1	30.5	31.5	30.2	32.0	30.4	30.9	27.9	31.0	33.4	30.6
	3	28.8	32.7	29.7	24.7	25.9	29.8	30.9	32.2	30.9	32.8	31.0	31.5	28.7	31.9	33.8	31.3
	4	28.9	31.0	30.3	23.5	26.1	29.7	30.7	31.6	30.8	32.8	31.0	31.5	28.9	31.6	33.7	31.0
	5	28.9	30.8	30.1	23.6	26.3	30.2	31.6	32.7	31.3	33.0	31.3	31.7	29.2	32.6	34.3	31.3

สูตร	ครั้ง	อุณหภูมิ (°c)															
		วันที่ 1	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 14	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 23	วันที่ 27	วันที่ 30	วันที่ 34	วันที่ 38	วันที่ 41	วันที่ 45	วันที่ 48	วันที่ 51	วันที่ 59
6	1	28.8	34.0	30.4	25.0	25.8	29.8	31.6	32.2	31.2	33.1	31.1	32.1	29.1	31.9	32.4	31.7
	2	29.0	34.2	30.1	23.3	24.9	30.0	30.9	31.4	30.0	31.7	30.0	30.9	28.0	31.0	32.5	30.2
	3	29.0	38.7	30.2	25.2	25.7	30.3	31.6	32.1	30.7	32.6	30.9	31.7	29.1	31.5	32.2	31.3
	4	29.0	35.0	29.9	23.7	27.6	28.4	31.5	31.8	30.8	32.5	30.9	31.6	28.9	30.9	31.8	31.1
	5	29.1	35.0	30.0	24.3	26.1	30.4	32.1	32.5	31.0	33.1	31.1	31.8	29.0	32.1	32.0	31.2
7	1	26.7	31.7	30.8	25.8	26.9	30.1	29.6	29.6	30.0	32.6	30.0	32.9	30.1	33.0	32.2	31.9
	2	27.0	32.0	30.4	24.4	25.1	29.9	28.9	30.7	28.8	31.2	29.9	31.6	28.8	31.5	31.0	30.9
	3	27.0	33.5	30.4	25.8	26.1	29.8	29.1	31.2	29.6	32.3	30.5	32.5	29.6	32.3	31.9	31.2
	4	27.2	31.0	30.2	23.8	27.0	30.1	29.6	30.1	29.5	32.4	29.3	32.3	29.7	32.5	31.7	31.3
	5	27.0	31.7	30.3	24.6	27.1	31.0	30.1	31.5	29.9	33.0	30.5	33.2	31.2	33.1	31.5	32.1
8	1	27.1	33.5	31.5	25.7	25.8	28.9	28.3	30.0	29.3	31.8	30.4	32.4	29.5	32.5	34.0	31.8
	2	27.2	32.5	31.4	24.3	24.6	28.2	27.6	29.4	28.2	30.9	29.5	31.1	28.2	31.2	33.0	30.2
	3	27.4	34.3	31.6	25.7	25.7	29.3	28.4	30.1	28.9	30.9	30.1	31.8	28.7	31.7	32.7	31.0
	4	27.3	32.2	32.3	24.6	25.7	28.3	28.0	29.6	28.9	31.2	29.6	32.0	29.1	31.4	32.6	31.1
	5	27.4	32.8	31.8	24.6	26.0	29.1	28.6	30.3	29.1	32.5	30.7	32.9	30.8	32.7	33.1	31.4

สูตร	ครั้ง	อุณหภูมิ (°c)															
		วันที่ 1	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 14	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 23	วันที่ 27	วันที่ 30	วันที่ 34	วันที่ 38	วันที่ 41	วันที่ 45	วันที่ 48	วันที่ 51	วันที่ 59
9	1	26.9	30.0	27.1	23.3	25.4	31.0	32.2	32.5	31.1	33.5	31.6	32.3	29.1	32.3	34.4	32.3
	2	27.1	28.3	27.5	21.5	24.3	29.8	31.6	32.2	30.6	32.2	30.6	31.2	28.0	31.1	33.0	31.1
	3	27.4	29.5	27.7	23.0	25.6	26.8	32.0	32.5	31.0	32.9	31.3	32.1	28.9	31.6	33.9	32.3
	4	27.7	29.0	27.6	22.2	25.7	30.2	31.6	32.5	31.0	32.9	31.2	32.0	28.5	31.6	34.1	32.1
	5	27.6	29.8	27.7	22.5	25.1	31.4	33.0	33.4	31.3	34.0	31.8	32.6	29.3	32.6	33.6	32.1
10	1	26.8	30.0	28.3	24.8	26.0	30.3	30.7	32.0	31.2	33.5	31.5	32.8	29.4	32.5	34.0	32.5
	2	27.1	28.8	28.5	24.5	24.9	30.1	30.0	31.5	30.0	32.9	30.5	31.4	28.0	31.6	33.0	31.0
	3	27.2	29.7	28.6	26.3	25.8	29.7	30.8	31.9	30.9	33.3	31.3	32.3	28.7	32.0	33.7	32.2
	4	27.1	29.2	28.5	24.8	26.0	28.9	30.6	31.9	30.9	33.2	31.3	32.1	28.4	32.1	33.6	32.1
	5	27.1	30.0	28.4	24.6	26.4	30.4	31.3	33.0	31.4	33.9	31.4	33.0	29.7	32.9	34.4	32.3
11	1	27.0	29.7	30.0	24.7	25.7	28.5	28.2	29.0	29.2	32.0	30.2	33.7	31.2	33.2	31.8	31.5
	2	27.2	27.3	30.4	23.7	24.2	28.3	27.8	28.9	28.1	31.3	29.5	32.3	29.7	32.2	31.0	30.4
	3	27.0	30.3	30.1	25.0	25.1	28.8	28.2	29.7	28.7	31.8	29.9	32.6	29.8	32.8	32.0	31.2
	4	27.1	29.2	30.2	23.6	26.1	27.7	27.7	28.3	28.3	32.4	29.7	33.0	29.8	32.5	32.0	31.3
	5	27.1	29.5	30.0	24.0	25.6	29.3	28.4	29.7	29.3	32.7	31.2	33.7	31.6	33.8	32.0	31.7

สูตร	ครั้ง	อุณหภูมิ (°c)															
		วันที่ 1	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 14	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 23	วันที่ 27	วันที่ 30	วันที่ 34	วันที่ 38	วันที่ 41	วันที่ 45	วันที่ 48	วันที่ 51	วันที่ 59
12	1	27.4	32.7	31.0	26.0	25.4	28.6	27.6	29.4	29.0	32.3	31.0	33.8	30.9	33.5	31.8	30.3
	2	27.5	30.3	31.2	24.0	24.4	28.1	27.1	28.7	27.7	30.5	29.9	32.9	29.8	32.1	31.4	29.0
	3	27.4	33.3	31.6	26.3	25.0	28.9	27.4	29.8	28.8	31.5	30.8	33.4	30.7	32.8	31.9	29.8
	4	27.5	32.2	31.8	25.2	25.1	27.7	27.3	29.6	28.7	31.9	30.3	33.6	30.6	32.9	31.4	29.5
	5	27.4	31.8	32.2	25.1	25.0	28.8	27.6	30.0	28.9	32.4	31.4	34.3	31.4	33.8	32.7	30.5
อุณหูมิห้อง	1	24.5	26.3	27	22.9	24.1	29.0	27.0	27.5	27.9	30.0	29.0	31.0	28.1	32.2	27.0	30.1
	2	23.7	25.7	27	21.0	23.0	28.0	26.5	27	27.8	29.0	28.0	30.0	27.0	31.1	29.0	29.0
	3	21.9	27.9	26.5	22.9	24.0	28.8	27.0	27.7	27.2	29.9	28.8	30.8	28.0	32.0	30.0	29.9
	4	22.4	27.6	26	21.0	23.9	28.9	27.0	27.8	27.5	29.8	28.7	30.8	27.9	32.0	30.0	30.0
	5	22.5	27.5	25	21.0	24.0	29.0	27.2	28	27.1	30.0	29.0	31.0	28.0	32.0	28.0	30.0

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 3-ค ผลการตรวจวัดค่าความชื้นของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	ความชื้น (%)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
1	1	31.62	101.32	132.24	124.41	117.35
	2	30.59	99.78	112.77	120.36	112.88
	3	36.45	102.86	151.71	128.46	121.82
	$\bar{X}$	32.89	101.32	132.24	124.41	117.35
	S.D.	3.13	1.54	19.47	4.05	4.47
2	1	30.71	94.88	143.71	135.37	117.42
	2	29.60	99.00	152.11	129.77	120.32
	3	28.19	90.76	135.31	140.97	114.52
	$\bar{X}$	29.50	94.88	143.71	135.37	117.42
	S.D.	1.26	4.12	8.40	5.60	2.90
3	1	97.47	45.30	55.21	60.98	72.09
	2	114.68	51.11	60.32	57.83	74.38
	3	103.27	39.49	50.10	64.13	69.80
	$\bar{X}$	105.14	45.30	55.21	60.98	72.09
	S.D.	8.76	5.81	5.11	3.15	2.29
4	1	86.59	54.66	103.34	74.19	82.45
	2	85.49	50.12	110.22	72.46	79.68
	3	81.76	59.20	96.46	75.92	85.22
	$\bar{X}$	84.61	54.66	103.34	74.19	82.45
	S.D.	2.53	4.54	6.88	1.73	2.77
5	1	38.58	62.43	105.09	112.37	101.36
	2	40.82	63.98	100.28	111.83	98.14
	3	39.86	60.88	109.90	112.91	104.58
	$\bar{X}$	39.75	62.43	105.09	112.37	101.36
	S.D.	1.12	1.55	4.81	0.54	3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ความชื้น (%)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
6	1	37.49	75.38	87.54	114.55	99.36
	2	39.01	70.23	80.72	111.86	101.23
	3	43.69	80.53	94.36	117.24	97.49
	$\bar{X}$	40.06	75.38	87.54	114.55	99.36
	S.D.	3.23	5.15	6.82	2.69	1.87
7	1	86.11	38.99	67.79	66.59	61.00
	2	95.14	42.58	70.13	60.23	58.79
	3	104.83	38.40	65.45	72.95	63.21
	$\bar{X}$	95.36	39.99	67.79	66.59	61.00
	S.D.	9.36	2.26	2.34	6.36	2.21
8	1	90.90	33.30	63.52	61.96	59.13
	2	86.66	34.10	59.71	58.77	61.23
	3	88.85	32.50	67.33	65.15	57.03
	$\bar{X}$	88.80	33.30	63.52	61.96	59.13
	S.D.	2.12	0.80	3.81	3.19	2.10
9	1	49.87	45.70	66.03	80.06	94.86
	2	37.96	42.87	62.83	78.65	91.88
	3	56.92	48.53	69.23	81.47	97.84
	$\bar{X}$	48.25	45.70	66.03	80.06	94.86
	S.D.	9.58	2.83	3.20	1.41	2.98
10	1	42.61	47.14	82.04	82.72	82.88
	2	43.60	45.22	79.65	80.99	79.86
	3	43.98	49.06	84.43	84.45	85.90
	$\bar{X}$	43.40	47.14	82.04	82.72	82.88
	S.D.	0.71	1.92	2.39	1.73	3.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ความชื้น (%)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
11	1	97.91	30.03	48.11	50.25	48.75
	2	91.99	27.86	50.21	48.57	50.22
	3	75.58	32.20	46.01	51.93	47.28
	$\bar{X}$	88.49	30.03	48.11	50.25	48.75
	S.D.	11.57	2.17	2.10	1.68	1.47
12	1	77.01	24.68	49.01	53.28	55.99
	2	87.43	22.14	51.73	50.22	59.37
	3	83.10	27.22	46.29	56.34	52.61
	$\bar{X}$	82.51	24.68	49.01	53.28	55.99
	S.D.	5.23	2.54	2.72	3.06	3.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-ค ผลการตรวจวัดค่าพีเอชของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	ค่าพีเอช				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
1	1	5.22	5.77	5.91	7.02	7.04
	2	5.42	5.78	5.93	7.01	7.45
	3	5.38	5.77	5.96	7.04	7.47
	$\bar{X}$	5.34	5.77	5.93	7.02	7.32
	S.D.	0.11	0.01	0.03	0.02	0.24
2	1	5.46	5.85	6.28	7.33	7.44
	2	5.37	5.85	6.32	7.36	7.44
	3	5.43	5.82	6.36	7.34	7.44
	$\bar{X}$	5.42	5.84	6.32	7.34	7.44
	S.D.	0.05	0.02	0.04	0.02	0.00
3	1	5.11	5.78	5.82	5.99	6.17
	2	5.48	5.80	5.81	5.95	6.14
	3	5.32	5.80	5.81	5.94	6.13
	$\bar{X}$	5.30	5.79	5.81	5.96	6.15
	S.D.	0.19	0.01	0.01	0.03	0.02
4	1	5.50	6.07	5.88	6.05	6.51
	2	5.30	6.04	5.89	6.05	6.42
	3	5.09	6.08	5.89	6.05	6.50
	$\bar{X}$	5.30	6.06	5.89	6.05	6.48
	S.D.	0.21	0.02	0.01	0.00	0.05
5	1	5.24	5.56	5.77	6.16	6.57
	2	5.19	5.55	5.77	6.16	6.57
	3	5.29	5.56	5.76	6.14	6.57
	$\bar{X}$	5.24	5.56	5.77	6.15	6.57
	S.D.	0.05	0.01	0.01	0.01	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ค่าพีเอช				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
6	1	5.24	5.70	5.66	6.29	6.66
	2	5.25	5.71	5.68	6.29	6.66
	3	5.14	5.72	5.64	6.30	6.66
	$\bar{X}$	5.21	5.71	5.66	6.29	6.66
	S.D.	0.06	0.01	0.02	0.01	0.00
7	1	5.19	5.64	5.78	5.90	6.03
	2	5.41	5.55	5.78	5.89	6.03
	3	4.99	5.55	5.78	5.91	6.03
	$\bar{X}$	5.20	5.58	5.78	5.90	6.03
	S.D.	0.21	0.05	0.00	0.01	0.00
8	1	4.94	5.53	5.68	5.83	5.90
	2	5.25	5.54	5.67	5.84	5.89
	3	5.16	5.53	5.64	5.83	5.91
	$\bar{X}$	5.12	5.53	5.66	5.83	5.90
	S.D.	0.16	0.01	0.02	0.01	0.01
9	1	5.10	5.33	5.19	5.83	5.91
	2	4.96	5.31	5.22	5.82	5.89
	3	5.06	5.34	5.22	5.82	5.87
	$\bar{X}$	5.04	5.33	5.21	5.82	5.89
	S.D.	0.07	0.02	0.02	0.01	0.02
10	1	4.97	5.31	5.43	6.02	6.14
	2	4.85	5.29	5.42	6.03	6.13
	3	4.79	5.29	5.42	6.03	6.14
	$\bar{X}$	4.87	5.30	5.42	6.03	6.14
	S.D.	0.09	0.01	0.01	0.01	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ค่าพีเอช				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
11	1	4.97	5.30	5.46	5.66	5.80
	2	4.88	5.32	5.45	5.65	5.80
	3	4.68	5.31	5.44	5.65	5.81
	$\bar{X}$	4.84	5.31	5.45	5.65	5.80
	S.D.	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01
12	1	4.91	5.34	5.44	5.63	5.78
	2	5.09	5.36	5.38	5.65	5.77
	3	4.81	5.35	5.42	5.63	5.75
	$\bar{X}$	4.94	5.35	5.41	5.64	5.77
	S.D.	0.14	0.01	0.03	0.01	0.02

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5-ค ผลการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/m)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
1	1	424	446	445	377	321
	2	430	448	437	362	310
	3	427	456	431	390	228
	$\bar{X}$	427	450	438	376	286
	S.D.	3.00	5.29	7.02	14.01	50.82
2	1	336	404	403	407	364
	2	335	401	418	401	389
	3	333	398	426	399	402
	$\bar{X}$	335	401	416	402	385
	S.D.	1.53	3.00	11.68	4.16	19.31
3	1	528	740	566	638	523
	2	524	745	516	627	527
	3	530	746	544	615	517
	$\bar{X}$	527	744	542	627	522
	S.D.	3.06	3.21	25.06	11.50	5.03
4	1	620	614	597	501	372
	2	619	613	601	496	387
	3	626	614	602	507	437
	$\bar{X}$	622	614	600	501	399
	S.D.	3.79	0.58	2.65	5.51	34.03
5	1	442	470	492	416	398
	2	435	463	478	424	387
	3	444	460	488	407	380
	$\bar{X}$	440	464	486	416	388
	S.D.	4.73	5.13	7.21	8.50	9.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/m)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
6	1	396	456	621	427	375
	2	399	451	630	426	373
	3	399	448	635	429	374
	$\bar{X}$	398	452	629	427	374
	S.D.	1.73	4.04	7.09	1.53	1.00
7	1	525	647	617	504	525
	2	523	647	622	481	511
	3	521	652	629	490	514
	$\bar{X}$	523	649	623	492	517
	S.D.	2.00	2.89	6.03	11.59	7.37
8	1	407	618	603	485	474
	2	406	593	611	490	477
	3	408	569	611	492	437
	$\bar{X}$	407	593	608	489	463
	S.D.	1.00	24.50	4.62	3.61	22.28
9	1	432	561	810	409	342
	2	436	550	835	422	354
	3	433	554	818	434	332
	$\bar{X}$	434	555	821	422	343
	S.D.	2.08	5.57	12.77	12.50	11.02
10	1	396	483	490	389	399
	2	398	482	506	390	400
	3	398	481	514	387	388
	$\bar{X}$	397	482	503	389	396
	S.D.	1.15	1.00	12.22	1.53	6.66
11	1	516	560	627	537	483
	2	518	558	626	534	420
	3	514	560	629	535	471
	$\bar{X}$	516	559	627	535	458
	S.D.	2.00	1.15	1.53	1.53	33.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ค่าการนำไฟฟ้า (µS/m)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
12	1	298	589	517	563	380
	2	283	592	512	551	411
	3	279	594	529	539	410
	$\bar{X}$	287	592	519	551	400
	S.D.	10.02	2.52	8.74	12.00	17.62

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6-ค ผลการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
1	1	34.63	32.98	29.60	30.08	28.79
	2	36.79	30.65	30.40	28.43	29.20
	3	33.19	32.42	33.10	29.41	29.48
	$\bar{X}$	34.87	32.02	31.03	29.31	29.16
	S.D.	1.82	1.21	1.83	0.83	0.35
2	1	35.07	35.09	32.77	26.68	31.59
	2	35.25	33.26	32.51	39.74	26.08
	3	33.79	33.24	33.04	25.61	29.95
	$\bar{X}$	34.70	33.87	32.78	30.68	29.21
	S.D.	0.80	1.06	0.26	7.87	2.83
3	1	35.83	31.67	28.40	31.56	23.82
	2	32.36	30.36	29.88	30.01	25.44
	3	27.77	27.85	26.76	20.69	26.14
	$\bar{X}$	31.99	29.96	28.35	27.42	25.13
	S.D.	4.05	1.94	1.56	5.88	1.19
4	1	34.10	30.79	31.14	24.64	21.64
	2	33.06	29.56	26.37	25.23	23.97
	3	35.01	36.89	28.96	23.96	21.82
	$\bar{X}$	34.06	32.41	28.82	24.61	22.48
	S.D.	0.98	3.93	2.39	0.64	1.29
5	1	40.59	36.54	33.76	32.43	28.34
	2	38.83	38.82	35.63	28.60	25.76
	3	39.87	35.93	34.34	31.45	26.07
	$\bar{X}$	39.76	37.10	34.58	30.83	26.72
	S.D.	0.88	1.52	0.95	1.99	1.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
6	1	37.43	36.28	35.77	35.79	33.96
	2	39.16	37.86	31.24	37.29	26.89
	3	39.55	35.62	37.28	23.46	24.37
	$\bar{X}$	38.71	36.59	34.76	32.18	28.41
	S.D.	1.13	1.15	3.14	7.59	4.97
7	1	28.63	26.23	30.50	22.22	23.69
	2	29.37	33.57	26.19	29.18	21.52
	3	31.08	26.89	24.21	20.93	22.80
	$\bar{X}$	29.69	28.90	26.97	24.11	22.67
	S.D.	1.26	4.06	3.22	4.44	1.09
8	1	33.43	31.55	29.89	30.94	22.67
	2	35.69	31.28	31.29	29.89	31.97
	3	29.82	34.33	30.47	25.37	31.50
	$\bar{X}$	32.98	32.39	30.55	28.74	28.71
	S.D.	2.96	1.69	0.70	2.96	5.24
9	1	39.24	36.92	32.78	28.96	28.72
	2	37.11	40.37	38.37	31.45	29.80
	3	36.64	30.66	30.49	35.10	29.37
	$\bar{X}$	37.66	35.98	33.88	31.83	29.30
	S.D.	1.39	4.92	4.05	3.09	0.54
10	1	46.48	53.98	39.37	31.55	21.31
	2	43.51	40.15	38.72	33.12	34.70
	3	45.85	32.05	47.06	42.33	30.00
	$\bar{X}$	45.28	42.06	41.72	35.67	28.67
	S.D.	1.56	11.09	4.64	5.83	6.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
11	1	29.39	31.94	26.81	24.54	25.26
	2	30.27	24.83	26.09	30.66	25.21
	3	31.44	24.12	26.17	19.63	15.01
	$\bar{X}$	30.37	26.97	26.36	24.94	21.83
	S.D.	1.03	4.32	0.39	5.53	5.90
12	1	29.39	34.42	22.10	20.40	24.96
	2	32.59	27.96	30.28	23.99	20.71
	3	33.79	30.59	38.01	31.78	24.60
	$\bar{X}$	31.92	30.99	30.13	25.39	23.42
	S.D.	2.27	3.25	7.96	5.82	2.36

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7-ค ผลการตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
1	1	1.22	1.22	1.50	1.66	1.61
	2	1.22	1.16	1.54	1.64	1.63
	3	1.12	1.37	1.33	1.62	1.83
	$\bar{X}$	1.19	1.25	1.46	1.64	1.69
	S.D.	0.06	0.11	0.11	0.02	0.12
2	1	1.26	1.52	1.69	1.93	2.02
	2	1.23	1.43	1.58	1.90	2.17
	3	1.27	1.47	1.70	1.68	2.00
	$\bar{X}$	1.25	1.47	1.66	1.84	2.06
	S.D.	0.02	0.05	0.07	0.14	0.09
3	1	1.98	2.28	2.58	2.62	1.94
	2	1.93	2.31	2.30	2.35	1.95
	3	1.87	2.26	2.53	2.51	2.01
	$\bar{X}$	1.93	2.28	2.47	2.49	1.97
	S.D.	0.06	0.03	0.15	0.14	0.04
4	1	2.14	2.24	2.84	2.82	2.42
	2	2.05	2.17	2.63	2.59	2.62
	3	2.23	2.15	2.89	2.90	3.08
	$\bar{X}$	2.14	2.19	2.79	2.77	2.71
	S.D.	0.09	0.05	0.14	0.16	0.34
5	1	1.20	1.30	1.50	1.63	0.98
	2	1.21	1.31	1.46	1.68	1.60
	3	1.23	1.29	1.51	1.64	1.59
	$\bar{X}$	1.21	1.30	1.49	1.65	1.39
	S.D.	0.02	0.01	0.03	0.03	0.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
6	1	1.36	1.41	1.84	1.82	1.71
	2	1.35	1.40	2.54	1.81	1.74
	3	1.27	1.37	1.46	1.54	1.14
	$\bar{X}$	1.33	1.39	1.95	1.72	1.53
	S.D.	0.05	0.02	0.55	0.16	0.34
7	1	1.83	2.04	2.32	4.06	2.67
	2	1.90	2.07	2.43	0.86	2.52
	3	1.83	2.03	2.43	2.51	2.36
	$\bar{X}$	1.85	2.05	2.39	2.48	2.52
	S.D.	0.04	0.02	0.06	1.60	0.16
8	1	1.58	2.08	1.91	2.25	1.88
	2	1.52	2.03	2.21	2.45	2.55
	3	1.67	2.14	2.17	2.38	2.26
	$\bar{X}$	1.59	2.09	2.10	2.36	2.23
	S.D.	0.08	0.06	0.16	0.10	0.34
9	1	1.09	1.11	1.20	1.49	1.59
	2	1.03	1.10	1.28	1.36	1.71
	3	1.12	1.09	1.27	1.38	1.67
	$\bar{X}$	1.08	1.10	1.25	1.41	1.66
	S.D.	0.05	0.01	0.04	0.07	0.06
10	1	1.15	1.19	1.44	1.49	1.58
	2	1.09	1.10	1.36	1.60	1.79
	3	1.11	1.21	1.41	1.56	1.67
	$\bar{X}$	1.12	1.17	1.40	1.55	1.68
	S.D.	0.03	0.06	0.04	0.06	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
11	1	1.35	1.82	2.22	1.72	1.17
	2	1.30	1.79	1.88	1.84	2.09
	3	1.27	1.79	1.97	1.81	2.03
	$\bar{X}$	1.31	1.80	2.02	1.79	1.76
	S.D.	0.04	0.02	0.18	0.06	0.51
12	1	1.55	1.68	1.71	1.84	2.09
	2	1.58	1.63	1.78	2.13	2.08
	3	1.62	1.50	1.91	2.00	2.17
	$\bar{X}$	1.58	1.60	1.80	1.99	2.11
	S.D.	0.04	0.09	0.10	0.15	0.05

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8-ค ผลการตรวจวัดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	อัตราส่วน C/N				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
1	1	28.38	27.03	19.73	18.12	17.88
	2	30.16	26.43	19.74	17.34	17.91
	3	29.63	23.66	24.89	18.15	16.11
	$\bar{X}$	29.39	25.71	21.45	17.87	17.30
	S.D.	0.91	1.80	2.97	0.46	1.03
2	1	27.83	23.09	19.39	13.83	15.64
	2	28.66	23.26	20.58	20.92	12.02
	3	26.61	22.62	19.44	15.25	14.98
	$\bar{X}$	27.70	22.99	19.80	16.66	14.21
	S.D.	1.03	0.33	0.67	3.75	1.93
3	1	18.10	13.89	11.01	12.05	12.28
	2	16.76	13.14	12.99	12.77	13.04
	3	14.85	12.32	10.58	8.24	13.01
	$\bar{X}$	16.57	13.12	11.53	11.02	13.03
	S.D.	1.63	0.78	1.29	2.43	0.43
4	1	15.93	13.75	10.96	8.74	8.94
	2	16.13	13.62	10.03	9.74	9.15
	3	15.70	17.16	10.02	8.26	7.09
	$\bar{X}$	15.92	14.84	10.34	8.91	8.39
	S.D.	0.21	2.01	0.54	0.76	1.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	อัตราส่วน C/N				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
5	1	33.83	28.11	22.51	19.90	28.92
	2	32.09	29.64	24.40	17.03	16.10
	3	32.41	27.85	22.74	19.17	16.40
	$\bar{X}$	32.78	28.53	23.22	18.70	20.47
	S.D.	0.92	0.96	1.03	1.49	7.31
6	1	27.52	25.73	19.44	19.66	19.86
	2	29.01	27.04	12.30	20.60	15.45
	3	31.14	26.00	25.53	15.24	21.38
	$\bar{X}$	29.22	26.26	19.09	18.50	18.90
	S.D.	1.82	0.69	6.62	2.87	3.08
7	1	15.64	12.86	13.15	5.47	8.87
	2	15.46	16.22	10.78	33.93	8.54
	3	16.98	13.25	9.96	8.34	9.66
	$\bar{X}$	16.03	14.11	11.30	15.91	9.02
	S.D.	0.83	1.84	1.65	15.67	0.58
8	1	21.16	15.17	15.65	13.75	12.06
	2	23.48	15.41	14.16	12.20	12.54
	3	17.86	16.04	14.04	10.66	13.94
	$\bar{X}$	20.83	15.54	14.62	12.20	12.85
	S.D.	2.83	0.45	0.90	1.54	0.98
9	1	36.00	33.26	27.32	19.43	18.06
	2	36.03	36.70	29.97	23.12	17.43
	3	32.71	28.13	24.01	25.43	17.58
	$\bar{X}$	34.91	32.69	27.10	22.66	17.69
	S.D.	1.91	4.32	2.99	3.03	0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	อัตราส่วน C/N				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
10	1	40.42	45.37	27.34	21.17	13.49
	2	39.92	36.50	28.47	20.70	19.38
	3	41.31	26.48	33.38	27.14	17.96
	$\bar{X}$	40.55	36.12	29.73	23.00	16.94
	S.D.	0.70	9.45	3.21	3.59	3.08
11	1	21.77	17.55	12.08	14.27	21.59
	2	23.28	13.87	13.88	16.66	12.06
	3	24.76	13.48	13.29	10.84	7.39
	$\bar{X}$	23.27	14.97	13.08	13.93	13.68
	S.D.	1.49	2.25	0.92	2.93	7.24
12	1	18.96	20.49	12.92	11.09	11.94
	2	20.63	17.15	17.01	11.26	9.95
	3	20.86	20.39	19.90	15.89	11.34
	$\bar{X}$	20.15	19.35	16.61	12.75	11.08
	S.D.	1.03	1.90	3.51	2.72	1.02

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9-ค ผลการตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตรปุ๋ย	ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)		
	NH_4^+-N	NO_3^--N	Total Available N
สูตร 1	7.62	102.81	110.43
สูตร 2	15.31	45.94	61.25
สูตร 3	68.79	2.99	71.78
สูตร 4	62.2	18.66	80.86
สูตร 5	45.66	21.07	66.73
สูตร 6	119.73	3.52	123.25
สูตร 7	132.43	2.7	135.13
สูตร 8	13.17	15.81	28.98
สูตร 9	3.33	36.62	39.95
สูตร 10	48.47	19.39	67.86
สูตร 11	5.22	10.45	15.67
สูตร 12	2.73	13.63	16.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10-ค ผลการตรวจวัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 8
1	1	0.09	0.05
	2	0.08	0.05
	3	0.08	0.05
	$\bar{X}$	0.08	0.05
	S.D.	0.00	0.00
2	1	0.12	0.05
	2	0.08	0.05
	3	0.08	0.05
	$\bar{X}$	0.09	0.05
	S.D.	0.02	0.00
3	1	0.10	0.06
	2	0.09	0.08
	3	0.09	0.05
	$\bar{X}$	0.10	0.06
	S.D.	0.00	0.02
4	1	0.10	0.05
	2	0.11	0.06
	3	0.11	0.07
	$\bar{X}$	0.11	0.06
	S.D.	0.01	0.01
5	1	0.08	0.03
	2	0.07	0.03
	3	0.08	0.03
	$\bar{X}$	0.07	0.03
	S.D.	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 8
6	1	0.07	0.04
	2	0.07	0.04
	3	0.07	0.04
	$\bar{X}$	0.07	0.04
	S.D.	0.00	0.00
7	1	0.13	0.11
	2	0.16	0.04
	3	0.18	0.06
	$\bar{X}$	0.16	0.07
	S.D.	0.02	0.03
8	1	0.12	0.04
	2	0.13	0.11
	3	0.11	0.05
	$\bar{X}$	0.12	0.07
	S.D.	0.01	0.03
9	1	0.10	0.04
	2	0.08	0.05
	3	0.09	0.04
	$\bar{X}$	0.09	0.04
	S.D.	0.01	0.00
10	1	0.07	0.05
	2	0.06	0.05
	3	0.06	0.05
	$\bar{X}$	0.06	0.05
	S.D.	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 8
11	1	0.08	0.08
	2	0.06	0.07
	3	0.06	0.07
	$\bar{X}$	0.07	0.07
	S.D.	0.01	0.01
12	1	0.08	0.08
	2	0.10	0.08
	3	0.10	0.06
	$\bar{X}$	0.09	0.08
	S.D.	0.01	0.01

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11-ค ผลการตรวจวัดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (%)	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 8
1	1	0.05	0.06
	2	0.05	0.06
	3	0.05	0.05
	$\bar{X}$	0.05	0.06
	S.D.	0.00	0.00
2	1	0.05	0.06
	2	0.05	0.05
	3	0.05	0.05
	$\bar{X}$	0.05	0.05
	S.D.	0.00	0.00
3	1	0.09	0.07
	2	0.09	0.08
	3	0.09	0.07
	$\bar{X}$	0.09	0.07
	S.D.	0.00	0.01
4	1	0.08	0.08
	2	0.08	0.08
	3	0.08	0.08
	$\bar{X}$	0.08	0.08
	S.D.	0.00	0.00
5	1	0.04	0.04
	2	0.04	0.04
	3	0.04	0.04
	$\bar{X}$	0.04	0.04
	S.D.	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (%)	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 8
6	1	0.06	0.04
	2	0.07	0.05
	3	0.07	0.05
	$\bar{X}$	0.07	0.05
	S.D.	0.01	0.01
7	1	0.12	0.08
	2	0.13	0.07
	3	0.13	0.07
	$\bar{X}$	0.12	0.08
	S.D.	0.01	0.00
8	1	0.10	0.07
	2	0.11	0.07
	3	0.12	0.07
	$\bar{X}$	0.11	0.07
	S.D.	0.01	0.00
9	1	0.06	0.05
	2	0.07	0.04
	3	0.06	0.04
	$\bar{X}$	0.06	0.04
	S.D.	0.00	0.00
10	1	0.05	0.05
	2	0.06	0.04
	3	0.05	0.04
	$\bar{X}$	0.05	0.04
	S.D.	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (%)	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 8
11	1	0.11	0.06
	2	0.11	0.08
	3	0.12	0.07
	$\bar{X}$	0.11	0.07
	S.D.	0.01	0.01
12	1	0.10	0.06
	2	0.11	0.07
	3	0.11	0.07
	$\bar{X}$	0.11	0.07
	S.D.	0.01	0.01

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12-ค ผลการตรวจวัดปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	ปริมาณโพแทสเซียม (%)	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 8
1	1	1.86	2.99
	2	1.86	3.50
	3	2.23	3.14
	$\bar{X}$	1.98	3.21
	S.D.	0.22	0.26
2	1	2.33	3.66
	2	2.29	3.76
	3	2.31	3.15
	$\bar{X}$	2.31	3.52
	S.D.	0.02	0.32
3	1	1.95	2.56
	2	2.04	2.20
	3	2.12	2.44
	$\bar{X}$	2.04	2.40
	S.D.	0.09	0.18
4	1	1.59	2.09
	2	1.59	2.21
	3	1.51	2.19
	$\bar{X}$	1.56	2.16
	S.D.	0.05	0.06
5	1	2.05	2.56
	2	1.97	2.62
	3	2.00	2.60
	$\bar{X}$	2.01	2.59
	S.D.	0.04	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณโพแทสเซียม (%)	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 8
6	1	1.96	2.77
	2	1.93	2.50
	3	2.04	2.68
	$\bar{X}$	1.98	2.65
	S.D.	0.06	0.14
7	1	1.65	2.29
	2	1.60	2.36
	3	1.53	2.25
	$\bar{X}$	1.60	2.30
	S.D.	0.06	0.06
8	1	1.36	1.60
	2	1.37	1.92
	3	1.50	1.64
	$\bar{X}$	1.41	1.72
	S.D.	0.08	0.17
9	1	1.25	2.39
	2	1.71	2.34
	3	1.61	2.41
	$\bar{X}$	1.52	2.38
	S.D.	0.24	0.04
10	1	1.67	2.26
	2	1.79	2.35
	3	1.82	2.40
	$\bar{X}$	1.76	2.34
	S.D.	0.08	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณโพแทสเซียม (%)	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 8
11	1	1.22	1.74
	2	1.18	1.90
	3	1.15	1.52
	$\bar{X}$	1.18	1.72
	S.D.	0.04	0.19
12	1	1.24	2.22
	2	1.27	1.60
	3	1.67	2.57
	$\bar{X}$	1.39	2.13
	S.D.	0.24	0.49

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13-ค ผลการตรวจวัดปริมาณไขมันและน้ำมันของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	ปริมาณไขมันและน้ำมัน (% W/W)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
1	1	33.74	16.25	7.00	4.90	3.75
	2	31.02	14.78	7.81	4.75	1.29
	3	26.45	13.93	7.96	4.66	2.33
	$\bar{X}$	30.40	14.99	7.59	4.77	2.45
	S.D.	3.68	1.18	0.52	0.12	1.23
2	1	32.65	9.81	3.46	2.55	1.05
	2	25.36	10.99	3.95	2.28	1.72
	3	22.15	11.22	3.35	2.63	1.81
	$\bar{X}$	26.72	10.67	3.59	2.49	1.52
	S.D.	5.38	0.76	0.32	0.19	0.42
3	1	43.40	28.15	26.20	16.58	11.26
	2	37.76	23.19	27.43	15.96	10.80
	3	40.74	27.18	23.65	23.17	11.12
	$\bar{X}$	40.63	26.17	25.76	18.57	11.06
	S.D.	2.82	2.63	1.93	3.99	0.23
4	1	34.90	22.35	23.32	12.35	6.09
	2	43.28	32.33	21.57	12.76	5.69
	3	49.76	26.95	22.02	13.91	8.84
	$\bar{X}$	42.65	27.21	22.30	13.00	6.87
	S.D.	7.45	5.00	0.91	0.81	1.71
5	1	40.81	29.50	23.08	17.11	12.70
	2	37.25	20.05	22.61	18.53	9.49
	3	38.61	24.18	20.50	15.90	10.14
	$\bar{X}$	38.89	24.57	22.06	17.18	10.78
	S.D.	1.80	4.74	1.37	1.31	1.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณไขมันและน้ำมัน (% W/W)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
6	1	35.60	28.24	12.70	11.05	8.27
	2	36.17	21.98	11.50	12.06	6.87
	3	34.82	19.79	12.33	10.54	6.60
	$\bar{X}$	35.53	23.34	12.18	11.22	7.25
	S.D.	0.68	4.39	0.62	0.77	0.89
7	1	66.07	30.72	31.11	19.28	14.36
	2	60.32	36.10	27.76	22.47	15.96
	3	64.48	34.60	27.29	22.48	15.16
	$\bar{X}$	63.62	33.81	28.72	21.41	15.16
	S.D.	2.97	2.78	2.08	1.85	0.80
8	1	55.58	36.64	29.36	24.22	15.89
	2	50.15	15.92	25.95	20.88	16.46
	3	57.37	35.14	26.62	19.33	13.42
	$\bar{X}$	54.37	29.23	27.31	21.48	15.25
	S.D.	3.76	11.55	1.81	2.50	1.61
9	1	43.49	37.57	23.81	22.64	18.41
	2	40.35	39.55	22.39	23.82	18.43
	3	49.42	41.73	21.12	14.97	22.45
	$\bar{X}$	44.42	39.61	22.44	20.48	19.77
	S.D.	4.61	2.08	1.35	4.81	2.33
10	1	52.99	39.63	22.69	19.72	12.22
	2	51.07	39.48	21.37	17.78	11.55
	3	54.72	41.47	25.22	16.77	12.49
	$\bar{X}$	52.92	40.19	23.09	18.09	12.08
	S.D.	1.83	1.10	1.96	1.50	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	ครั้ง	ปริมาณไขมันและน้ำมัน (% W/W)				
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 8
11	1	56.27	33.31	31.26	29.00	21.36
	2	58.32	33.37	33.07	27.06	21.96
	3	50.88	30.96	29.08	30.85	20.74
	$\bar{X}$	55.16	32.55	31.14	28.97	21.35
	S.D.	3.84	1.38	2.00	1.90	0.61
12	1	54.01	30.05	34.02	24.87	23.46
	2	48.18	33.40	33.11	28.94	24.77
	3	50.58	43.86	26.08	28.28	25.78
	$\bar{X}$	50.92	35.77	31.07	27.36	24.67
	S.D.	2.93	7.21	4.35	2.18	1.16

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14-ค ผลการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 1

สูตร	ครั้ง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)							
		Cd		Cr		Cu		Pb	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5
1	1	11.93	6.78	101.73	159.08	73.66	90.02	45.25	220.12
	2	7.56	9.77	123.03	162.77	69.28	96.36	30.66	179.69
	3	13.55	0.00	140.94	170.11	75.12	90.93	61.56	147.84
	$\bar{X}$	11.01	5.52	121.90	163.98	72.69	92.44	45.82	182.55
	S.D.	3.10	5.00	19.63	5.61	3.04	3.43	15.46	36.23
2	1	8.92	5.01	167.48	180.25	74.05	108.27	17.45	224.68
	2	12.24	12.95	162.50	189.69	74.56	110.06	45.88	299.75
	3	8.48	4.03	99.10	178.66	72.11	103.16	21.21	200.56
	$\bar{X}$	9.88	7.33	143.03	182.87	73.57	107.16	28.18	241.66
	S.D.	2.05	4.89	38.12	5.97	1.29	3.58	15.45	51.73

สูตร	ครั้ง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)							
		Cd		Cr		Cu		Pb	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5
3	1	10.71	14.15	66.64	171.34	276.09	280.52	501.01	196.62
	2	61.33	8.13	56.65	172.64	258.16	451.93	521.57	279.77
	3	27.81	1.37	62.27	159.93	276.88	292.07	159.60	114.82
	$\bar{X}$	33.28	7.88	61.85	167.97	270.38	341.51	394.06	197.07
	S.D.	25.75	6.40	5.01	6.99	10.59	95.80	203.31	82.47
4	1	43.09	7.74	66.54	169.82	214.91	269.01	488.18	222.08
	2	21.49	7.81	57.47	142.38	210.02	290.43	176.18	137.05
	3	0.89	2.70	61.38	165.46	198.36	284.15	438.08	123.64
	$\bar{X}$	21.82	6.08	61.80	159.22	207.76	281.20	367.48	160.92
	S.D.	21.10	2.93	4.55	14.75	8.50	11.01	167.55	53.38

สูตร	ครั้ง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)							
		Cd		Cr		Cu		Pb	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5
5	1	9.25	5.49	49.08	179.60	71.61	91.30	44.66	249.95
	2	17.89	7.16	42.94	205.32	68.38	91.32	151.47	294.25
	3	15.50	6.17	59.63	190.07	94.21	86.90	176.50	76.81
	$\bar{X}$	14.22	6.27	50.55	191.66	78.07	89.84	124.21	207.00
	S.D.	4.46	0.84	8.44	12.93	14.07	2.54	70.02	114.90
6	1	18.10	0.60	67.17	210.56	86.88	102.59	116.64	54.28
	2	18.93	1.55	71.00	192.56	75.34	90.59	90.73	112.33
	3	15.01	3.03	76.52	178.62	78.71	102.43	122.65	128.17
	$\bar{X}$	17.35	1.73	71.56	193.92	80.31	98.54	110.00	98.26
	S.D.	2.07	1.22	4.70	16.01	5.93	6.89	16.96	38.90

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สูตร	ครั้ง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)							
		Cd		Cr		Cu		Pb	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5
7	1	24.06	0.43	70.14	172.89	235.50	296.39	176.62	121.79
	2	26.26	1.34	80.92	169.79	236.85	246.44	242.75	24.51
	3	27.92	0.94	71.95	179.18	204.58	268.07	159.47	142.03
	$\bar{X}$	26.08	0.90	74.33	173.95	225.64	270.30	192.95	96.11
	S.D.	1.94	0.46	5.77	4.78	18.26	25.05	43.97	62.83
8	1	30.84	1.80	75.20	160.05	193.15	182.14	239.68	125.78
	2	22.85	0.95	62.58	199.23	185.74	275.78	230.44	103.66
	3	22.84	0.73	88.16	142.91	211.38	203.27	122.68	159.27
	$\bar{X}$	25.51	1.16	75.31	167.39	196.76	220.40	197.60	129.57
	S.D.	4.62	0.57	12.79	28.87	13.19	49.11	65.05	28.00

สูตร	ครั้ง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)							
		Cd		Cr		Cu		Pb	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5
9	1	15.94	3.47	75.92	211.67	180.37	105.84	114.51	112.78
	2	15.67	0.56	71.99	208.88	71.14	98.33	122.38	133.33
	3	13.16	4.06	74.04	225.24	78.98	99.27	95.84	132.94
	$\bar{X}$	14.92	2.70	73.98	215.27	110.16	101.15	110.91	126.35
	S.D.	1.53	1.88	1.97	8.75	60.92	4.09	13.63	11.76
10	1	15.34	2.71	103.51	213.97	76.68	107.26	149.52	80.71
	2	14.18	0.55	99.59	218.69	84.03	115.91	127.61	137.77
	3	10.15	2.07	111.31	201.40	77.72	110.00	290.18	144.08
	$\bar{X}$	13.22	1.77	104.81	211.35	79.48	111.05	189.10	120.86
	S.D.	2.72	1.11	5.96	8.94	3.98	4.42	88.22	34.91

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สูตร	ครั้ง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)							
		Cd		Cr		Cu		Pb	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 5
11	1	20.38	1.32	93.64	179.29	175.15	227.62	25.23	88.32
	2	9.78	1.30	98.27	178.18	200.26	207.16	43.31	99.04
	3	18.38	1.74	97.39	180.52	155.52	207.12	98.38	167.44
	$\bar{X}$	16.18	1.45	96.43	179.33	176.98	213.97	55.64	118.27
	S.D.	5.63	0.25	2.46	1.17	22.43	11.83	38.10	42.92
12	1	14.79	0.89	88.39	187.79	169.93	195.33	127.71	29.30
	2	20.50	1.32	114.07	189.64	157.70	227.56	74.12	65.27
	3	16.69	2.11	92.62	187.71	67.17	209.69	97.63	139.51
	$\bar{X}$	17.33	1.44	98.36	188.38	131.60	210.86	99.82	78.03
	S.D.	2.91	0.62	13.77	1.09	56.13	16.15	26.86	56.20

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 15-ค ผลการตรวจวัดอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 2

ชุดปุ๋ยหมัก	ครั้ง	อุณหภูมิ									
		วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 8	วันที่ 9	วันที่ 11	วันที่ 12
เติมอากาศ	1	30.3	47.0	40.3	31.7	34.0	33.9	33.8	34.1	31.0	30.9
	2	29.0	45.0	37.0	31.2	31.1	33.0	33.0	32.0	30.0	28.5
	3	30.2	46.0	36.8	32.4	32.8	32.7	33.0	33.0	30.0	29.8
	4	29.2	47.0	37.2	31.7	32.0	33.0	33.0	33.5	30.0	29.8
	5	30.0	44.5	36.9	32.0	32.3	33.2	33.0	33.3	30.1	29.0
ไม่เติมอากาศ	1	30.1	38.5	40.4	33.8	33.0	33.3	34.2	34.7	31.9	30.5
	2	28.0	48.0	38.9	32.2	32.0	33.4	33.0	33.5	31.0	29.2
	3	29.9	46.0	37.9	32.1	32.3	33.0	32.0	33.0	31.0	29.0
	4	29.3	45.0	35.2	32.1	32.0	33.0	33.0	33.0	31.0	29.1
	5	28.8	51.0	45.0	33.3	33.2	33.9	33.0	34.8	31.3	30.0
อุณหภูมิห้อง	1	33.0	35.1	32.0	30.0	33.5	33.6	34.0	32.0	32.0	31.6
	2	31.9	34.0	31.0	28.9	32.6	32.8	33.0	31.0	31.0	30.5
	3	32.2	34.8	31.5	29.5	33.1	33.0	33.8	31.6	31.3	31.0
	4	32.7	34.8	31.1	29.3	33.1	33.1	33.8	31.8	31.3	31.0
	5	32.9	35.0	31.9	29.9	33.4	33.4	34.0	32.0	31.7	31.4

ตารางที่ 16-ค ผลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีของปุ๋ยหมักในการทดลองส่วนที่ 2

พารามิเตอร์	ครั้ง	ชุดปุ๋ยหมัก			
		เติมอากาศ		ไม่เติมอากาศ	
		สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2	สัปดาห์เริ่มต้น	สัปดาห์ 2
คาร์บอนทั้งหมด (%)	1	21.07	17.51	25.11	15.28
	2	21.83	17.92	25.01	15.66
	3	20.38	17.33	24.89	14.87
	$\bar{X}$	21.09	17.59	25.01	15.27
	S.D.	0.72	0.30	0.11	0.40
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	1	1.53	1.42	1.92	1.38
	2	1.42	1.42	1.70	1.39
	3	1.45	1.45	1.56	1.43
	$\bar{X}$	1.47	1.43	1.73	1.40
	S.D.	0.06	0.02	0.18	0.03
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	1	13.77	12.33	13.08	11.07
	2	15.37	12.62	14.71	11.27
	3	14.06	11.95	15.96	10.40
	$\bar{X}$	14.40	12.30	14.58	10.91
	S.D.	0.85	0.34	1.44	0.46
ไขมันและน้ำมัน (%)	1	6.14	3.21	8.41	5.86
	2	5.59	4.06	7.36	4.80
	3	5.12	3.04	7.05	5.34
	$\bar{X}$	5.62	3.44	7.61	5.33
	S.D.	0.51	0.55	0.71	0.53

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นข้อมูลทุกชุดที่ได้จากการทดลองนั้นได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลโดยวิธีการตัดข้อมูลแบบ Q-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

1. การประกันคุณภาพการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) โดยวิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl) มีวิธีการทำดังนี้

1.) ชั่งกรดกลูตามิก 1.000 g ลงในหลอดย่อย เติมสารสำเร็จรูปอัดเม็ด (Kjeltabs) 0.2 mg และกรดซัลฟิวริก 15 ml จากนั้นนำไปต่อกับชุดเครื่องย่อยสลาย

2.) ทำการย่อยและกลั่นเหมือนเช่นตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

3.) หลังจากกลั่นเสร็จ นำขวดรูปชมพู่มาหยด mixed indicator 3-5 หยด และนำไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มอล (N) จุดยุดติ สีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน บันทึกปริมาตรกรดไฮโดรคลอริก 0.01 N ที่ใช้

4.) คำนวณหาร้อยละความถูกต้อง (accuracy) ของกรดกลูตามิก เกณฑ์การยอมรับ 90-110%

ผลการประกันคุณภาพ

ตัวอย่าง	Nitrogen (%)		ความถูกต้อง (%)
	การทดลอง	ทฤษฎี	
Glutamic 1	9.45	9.52	102.93
Glutamic 2	10.19		
Glutamic 3	9.75		

วิธีการคำนวณ

$$\% \text{ ความถูกต้อง (Accuracy)} = \frac{\text{ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์}}{\text{ค่าจริง}} \times 100 \qquad \text{(ง.1)}$$

$$= \frac{\left(\frac{9.45 + 10.19 + 9.75}{3}\right)}{9.52} \times 100$$

$$= 102.93\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การประกันคุณภาพการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Nitrogen) โดยวิธี Steam Distillation มีวิธีการทำดังนี้

1.) ชั่งแอมโมเนียมซัลเฟต [$(NH_4)_2SO_4$] มา 0.1000 g ใส่ขวดย่อยและนำไปต่อกับเครื่องกลั่นไนโตรเจน ทำการกลั่นเช่นเดียวกับตัวอย่าง

2.) คำนวณหาร้อยละความถูกต้อง (accuracy) ของแอมโมเนียมซัลเฟต เกณฑ์การยอมรับ 90-110%

ผลการประกันคุณภาพ

ตัวอย่าง	Nitrogen (%)		ความถูกต้อง (%)
	การทดลอง	ทฤษฎี	
$(NH_4)_2SO_4$ 1	20.80	21.21	98.00
$(NH_4)_2SO_4$ 2	20.66		
$(NH_4)_2SO_4$ 3	20.91		

วิธีการคำนวณ

$$\% \text{ ความถูกต้อง (Accuracy)} = \frac{\text{ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์}}{\text{ค่าจริง}} \times 100$$

$$= \frac{\left(\frac{20.80 + 20.66 + 20.91}{3}\right)}{21.21} \times 100$$

$$= 98.00\%$$

3. การประกันคุณภาพการวิเคราะห์หาค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total carbon) โดยวิธี Walkley and Black method มีวิธีการทำดังนี้

1.) ชั่งกลูโคส $C_6H_{12}O_6$ มา 0.2500 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL

2.) เติม 1 N $K_2Cr_2O_7$ ปริมาตร 20 mL และ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 15 mL

3.) เทลงใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

4.) ปิเปตมา 25 mL ลงขวดปรับปริมาตร 100 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

5.) เทสารละลายลงขวดรูปชมพู่ จากนั้นหยด BDS อินดิเคเตอร์ ประมาณ 3-5 หยด ไทเทรตกับเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.5 N จุดยุติจะได้สารละลายสีเขียวใส

6.) คำนวณหาร้อยละความถูกต้อง (accuracy) ของกลูโคส เกณฑ์การยอมรับ 90-110%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการประกันคุณภาพ

ตัวอย่าง	Nitrogen (%)		ความถูกต้อง (%)
	การทดลอง	ทฤษฎี	
Glucose 1	42.31	40.00	105.49
Glucose 2	42.00		
Glucose 3	42.27		

วิธีการคำนวณ

$$\% \text{ ความถูกต้อง (Accuracy)} = \frac{\text{ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์}}{\text{ค่าจริง}} \times 100$$

$$= \frac{\left(\frac{42.31 + 42.00 + 42.27}{3}\right)}{40.00} \times 100$$

$$= 105.49\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การเตรียมสารมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

1.) การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 10 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียม 1,000 ppm จำนวน 10 ml

↓

ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
จะได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 100 ppm

↓

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียม 100 ppm จำนวน 10 ml
ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
จะได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 10 ppm

หมายเหตุ : โลหะหนักชนิดอื่นใช้วิธีการเตรียมดังนี้เช่นเดียวกัน

2.) การเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักสำหรับทำกราฟมาตรฐาน

1. สารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 0, 0.15, 0.30, 0.45, 0.60, 0.75, 0.90, 1.05, 1.20, 1.35 และ 1.50 ppm

2. สารละลายมาตรฐานโครเมียมความเข้มข้น 0, 0.55, 1.1, 1.65, 2.20, 2.75, 3.30, 3.85, 4.40, 4.95 และ 5.50 ppm

3. สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 2.0 ppm

4. สารละลายมาตรฐานเลดความเข้มข้น 0, 0.8, 1.60, 2.40, 3.20, 4.0, 4.8, 5.6, 6.4, 7.2 และ 8.0 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียม

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียม 10 ppm มา
0, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 10.5, 12.0, 13.5 และ 15.0 ml
ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 mL

↓

ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียม
ความเข้มข้น 0, 0.15, 0.30, 0.45, 0.60, 0.75, 0.90, 1.05, 1.20, 1.35 และ 1.50 ppm

↓

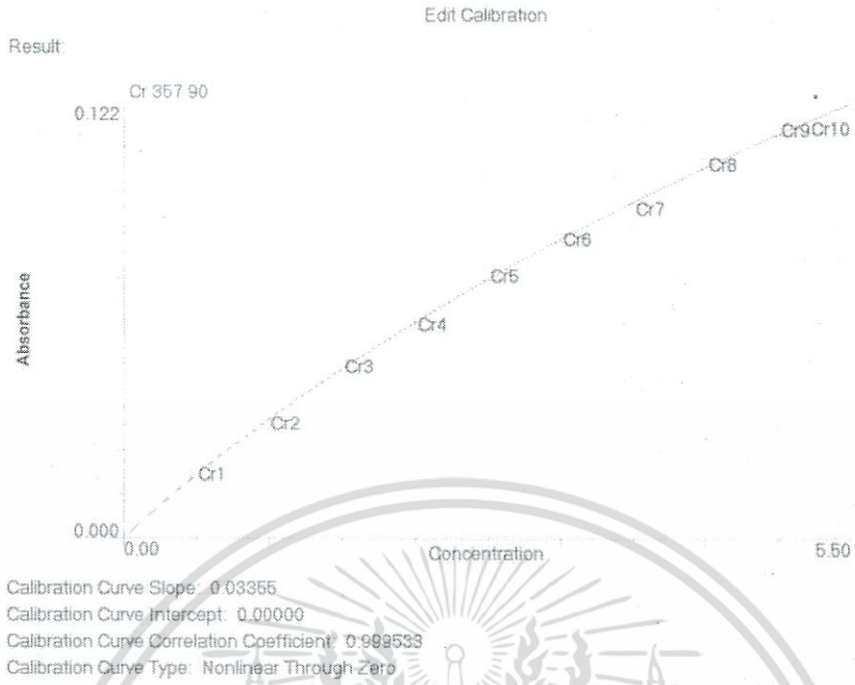
ตรวจวัดโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

หมายเหตุ : โลหะหนักชนิดอื่นใช้วิธีการเตรียมดังนี้เช่นเดียวกันตามความเข้มข้นต่าง ๆ

รูปที่ ง-1 กราฟมาตรฐานแคดเมียม

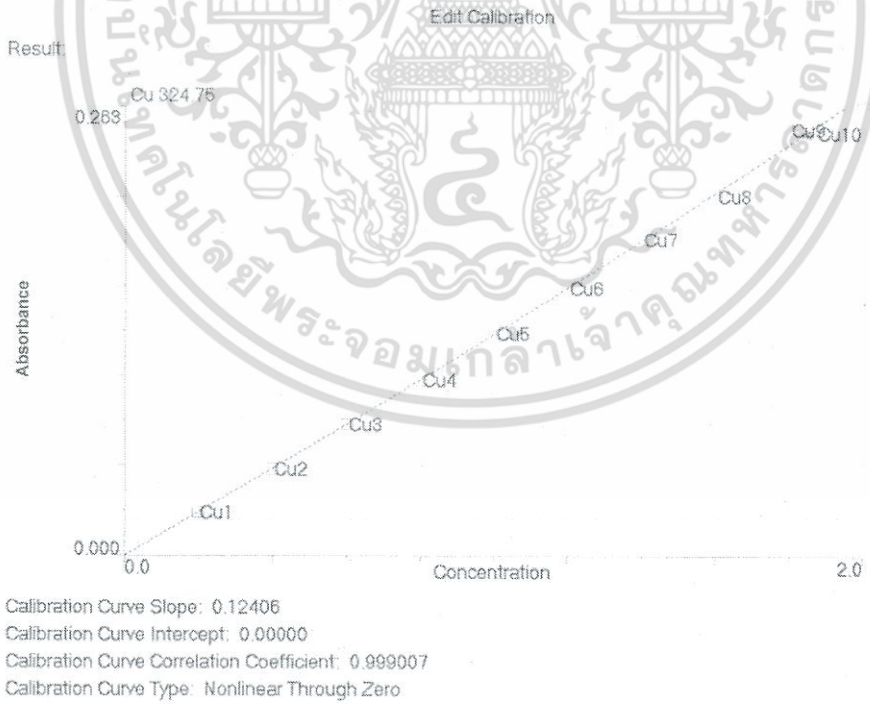
สมการเส้นตรง $y = 0.15618x$ มีค่า $R^2 = 0.9997$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-2 กราฟมาตรฐานโครเมียม

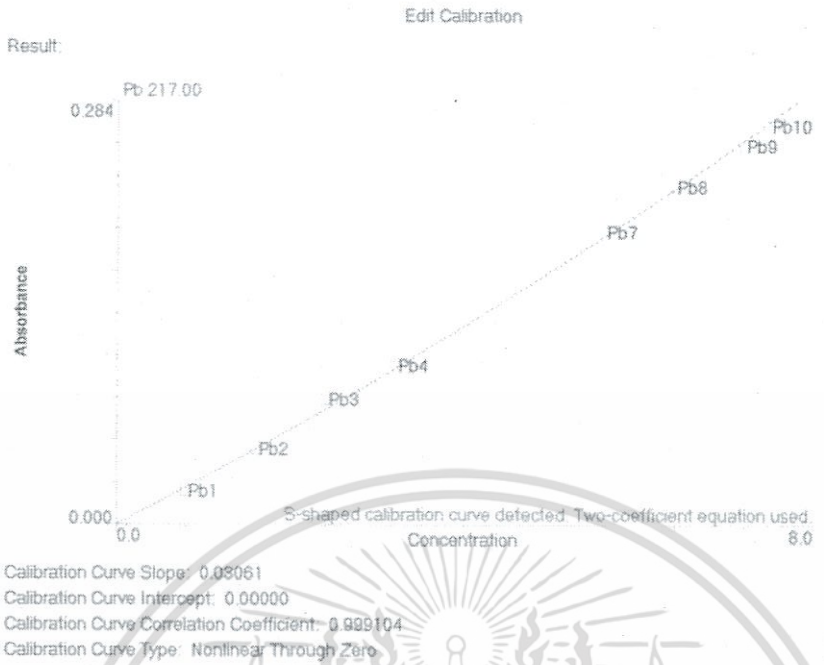
สมการเส้นตรง $y = 0.03355x$ มีค่า $R^2 = 0.9995$



รูปที่ ง-3 กราฟมาตรฐานคอปเปอร์

สมการเส้นตรง $y = 0.12406x$ มีค่า $R^2 = 0.9990$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-4 กราฟมาตรฐานเลด

สมการเส้นตรง $y = 0.03061x$ มีค่า $R^2 = 0.9991$

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม

1.) การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมความเข้มข้น 10 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1,000 ppm จำนวน 10 ml

↓

ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 100 ppm

↓

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm จำนวน 10 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 10 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6 และ 1.8 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 10 ppm มา 0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0, 16.0 และ 18.0 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml

↓

ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมตามความเข้มข้นที่กำหนดไว้

↓

ตรวจวัดโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

รูปที่ ง-5 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

สมการเส้นตรง $y = 27566.1677x$ มีค่า $R^2 = 0.9995$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) โดยวิธี Vanadomolybdate method

1.) การเตรียมสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)

ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 0.2195 g
อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

↓

ละลายและปรับปริมาตรเป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น

2.) การเตรียมสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน เข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 mg/L

โดยปิเปตสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน 50 mg/L
0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50

↓

เติมน้ำยาน้ำยาแวนาเดท-โมลิบเดท 10 ml
ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

↓

ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่
ความยาวคลื่น 420 nm

4. เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available phosphorus)

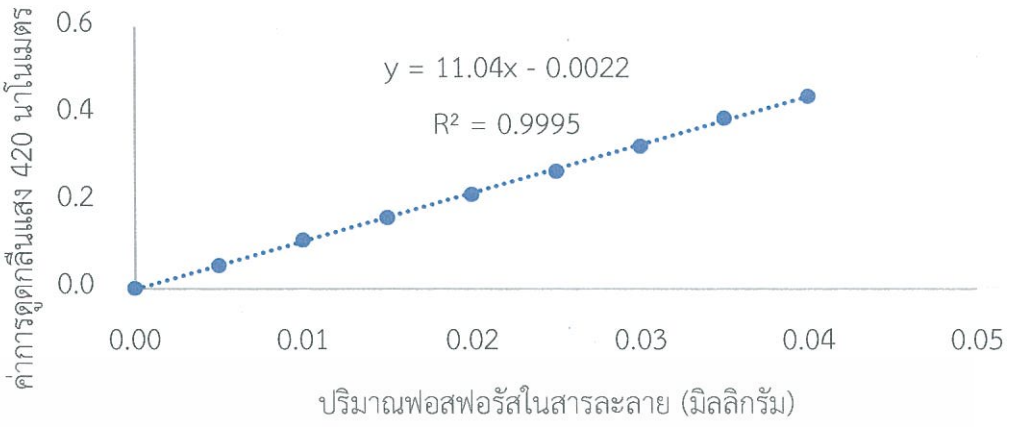
1.) การเตรียมสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน เข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 mg/L

โดยปิเปตสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน 50 mg/l
0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50

↓

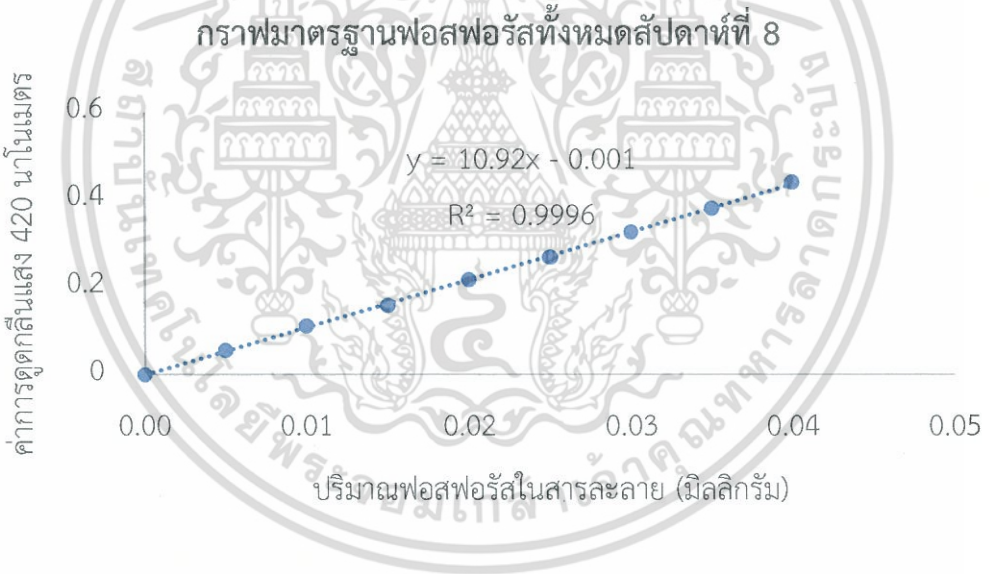
ปรับปริมาตรด้วยน้ำยาสกัด ทิ้งให้เกิดสี
30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่
ความยาวคลื่น 882 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-6 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสทั้งหมดสัปดาห์เริ่มต้น

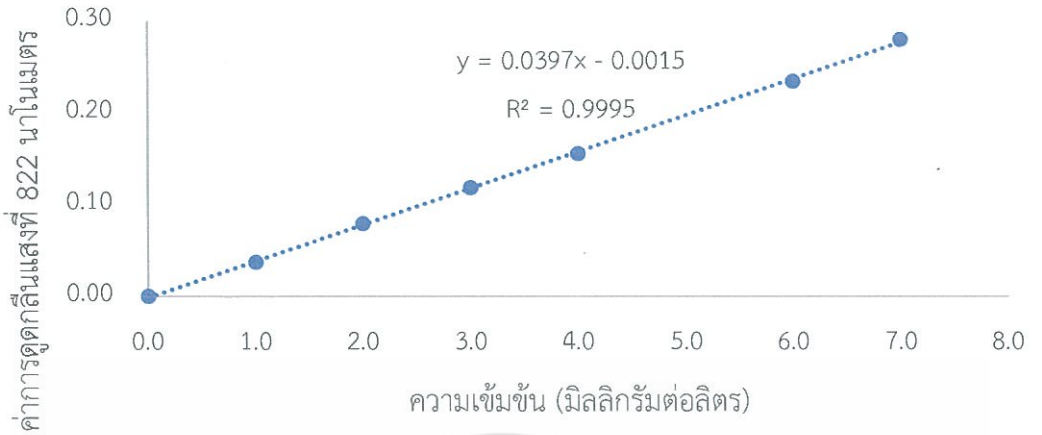
ได้สมการเส้นตรง $y = 11.04x - 0.0022$ และมีค่า $R^2 = 0.9995$



รูปที่ ง-7 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสทั้งหมดสัปดาห์ที่ 8

ได้สมการเส้นตรง $y = 10.92x - 0.001$ และมีค่า $R^2 = 0.9996$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-8 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สัปดาห์ที่เริ่มต้น

ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0397x - 0.0015$ และมีค่า $R^2 = 0.9995$

รูปที่ ง-9 กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สัปดาห์ที่ 8

ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0403x + 0.0011$ และมีค่า $R^2 = 0.9996$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดสอบทางสถิติ

1. ความสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 โดยใช้โปรแกรม ทางสถิติ SPSS

ตารางที่ ฉ-1 ตาราง ANOVA ของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1895.808	11	172.346	1.131	.381
Within Groups	3655.748	24	152.323		
Total	5551.557	35			

2. ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 โดยใช้โปรแกรม ทางสถิติ SPSS

ตารางที่ ฉ-2 ตาราง ANOVA ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8806.835	11	800.621	3.886	.003
Within Groups	4944.053	24	206.002		
Total	13750.888	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-3 ตาราง Post Hoc Tests ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8

Student-Newman-Keuls[a]				
composting	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
3	3	3.5167		
6	3	21.6233	21.6233	
4	3	26.3333	26.3333	26.3333
5	3	26.6100	26.6100	26.6100
12	3	33.4800	33.4800	33.4800
7	3	35.8300	35.8300	35.8300
8	3	40.6933	40.6933	40.6933
1	3		42.9900	42.9900
11	3		44.6467	44.6467
10	3		50.6867	50.6867
9	3		53.6667	53.6667
2	3			64.7400
Sig.		.054	.215	.076

3. ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS

ตารางที่ ฉ-4 ตาราง ANOVA ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.007	11	.001	2.562	.026
Within Groups	.006	24	.000		
Total	.013	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-5 ตาราง Post Hoc Tests ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์สัปดาห์ที่ 8

composting	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
5	3	.031267			
6	3	.038100	.038100		
9	3	.044267	.044267	.044267	
10	3	.048200	.048200	.048200	.048200
1	3	.048700	.048700	.048700	.048700
2	3	.051833	.051833	.051833	.051833
4	3	.060500	.060500	.060500	.060500
3	3		.063367	.063367	.063367
8	3		.065633	.065633	.065633
7	3			.070733	.070733
11	3			.073633	.073633
12	3				.075800
Sig.		.055	.072	.058	.073

4. ความสัมพันธ์ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 โดยใช้โปรแกรม ทางสถิติ SPSS

ตารางที่ ฉ-6 ตาราง ANOVA ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.231	11	.839	18.282	.000
Within Groups	1.102	24	.046		
Total	10.333	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-7 ตาราง Post Hoc Tests ของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8

Student-Newman-Keuls[a]				
composting	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
8	3	1.7200		
11	3	1.7200		
12	3	2.1300	2.1300	
4	3	2.1633	2.1633	
7	3		2.3000	
10	3		2.3367	
9	3		2.3800	
3	3		2.4000	
5	3		2.5933	
6	3		2.6500	
1	3			3.2100
2	3			3.5233
Sig.		.080	.101	.086

5. ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS

ตารางที่ ฉ-8 ตาราง ANOVA ของปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	51901.525	11	4718.320	5085614.896	.000
Within Groups	.022	24	.001		
Total	51901.548	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ-9 ตาราง Post Hoc Tests ของปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8

Student-Newman-Keuls[a]												
composting	N	Subset for alpha = 0.05										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	3	15.6700											
12	3		16.3600										
8	3			28.9800									
9	3				39.9500								
2	3					61.2500							
5	3						66.7300						
10	3							67.8600					
3	3								71.7800				
4	3									80.8600			
1	3										110.4333		
6	3											123.2500	
7	3												135.1300
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6. ความสัมพันธ์ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS

ตารางที่ ฉ-10 ตาราง ANOVA ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.006	11	.001	24.762	.000
Within Groups	.001	24	.000		
Total	.007	35			

ตารางที่ ฉ-11 ตาราง Post Hoc Tests ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8

Duncan[a]							
composting	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
5	3	.040667					
9	3	.044333	.044333				
10	3	.044667	.044667				
6	3	.047333	.047333	.047333			
2	3		.052000	.052000			
1	3			.055000			
12	3				.066333		
11	3				.067667	.067667	
8	3				.068667	.068667	.068667
3	3				.074333	.074333	.074333
7	3					.076000	.076000
4	3						.077000
Sig.		.126	.080	.071	.068	.058	.058

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ความสัมพันธ์ของปริมาณไขมันและน้ำมันในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 โดยใช้โปรแกรม ทางสถิติ SPSS ในการทดลองชุดที่ 1

ตารางที่ ฉ-12 ตาราง ANOVA ของปริมาณไขมันและน้ำมันในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 ในการทดลองชุดที่ 1

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5670.045	11	515.459	63.556	.000
Within Groups	194.647	24	8.110		
Total	5864.693	35			

ตารางที่ ฉ-13 ตาราง Post Hoc Tests ของไขมันและน้ำมันในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 ในการทดลองชุดที่ 1

Student-Newman-Keuls[a]							
composting	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
12	3	51.3933					
9	3	55.5167					
11	3		61.2167				
8	3			71.7400			
5	3			72.3800			
3	3			72.7167			
7	3			76.0933	76.0933		
10	3			77.1700	77.1700		
6	3				79.6033	79.6033	
4	3					83.8833	
1	3						91.9767
2	3						93.9467
Sig.		.089	1.000	.168	.304	.078	.405

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

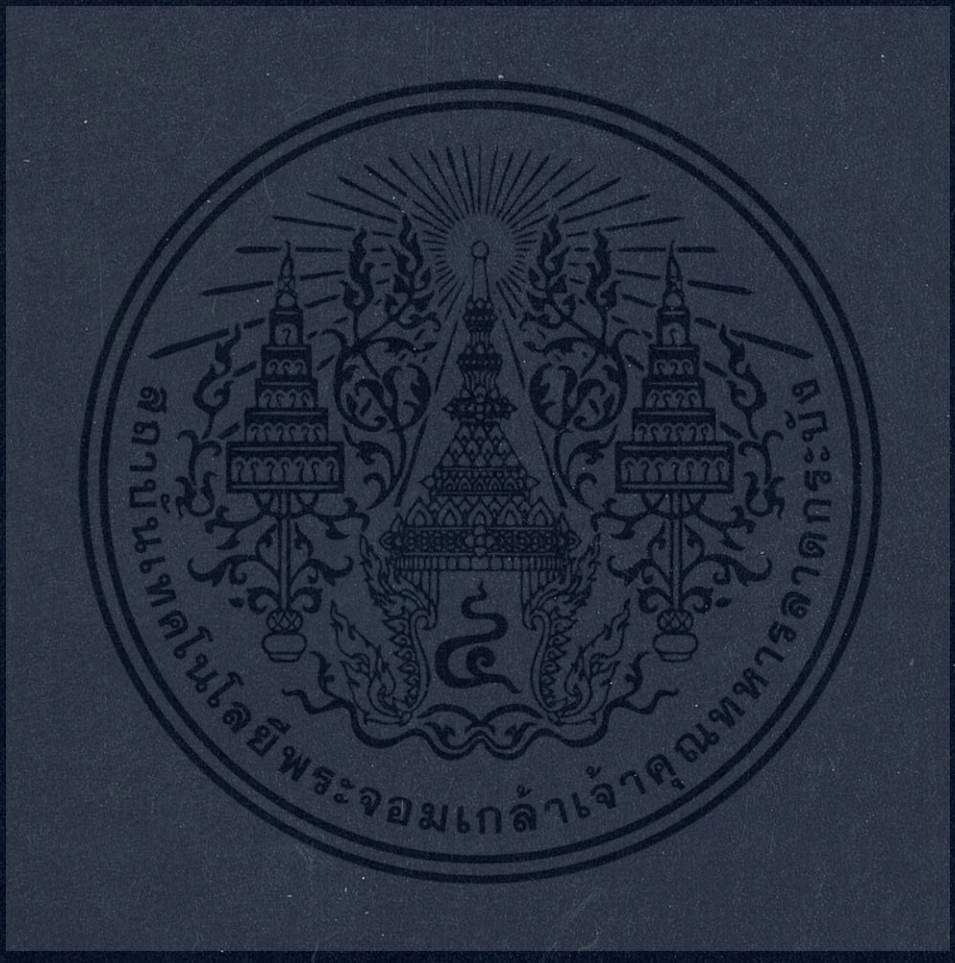
8. ความสัมพันธ์ของปริมาณไขมันและน้ำมันในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 โดยใช้โปรแกรม ทางสถิติ SPSS ในการทดลองชุดที่ 2

ตารางที่ ฉ-14 ตาราง ANOVA ของปริมาณไขมันและน้ำมันในปุ๋ยหมักสัปดาห์ที่ 8 ในการทดลองชุดที่ 2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.815	1	1.815	1.724	.259
Within Groups	4.211	4	1.053		
Total	6.026	5			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง