

การเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารในครัวเรือน
โดยใช้ถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศและการเติมเชื้อจุลินทรีย์

INCREASING EFFICIENCY OF COMPOSTING FROM
HOUSEHOLD FOOD WASTE USING AERATED COMPOST
TANK COUPLED WITH MICROBIAL INOCULUM



ณัฐนิชา ฤทธิญาณ
พิมลกานต์ จำนงพิศ
วรินทร์ เครือแก้ว

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INCREASING EFFICIENCY OF COMPOSTING FROM
HOUSEHOLD FOOD WASTE USING AERATED COMPOST
TANK COUPLED WITH MICROBIAL INOCULUM



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **ACADEMIC YEAR 2018** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารในครัวเรือนโดยใช้ ถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศและการเติมเชื้อจุลินทรีย์		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐนิชา	ฤทธิญาณ	รหัสนักศึกษา 58050611
	นางสาวพิมลกานต์	จำนงพิศ	รหัสนักศึกษา 58050664
	นางสาววรินทร์	เครือภู	รหัสนักศึกษา 58050678
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารในครัวเรือนโดยใช้ถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศและการเติมเชื้อจุลินทรีย์ ถังหมักประกอบด้วยมอเตอร์ เฟลา และใบกวน วัสดุที่ใช้ในการหมักคือ ปุ๋ยขี้วัว เศษอาหาร และกากมะพร้าว โดยใช้สารเร่งซูเปอร์ พด.1 เป็นจุลินทรีย์ที่ใช้เร่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ สัดส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 โดยเตรียมถังหมักปุ๋ยประกอบด้วย ปุ๋ยขี้วัว เศษอาหาร และกากมะพร้าวสับ ในสัดส่วน 7 : 4 : 1 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียก เติมสารเร่งซูเปอร์ พด.1 ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ตอน คือ 1) ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก 2) ศึกษาการหมักปุ๋ยโดยใช้ถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศและการเติม พด.1 3) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมเศษอาหารและการกวนให้อากาศต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่างการหมักปุ๋ย และ 4) ศึกษาดัชนีการออกของเมล็ดโดยใช้เมล็ดผักบุ้งจีน ผลการทดลองพบว่า เศษอาหารและมูลวัวมีคุณสมบัติที่ใช้ในการหมักปุ๋ยได้ การหมักโดยการเติมอากาศและการเติมสารเร่งซูเปอร์ พด.1 สามารถหมักปุ๋ยจากเศษอาหารได้ภายใน 7 วัน ระยะเวลาการปั่นกวนโดยใช้ความเร็วรอบ 7 รอบต่อนาที ที่เหมาะสมคือ ปั่นกวน 15 นาทีต่อชั่วโมง อัตราการเติมเศษอาหารที่เหมาะสมคือ เติมเศษอาหารวันละ 1 กิโลกรัม โดยทำการตากปุ๋ยหมักออกก่อน 1 กิโลกรัม และมีการเติมสารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่า เศษอาหารสามารถเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักได้ภายใน 1 วัน ปุ๋ยที่หมักได้มีคุณสมบัติของปุ๋ยตามเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด คือ มีค่าความเป็นกรด - ด่าง 6.02

± 0.03 ค่าการนำไฟฟ้า 2.56 ± 0.35 dS/m ปริมาณความชื้น $24.55 \pm 0.25\%$ ปริมาณคาร์บอน $43.60 \pm 1.69\%$ ปริมาณไนโตรเจน $8.70 \pm 0.79\%$ ปริมาณฟอสฟอรัส $8.87 \pm 1.46\%$ ปริมาณโพแทสเซียม $17.09 \pm 0.59\%$ ปริมาณสารหนู 0.0429 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโครเมียม 0.1310 ± 0.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณทองแดง 0.2245 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณตะกั่ว 0.0055 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่พบปริมาณแคดเมียม ผลการศึกษาดัชนีการงอกของเมล็ดผักบ่งชี้พบว่า ผักบ่งชี้ที่ปลูกในปุ๋ยที่ได้จากการทดลองและดินสัดส่วน 1:1 มีดัชนีการงอก ความยาวลำต้นและความยาวใบเฉลี่ยสูงกว่าปลูกโดยใช้ดินเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ : ปุ๋ยหมัก, เศษอาหาร, ถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศ, การเติมเชื้อจุลินทรีย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title: Increasing Efficiency of Composting from Household Food Waste using Aerated Compost Tank coupled with Microbial Inoculum

Students: Miss Nutnicha Rittiyan Student ID 58050611
Miss Pimonkan Jamnongpit Student ID 58050664
Miss Warinton Keurphu Student ID 58050678

Degree: Bachelor of Science (Environmental Chemistry)

Department: Chemistry

Faculty: Science

University: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

Academic Year: 2018

Advisor: Asst. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

Abstract

This special project studied increasing efficiency of composting from household food waste using aerated compost tank coupled with microbial inoculum. Aerated compost tank was composed of motor, shaft and stirrer. Cow manure, household food waste and coconut coir were used as composting materials. Super LDD1 was used as microbial inoculum. The ratio of carbon : nitrogen of initial composting materials was 25:1. The compost tank contained cow manure, food waste, and coconut coir 7:4:1 kg. Super LDD1 5 % w/v was added into composting materials. The experiment was divided into 4 steps: 1) study the characteristics of composting materials 2) study the efficiency of composting in aerated compost tank coupled with microbial inoculum 3) study the optimum conditions of feed rate and mixing rate during composting 4) study the index of germination of Chinese convolvulus seeds. The results showed that household food waste and cow manure could be used as composting materials. Composting in the aerated tank coupled with the addition of Super LDD1 could reduce composting time. Food waste was decomposed completely within 7 days. The optimum mixing time at 7 rpm was 15 minutes per hour and the optimum feed rate of food waste was 1 kg/day. Super LDD1 5% w/v was added when adding food waste. Under these optimum conditions, food waste was decomposed

within 1 days. Characteristics of the compost following Department of Agriculture of Thailand were pH 6.02 ± 0.03 , conductivity 2.56 ± 0.35 ds/m, moisture content $24.55 \pm 0.25\%$, carbon content $43.60 \pm 1.69\%$, nitrogen content $8.70 \pm 0.79\%$, phosphorus content $8.87 \pm 1.46\%$, potassium content $17.09 \pm 0.59\%$. The compost contained arsenic 0.0429 ± 0.03 mg/kg, chromium 0.1310 ± 0.14 mg/kg, copper 0.2245 ± 0.19 mg/kg, lead 0.0055 ± 0.01 mg/kg. However, cadmium could not be detected. The study of germination of Chinese convolvulus seeds indicated that the germination rate of seeds growing in 1:1 compost and soil was faster than that of growing in soil.

Keywords: composting, food waste, aerated compost tank, microbial inoculum



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ ที่ให้ข้อเสนอแนะ และข้อแก้ไขในการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท เฮลท์ แอนด์ เอ็นไวเทค จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือตรวจวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือตรวจวิเคราะห์

ขอขอบคุณกรมพัฒนาที่ดิน ที่ให้สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 มาทำโครงการพิเศษ และขอขอบคุณ โรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการนำเศษอาหารมาทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ บิดา มารดา เพื่อนๆ นักศึกษา รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจ และเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

ณัฐนิชา	ฤทธิญาณ
พิมลกันต์	จำนงพิศ
วรินทร์	เครือภู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข

กิตติกรรมประกาศ..... ค

สารบัญ..... ง

สารบัญตาราง..... จ

สารบัญรูป ฉ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 1

 1.3 ขอบเขตของวิจัย..... 2

 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

 2.1 ปุ๋ยหมัก..... 4

 2.1.1 ความหมายของปุ๋ยหมัก 4

 2.1.2 ประเภทการหมักปุ๋ย 5

 2.2 ประเภทขยะ 7

 2.2.1 ความหมายของขยะ 7

 2.2.2 การจำแนกประเภทของขยะ 8

 2.3 องค์ประกอบของขยะ..... 9

 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการนำขยะมาทำปุ๋ย..... 10

 2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ 10

 2.4.2 คุณสมบัติทางเคมี 11

 2.5 ถังหมักขยะอินทรีย์ 11

 2.5.1 ต้นแบบถังหมักขยะอินทรีย์ขนาดเล็ก 11

 2.5.2 ต้นแบบถังหมักขยะอินทรีย์ขนาดใหญ่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 สารเร่งจุลินทรีย์ซูปเปอร์ พด. 1	14
2.6.2 สารเร่งจุลินทรีย์ทางการค้า	15
2.7 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักปุ๋ย	15
2.7.1 เชื้อรา	16
2.7.2 แบคทีเรีย	16
2.7.3 แอคติโนไมซีต	17
2.8 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์	17
2.8.1 ความชื้นหรือปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก	17
2.8.2 อากาศหรือออกซิเจน	17
2.8.3 ความร้อน - เย็นหรืออุณหภูมิ	18
2.8.4 ความเป็นกรด - ด่าง	18
2.8.5 เวลา	18
2.9 การวิเคราะห์คุณลักษณะของปุ๋ยหมัก	18
2.9.1 การตรวจสอบคุณภาพ	18
2.9.2 การทดสอบคุณสมบัติของปุ๋ย	19
2.9.3 การพิจารณาปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้ว	20
2.10 การใช้ประโยชน์จากปุ๋ยหมัก	20
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	24
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	24
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์	24
3.1.2 สารเคมี	25
3.1.3 วัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ย	25
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	26
3.2.1 การทำถังหมักปุ๋ย	26
3.2.2 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก	27
3.2.3 การหมักปุ๋ยหมักโดยใช้ถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศ	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อย.....	30
สลายสารอินทรีย์ในระหว่างการหมักปุ๋ย	
3.2.5 ศึกษาดัชนีการงอกของเมล็ด	31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	32
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก	32
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของถังหมักปุ๋ย	32
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพ	34
4.2.2 อัตราการยุบตัว	34
4.2.3 อุณหภูมิ	35
4.2.4 ค่าความเป็นกรด - ด่าง	36
4.2.5 ค่าการนำไฟฟ้า	36
4.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย	38
4.3.1 ผลของการเติมสารเร่งจุลินทรีย์ พด. 1	38
4.3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการเติมอากาศ	41
4.3.3 ผลการศึกษ้อัตราการเติมเศษอาหาร	41
4.4 ผลการศึกษาดัชนีการงอกของเมล็ดผักกาด	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการวิจัย	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก ก	49
ภาคผนวก ข	63
ภาคผนวก ค	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของเชื้อราที่แยกได้จากกองปุ๋ยหมัก	16
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานปุ๋ยหมัก	19
ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุปุ๋ยหมัก	28
ตารางที่ 3.2 วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยหมักหลังจากหมักปุ๋ยเสร็จสมบูรณ์	29
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก	32
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของปุ๋ยหมักเริ่มต้น	33
ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อย่อยสลายสมบูรณ์	37
ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ทำการเติมสารเร่งและไม่เติมสารเร่งซูเปอร์ พด.1	40
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหาร 1 กิโลกรัมและ 2 กิโลกรัม	43
ตารางที่ ก 1-1 ความชื้นของวัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก	50
ตารางที่ ก 1-2 ปริมาณคาร์บอนของวัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก	50
ตารางที่ ก 1-3 ปริมาณไนโตรเจนของวัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก	51
ตารางที่ ก 2-1 ความชื้นเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก	51
ตารางที่ ก 2-2 ปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก	52
ตารางที่ ก 2-3 ปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก	52
ตารางที่ ก 3-1 อัตราการยุบตัวของปุ๋ยหมักในถังควบคุม	53
ตารางที่ ก 3-2 อัตราการยุบตัวของปุ๋ยหมักในถังที่มีไบโกลวนยาวด้านละ 15 เซนติเมตร	54
ตารางที่ ก 3-3 อัตราการยุบตัวของปุ๋ยหมักในถังที่มีไบโกลวนยาวด้านละ 18 เซนติเมตร	54
ตารางที่ ก 4-1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในถังควบคุม	55
ตารางที่ ก 4-2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในถังที่มีไบโกลวนยาวด้านละ 15 เซนติเมตร	56
ตารางที่ ก 4-3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในถังที่มีไบโกลวนยาวด้านละ 18 เซนติเมตร	56
ตารางที่ ก 5-1 ค่าความเป็นกรด – ด่างของปุ๋ยหมักในถังควบคุม	57
ตารางที่ ก 5-2 ค่าความเป็นกรด – ด่างของปุ๋ยหมักในถังที่มีไบโกลวนยาวด้านละ 15 เซนติเมตร	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก 5-3 ค่าความเป็นกรด - ด่างของปุ๋ยหมักในถังที่มีใบกวนยาวด้านละ 18 เซนติเมตร	58
ตารางที่ ก 6-1 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักในถังควบคุม	58
ตารางที่ ก 6-2 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักในถังที่มีใบกวนยาวด้านละ 15 เซนติเมตร.....	59
ตารางที่ ก 6-3 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักในถังที่มีใบกวนยาวด้านละ 18 เซนติเมตร.....	60
ตารางที่ ก 7-1 ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมัก.....	60
ตารางที่ ก 7-2 ปริมาณคาร์บอนในปุ๋ยหมัก	60
ตารางที่ ก 7-3 ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมัก	61
ตารางที่ ก 7-4 ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมัก	61
ตารางที่ ก 7-5 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมัก	61
ตารางที่ ก 7-6 ปริมาณโลหะหนักชนิดอื่นๆ ในปุ๋ยหมัก	62
ตารางที่ ข-1 ผลการคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก.....	64
ตารางที่ ค 1-1 อัตราการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก	67
ตารางที่ ค 1-2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก	67
ตารางที่ ค 1-3 ค่าความเป็นกรด - ด่างของปุ๋ยหมัก	68
ตารางที่ ค 1-4 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมัก.....	68
ตารางที่ ค 1-5 ค่าความชื้นของปุ๋ยหมัก.....	69
ตารางที่ ค 1-6 ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมัก.....	70
ตารางที่ ค 1-7 ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก	71
ตารางที่ ค 1-8 ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมัก.....	71
ตารางที่ ค 1-9 ปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมัก.....	71
ตารางที่ ค 1-10 ปริมาณโลหะหนักชนิดอื่นๆ ในปุ๋ยหมัก.....	72
ตารางที่ ค 2-1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 1 กิโลกรัม	72
ตารางที่ ค 2-2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม	73
ตารางที่ ค 2-3 อัตราการย่อยสลายของเศษอาหารหลังจากเติมเศษอาหารวันละ 1 กิโลกรัม	74
ตารางที่ ค 2-4 อัตราการย่อยสลายของเศษอาหารหลังจากเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค 2-5 ค่าความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม	75
ตารางที่ ค 2-6 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม	76
ตารางที่ ค 2-7 อัตราการยุบตัวของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม	76
ตารางที่ ค 3-1 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบงจีนที่ใส่ปุ๋ยหมัก	76
ตารางที่ ค 3-2 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบงจีนที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก	77
ตารางที่ ค 3-3 ความยาวลำต้นของเมล็ดผักบงจีนที่ใส่ปุ๋ยหมัก	78
ตารางที่ ค 3-4 ความยาวลำต้นของเมล็ดผักบงจีนที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก	78
ตารางที่ ค 3-5 ความยาวใบของเมล็ดผักบงจีนที่ใส่ปุ๋ยหมัก	79
ตารางที่ ค 3-6 ความยาวใบของเมล็ดผักบงจีนที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก	80

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สายใยอาหารในกองปุ๋ยหมัก.....	5
รูปที่ 2.2 การแทนที่ของอากาศเย็นภายในกองปุ๋ยหมัก	6
รูปที่ 2.3 การหมักในภาชนะ	7
รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของขยะชุมชนจากเทศบาลทั่วไป	10
รูปที่ 2.5 ดันแบบถังหมักแบบมีช่องระบายอากาศขนาด 185 ลิตร.....	11
รูปที่ 2.6 ดันแบบถังหมักแบบหมุนขนาด 200 ลิตร	12
รูปที่ 2.7 ดันแบบถังหมักแบบใช้ท่อระบายอากาศขนาด 200 ลิตร.....	13
รูปที่ 2.8 ดันแบบถังหมักขยะอินทรีย์ขนาดใหญ่ ขนาด 2,000 ลิตร	13
รูปที่ 3.1 วัสดุเริ่มต้นการทำปุ๋ย.....	26
รูปที่ 3.2 การเตรียมถังหมักปุ๋ย.....	26
รูปที่ 4.1 ถังหมักแบบเติมอากาศ.....	33
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการย่อยตัวในระหว่างการหมักปุ๋ย	35
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการหมักปุ๋ย	35
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด - ด่างในระหว่างการหมักปุ๋ย.....	36
รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในระหว่างการหมักปุ๋ย.....	37
รูปที่ 4.6 สภาวะในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังหมักแบบมีใบกวนที่มีการเติม.....	39
และไม่มี การเติมสารเร่งซูเปอร์ พด.1	
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก	41
รูปที่ 4.8 อัตราการย่อยของเศษอาหารเมื่อเติม 1 กิโลกรัมและ 2 กิโลกรัม	42
รูปที่ 4.9 การเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งจีน.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยต้องประสบปัญหาด้านขยะมาอย่างต่อเนื่องและยาวนาน สาเหตุเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของเศรษฐกิจ มีการอุปโภคบริโภคอย่างฟุ่มเฟือย ทักษะคิดในการทิ้งขยะของประชาชนไม่ถูกต้อง ประกอบกับการบริหารจัดการขยะของภาครัฐยังขาดประสิทธิภาพก่อให้เกิดปัญหาขยะล้นเมือง จากรายงานสถานการณ์ประเทศไทยพบว่าปริมาณขยะมูลฝอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณขยะมูลฝอยกว่า 26.77 ล้านตัน ซึ่งประกอบด้วยขยะอาหารมากถึง 64% (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) จากการที่ 1 ใน 3 ของอาหารทั่วโลกหรือประมาณ 1.3 ล้านตันต่อปีกลายเป็นขยะ ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อน หากขยะอินทรีย์เหล่านี้ไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกวิธี จะก่อให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นของขยะ ทำให้เกิดน้ำชะขยะไหลลงสู่แหล่งน้ำและพื้นดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของเชื้อโรค จากการที่เศษอาหารเป็นขยะอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศเป็นก๊าซชีวภาพหรือการหมักแบบใช้อากาศเป็นปุ๋ยหมัก โดยทั่วไปแล้วการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารโดยวิธีธรรมชาติจะใช้ระยะเวลาโดยประมาณ 20 - 30 วัน และจะต้องพลิกกลับกองเพื่อเติมอากาศ การลดระยะเวลาในการหมักปุ๋ยโดยการเพิ่มประสิทธิภาพของถังหมักปุ๋ยจึงมีผู้สนใจศึกษามากขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการหมักปุ๋ยได้แก่ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ อัตราการเติมอากาศ และการควบคุมอุณหภูมิปัจจุบัน ถังหมักปุ๋ยจากขยะได้มีการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ โดยสามารถเปลี่ยนเศษอาหารเป็นปุ๋ยได้ภายในเวลาเพียง 24 ชั่วโมงแต่มีราคาแพง งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารในครัวเรือนโดยวิธีการเติมอากาศจากการปั่นกววนและใช้จุลินทรีย์เป็นตัวเร่งการย่อยสลาย เพื่อลดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสร้างถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศ
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมอากาศและจุลินทรีย์ในการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารในครัวเรือนโดยใช้ถังหมักแบบเติมอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. เตรียมถังหมักปุ๋ยที่มีความสูง 45 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร และมีความจุ 25 ลิตร

2. เตรียมวัสดุในการหมักประกอบด้วย เศษอาหารจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ ปุ๋ยขี้วัวจาก จังหวัดสระบุรี

3. ผสมวัสดุหมักโดยให้ค่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 25 : 1

4. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

- ค่าความเป็นกรด - ด่าง
- ค่าการนำไฟฟ้า
- คาร์บอน
- ไนโตรเจน

5. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหมักปุ๋ย ได้แก่ ผลของการเติมสารเร่งจุลินทรีย์ พด.1, ผลของระยะเวลาในการเติมอากาศ, ผลของอัตราการเติมเศษอาหาร โดยวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมัก ได้แก่

- ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมัก
- สี กลิ่น ความยุ่ยของเนื้อปุ๋ย
- อัตราการยุบตัว
- อุณหภูมิ
- ความชื้น
- ค่าความเป็นกรด - ด่าง
- ค่าการนำไฟฟ้า

6. ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยหมัก ได้แก่

- ลักษณะของปุ๋ยเมื่อผ่านการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์
- สี กลิ่น ความยุ่ยของเนื้อปุ๋ย
- อุณหภูมิ
- อัตราการยุบตัว
- ค่าความเป็นกรด - ด่าง
- ค่าการนำไฟฟ้า
- ความชื้น
- คาร์บอน
- ไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟอสฟอรัส

- โพแทสเซียม

- ปริมาณโลหะหนัก

7. ศึกษาดัชนีการรอกของเมล็ดโดยใช้เมล็ดผักบงจีน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ปุ๋ยหมักจากเศษอาหารในครัวเรือน
2. ลดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย
3. ลดปริมาณขยะเศษอาหารจากครัวเรือน
4. ลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปุ๋ยหมัก (นันทวัน, 2556)

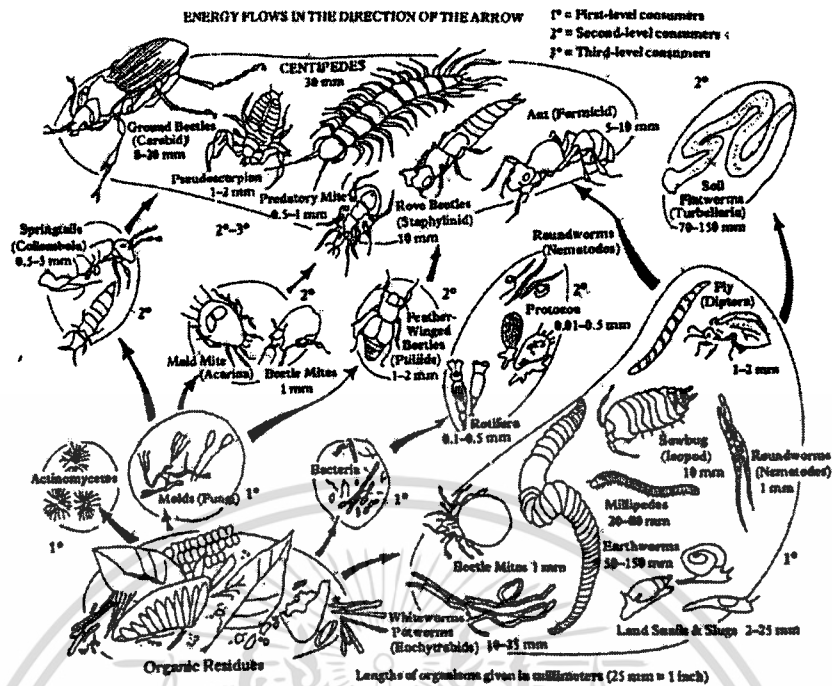
2.1.1 ความหมายของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีราคาถูก สามารถใช้แทนปุ๋ยเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้ประโยชน์ในการนำมาบำรุงดินและปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน เช่น ช่วยให้นดินเกาะกันอย่างหลวมๆ และมีอากาศภายในดินมากขึ้นหรือทำให้ดินทรายอุ้มน้ำได้ดีขึ้น โดยวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำมาทำปุ๋ยหมัก คือ วัตถุดิบที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ สำหรับกองปุ๋ยหมักที่ดีจะต้องมีส่วนส่วนของสารคาร์บอน หรือ Browns และสารไนโตรเจน หรือ Green ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยทั่วไปสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุทั้งสองชนิดจะประกอบด้วยคาร์บอน 25 ส่วนต่อไนโตรเจน 1 ส่วน โดยคาร์บอนถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ส่วนไนโตรเจนมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของเซลล์ หากกองปุ๋ยมีปริมาณคาร์บอนที่มากเกินไปจะทำให้กองปุ๋ยเกิดการย่อยสลายช้าในขณะที่กองปุ๋ยหมักมีสัดส่วนไนโตรเจนที่มากเกินไปจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็น กองหมักปุ๋ยเริ่มจากการนำวัสดุกองหมักรวมกัน รดน้ำให้มีความชื้นเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์โดยกระบวนการแปรสภาพในกองปุ๋ยหมักของจุลินทรีย์เป็นแบบใช้อากาศซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เร็วกว่าแบบไม่ใช้อากาศ โดยวัสดุอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนแปรสภาพเป็นอิฐมวล เซียนสมการทั่วไปของการสลายอินทรีย์สารโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่ใช้ออกซิเจนได้ดังสมการที่ 2.1



การย่อยสลายสารอินทรีย์แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

1. การย่อยสลายที่เกิดจากแมลงหรือสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ (Macro organisms) ได้แก่ Nematodes, Mites, Sow bug และไส้เดือนเข้าไปกัดกินสารอินทรีย์ที่ใช้ทำปุ๋ยโดยทำให้สารอินทรีย์มีขนาดเล็กลง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สายใยอาหารในกองปุ๋ยหมัก (John Wiley & Sons, 1996)

2. การย่อยสลายโดย Mesophilic bacteria ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในดิน ได้แก่ พวกเชื้อราและแบคทีเรีย โดยขั้นนี้สารอินทรีย์ขนาดเล็กจะถูกย่อยสลายมากขึ้นและให้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น เรียกขานนี้ว่า Mesophilic stage ระยะนี้อุณหภูมิในกองปุ๋ยจะอยู่ที่ 25 – 45 องศาเซลเซียส

3. การย่อยสลายโดย Thermophilic bacteria เมื่อเกิดการย่อยระยะเวลานาน อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นจนแบคทีเรียกลุ่ม Mesophilic bacteria หยุดการทำงานหรือไม่สามารถย่อยได้อีก แบคทีเรียกลุ่ม Thermophilic bacteria จะทำหน้าที่ย่อยสลายต่อ โดยช่วงนี้เรียกว่า Thermophilic stage ระยะนี้อุณหภูมิในกองปุ๋ยจะอยู่ที่ 45 – 75 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำลายเชื้อพยาธิและเมล็ดวัชพืช การย่อยจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิลดลงกลับมาอยู่ในช่วง Mesophilic stage อีกครั้งโดยการหมักปุ๋ยทั้ง 3 ระยะใช้เวลาไม่น้อยกว่า 10 – 12 สัปดาห์ จึงเกิดการหมักที่สมบูรณ์

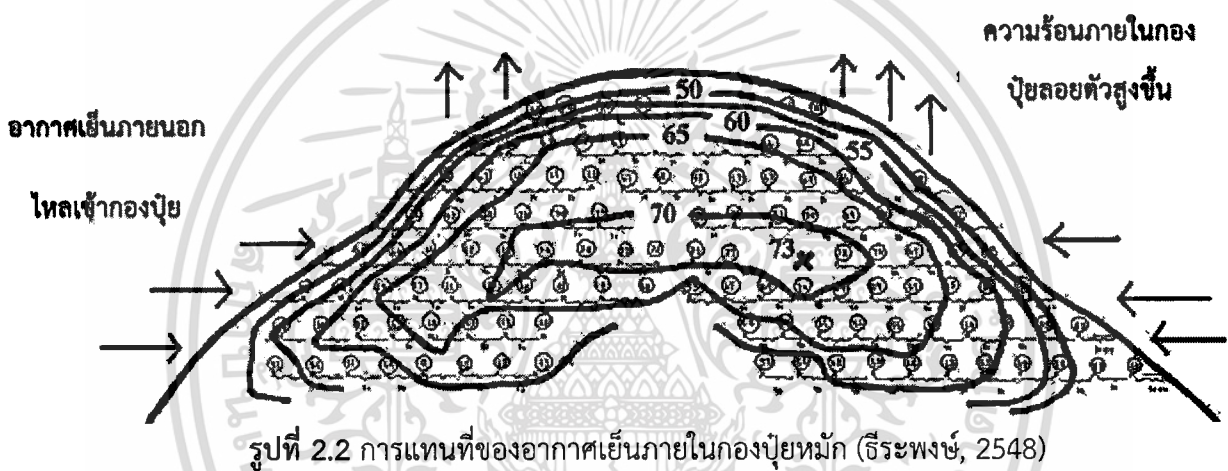
2.1.2 ประเภทการหมักปุ๋ย

2.1.2.1 การหมักแบบไม่เติมอากาศ (Passive composting) (กนกวรรณ และคณะ, 2556) เป็นการกองปุ๋ยหมักที่มีขนาดไม่สูงและไม่หนาเกินไป อาศัยเศษมูลฝอยมีขนาดใหญ่มีช่องว่างอากาศเข้าไปผสม โดยธรรมชาติกองปุ๋ยมีความพรุนสูง โปร่ง ลมพัดผ่านได้ดี และไม่มีการกดมูลฝอยให้แน่นจนเกินไป วิธีการนี้อาจไม่เหมาะกับมูลฝอยชุมชนเพราะมีเศษอาหารมากทำให้เกิดจุดอับอากาศได้ ดังนั้น จึงเหมาะกับการทำปุ๋ยหมักอินทรีย์จากเศษซากพืชผักต่างๆ ที่ผสมด้วยขี้เลื่อยหรือเศษไม้มากกว่าการหมักแบบไม่เติมอากาศ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

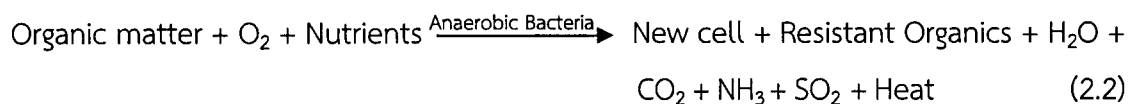
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหมักแบบพลิกกลับกอง เป็นการหมักแบบดั้งเดิมที่ต้องใช้เวลาและแรงงานในการผลิต ปุ๋ยหมัก โดยอาศัยหลักการหมักโดยใช้จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนร่วมกับความชื้นต้องกลับกองปุ๋ยเพื่อให้ออกซิเจนเข้าไปในกองปุ๋ยได้มากพอ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลานานและได้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อการใช้งาน
- การหมักแบบไม่กลับกอง เป็นการหมักที่ใช้เวลาและแรงงานน้อยกว่า ไม่มีความยุ่งยากในการผลิต สามารถทำได้ในพื้นที่เพาะปลูก อาศัยหลักการคือรูปร่างการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกองเป็นรูปสามเหลี่ยมปริซึม โดยลักษณะรูปร่างสามเหลี่ยมจะทำให้ความร้อนภายในกองปุ๋ยลอยขึ้นด้านบนและผลักอากาศเย็นไหลเข้ากองปุ๋ยคล้ายกับปรากฏการณ์ Chimney Convection ซึ่งการหมักวิธีนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรักษาความชื้นให้เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 2.2



2.1.2.2 การหมักแบบเติมอากาศผ่านกองปุ๋ย (Active composting) (ธีระพงษ์, 2548)

จุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนจะย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เซลลูโลส กรดอะมิโน ฯลฯ ในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนและได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารคงตัวหรือฮิวมัส น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และพลังงานความร้อน แสดงดังสมการ 2.2



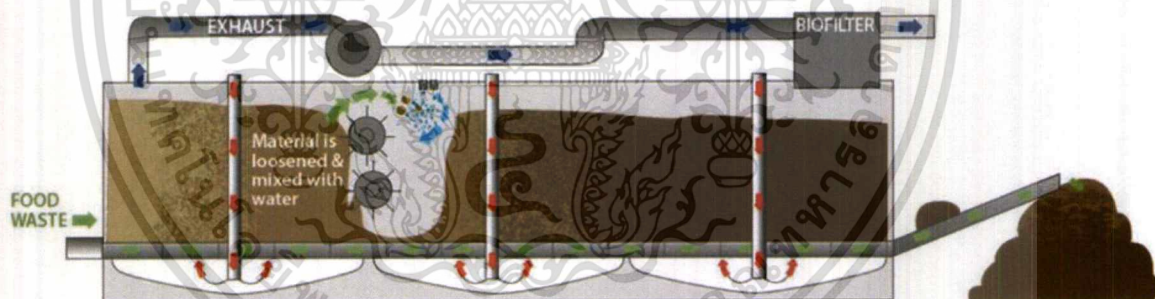
กระบวนการหมักปุ๋ยประกอบด้วยกลไกที่สำคัญ 2 ขั้นตอน ได้แก่

(1) การย่อยสลายอย่างเข้มข้น (Intensive rotting phase) เกิดขึ้นในช่วง 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก อุณหภูมิของการหมักจะสูงถึง 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียประเภทมีโซฟิลิก (Mesophilic bacteria) หลังจาก 24 ชั่วโมง แล้วอุณหภูมิ

ของการหมักจะสูงขึ้นจนถึงประมาณ 75 องศาเซลเซียส ช่วงนี้การย่อยสลายอินทรีย์จะเกิดขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียประเภทเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic bacteria) และอุณหภูมิที่สูงระดับนี้จะทำให้เชื้อโรคที่อยู่ในวัสดุหมักส่วนใหญ่ตายได้ ระยะเวลาของการเกิดกลไกนี้ประมาณ 3 – 6 สัปดาห์หรือตั้งแต่ 1– 5 วัน ขึ้นอยู่กับวิธีการหมักและองค์ประกอบของวัสดุหมัก

(2) การย่อยสลายขั้นสุดท้าย (Final rotting phase) หลังจากที่มีการย่อยสลายอย่างเข้มข้นเสร็จสิ้นแล้วอุณหภูมิของวัสดุหมักจะค่อยๆ ลดลงจนเหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส อินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น พวกลิกนินจะถูกละลายในขั้นนี้จะใช้เวลาตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไปจนถึง 1 ปี การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะมีกลุ่มจุลินทรีย์พวกรา ได้แก่ ฟังไจ (fungi) และแอคติโนมัยซิส (actinomycetes) ช่วยในการย่อยสลายสารที่ย่อยสลายได้ยากที่เหลืออยู่ด้วย

2.1.2.3 การหมักในภาชนะ (In – Vessel system) (กนกวรรณ และคณะ, 2556) เป็นการหมักในภาชนะทรงกระบอกที่หมุนได้รอบตัวในแนวนอน (Rotating drum composter) และมีการป้อนอากาศเข้าไปช่วยในการหมัก ซึ่งปฏิกิริยาในการหมักจะเกิดตั้งแต่ Mesophilic stage และ Thermophilic stage ภายในภาชนะทรงกระบอกและเมื่อสิ้นสุดการหมักต้องนำปุ๋ยหมักไปบ่มต่อข้างนอกโดยการกองไว้แบบเติมอากาศ (Active composting) อีกประมาณ 3 เดือนหรือมากกว่า สำหรับช่วงเวลาในการหมักในภาชนะทรงกระบอกนี้จะใช้เวลาหมักตั้งแต่ 1 – 3 วัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบของถังหมัก ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การหมักในภาชนะ (In – Vessel system) (Dr. Robert Winn, 2013)

2.2 ประเภทขยะ

2.2.1 ความหมายของขยะ

พระราชบัญญัติสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ให้คำจำกัดความมูลฝอย หมายถึง สิ่งต่างๆ ที่เราไม่ต้องการที่เป็นของแข็งหรืออ่อน มีความชื้น ได้แก่ เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร ขยะพลาสติก ภาชนะกล่องใส่อาหาร เศษมูลสัตว์ หรือซากสัตว์รวมถึงวัตถุอื่น สิ่งใดที่เก็บกวาดได้จากถนน ตลาดที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ให้คำจำกัดความของคำว่า ของเสีย หมายความว่า ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล น้ำเสีย อากาศเสีย มลสารหรือวัตถุอันตรายอื่นซึ่งถูกปล่อยทิ้งหรือมาจากแหล่งกำเนิดมลพิษรวมทั้งกากตะกอนหรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้นที่อยู่ในสภาพของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ในทางวิชาการจะใช้คำว่า ขยะมูลฝอย ซึ่งหมายถึง บรรดาสิ่งของที่ไม่ต้องการใช้แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งจะเน่าเปื่อยหรือไม่ก็ตามรวมตลอดถึง แก้ว ขากสัตว์ มูลสัตว์ ฝุ่นละออง และเศษวัตถุที่ทิ้งแล้วจากบ้านเรือน ที่พักอาศัย สถานที่ต่างๆ รวมถึงสถานที่สาธารณะ ตลาดและโรงงานอุตสาหกรรม ยกเว้น อุจจาระและปัสสาวะของมนุษย์ซึ่งเป็นสิ่งปฏิกูล วิธีจัดเก็บและกำจัดแตกต่างไปจากวิธีการจัดขยะมูลฝอย

ขยะ เป็นเหตุสำคัญประการหนึ่งที่เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและมีผลต่อสุขภาพอนามัยมูลฝอยหรือของเสียมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี จากการเพิ่มของประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจและทางอุตสาหกรรม นับเป็นปัญหาที่สำคัญของชุมชนซึ่งต้องจัดการและแก้ไขปริมาณกากของเสียและสารอันตราย ได้แก่ ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล และสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ ดิน และอากาศตลอดจนบางส่วนตกค้างอยู่ในอาหาร ทำให้ประชาชนทั่วไปเสี่ยงต่ออันตรายจากการเป็นโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคผิดปกติทางพันธุกรรม เป็นต้น

2.2.2 การจำแนกประเภทของขยะ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

2.2.2.1 จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. ขยะย่อยสลาย (Compostable waste) หรือ มูลฝอยย่อยสลาย คือ ขยะที่เน่าเสียและย่อยสลายได้เร็วสามารถนำมาหมักทำปุ๋ยได้ เช่น เศษผัก เปลือกผลไม้ เศษอาหาร ใบไม้ เศษเนื้อสัตว์ เป็นต้น แต่จะไม่รวมถึงซากหรือเศษของพืช ผัก ผลไม้ หรือสัตว์ที่เกิดจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยที่ขยะย่อยสลายนี้เป็นขยะที่พบมากที่สุด คือ พบมากถึง 64% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ

2. ขยะรีไซเคิล (Recyclable waste) หรือมูลฝอยที่ยังใช้ได้ คือ ของเสียบรรจุภัณฑ์หรือวัสดุเหลือใช้ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ เช่น แก้ว กระดาษ เศษพลาสติก กล่องเครื่องดื่มแบบ UHT กระป๋องเครื่องดื่ม เศษโลหะ อะลูมิเนียม ยางรถยนต์ เป็นต้น สำหรับขยะรีไซเคิลนี้เป็นขยะที่พบมากเป็นอันดับที่สองในกองขยะ กล่าวคือ พบประมาณ 30% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ

3. ขยะอันตราย (Hazardous waste) หรือมูลฝอยอันตราย คือ ขยะที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนวัตถุอันตรายชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์ วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค วัตถุธรรมชาติ วัตถุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม วัตถุกัดกร่อน วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง วัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์สินหรือสิ่งแวดล้อม เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดฟลูออเรสเซนต์

เอกสารแบบเตอร์โทรศัพท์เคลื่อนที่ ภาชนะบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช กระป๋องสเปรย์บรรจุสีหรือสารเคมี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น ขยะอันตรายนี้เป็นขยะที่มักจะพบได้น้อยที่สุด กล่าวคือ พบประมาณเพียง 3% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ

4. ขยะทั่วไป (General waste) หรือมูลฝอยทั่วไป คือ ขยะประเภทอื่นนอกเหนือจากขยะย่อยสลาย ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย มีลักษณะที่ย่อยสลายยากและไม่คุ้มค่าสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เช่น ห่อพลาสติกใสขนม ถุงพลาสติกบรรจุผงซักฟอก พลาสติกห่อลูกอม ซองบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ถุงพลาสติกเบื้อนเศษอาหาร โฟมเบื้อนอาหาร พอยล์เบื้อนอาหาร เป็นต้น สำหรับขยะทั่วไปนี้เป็นขยะที่มีปริมาณใกล้เคียงกับขยะอันตราย กล่าวคือ จะพบประมาณ 3% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ

2.2.2.2 จำแนกตามแหล่งกำเนิด สามารถแบ่งเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. ขยะจากชุมชน ได้แก่ ขยะที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของคนในชุมชนที่อาศัยอยู่ภายในชุมชน ประกอบด้วยขยะจากบ้านเรือน อาคารสำนักงาน โรงเรียน วัด ตลาดสด เป็นต้น

2. ขยะจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ ขยะที่เกิดขึ้นจากภาคการผลิตสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบการต่างๆ ซึ่งโดยปกติแล้วขยะที่เกิดขึ้นจากภาคอุตสาหกรรมนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ขยะทั่วไปที่เกิดจากกิจกรรมซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตสินค้าโดยตรง เช่น ขยะที่เกิดจากสำนักงาน และโรงอาหารภายในโรงงาน เป็นต้น อีกส่วนหนึ่งก็คือขยะที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของกระบวนการผลิตสินค้า ซึ่งขยะในส่วนนี้มีทั้งที่ไม่เป็นอันตราย เช่น เศษวัตถุดิบจากพวกเศษผ้า เศษไม้ เศษหนัง เศษพลาสติก ฯลฯ กับขยะที่เป็นอันตราย เช่น ตะกอนโลหะหนัก กากตะกอนน้ำมัน กรด ด่าง ตัวทำละลาย และกากสี เป็นต้น

3. ขยะจากภาคเกษตรกรรม ได้แก่ ขยะที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในภาคการเกษตรทั้งจากการเพาะปลูกในเรือน สวน ไร่ นา และจากการเลี้ยงสัตว์ประกอบด้วย ขากพืช ขากสัตว์ มูลสัตว์ ตอซัง ชานอ้อย เศษหญ้า และเศษใบไม้ รวมไปถึงจนถึงภาชนะบรรจุสารเคมี และเคมีภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพแล้ว เป็นต้น

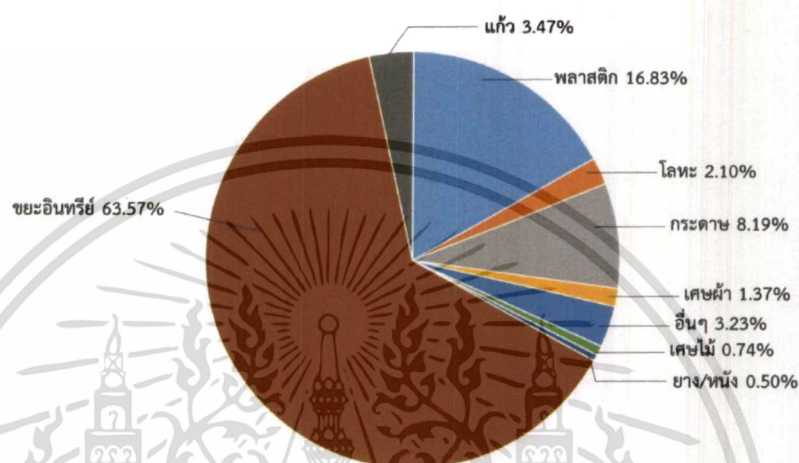
4. ขยะจากสถานพยาบาล ได้แก่ ขยะที่มีแหล่งกำเนิดจากโรงพยาบาล สถานือนามัย คลินิกรักษาโรคคนและสัตว์ ซึ่งเป็นขยะที่มีเชื้อโรคปะปนอยู่ในปริมาณที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่สัมผัสได้ เช่น ผ้าพันแผล เข็มฉีดยา ชิ้นส่วนของอวัยวะต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังรวมถึงขยะที่เกิดจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

2.3 องค์ประกอบของขยะ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

องค์ประกอบของขยะจะเปลี่ยนไปตามสภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล และพฤติกรรมทางเศรษฐกิจ สังคม วิถีชีวิต ตลอดจนอุปนิสัยและแบบแผนในการบริโภคของแต่ละชุมชน อย่างไรก็ตาม ขยะที่มีแหล่งกำเนิดมาจากชุมชน มักมีองค์ประกอบหลักๆ ดังนี้คือ (1) ขยะอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้

เอกสารนี้ เช่น เศษอาหาร เศษใบไม้ เศษหญ้า (2) ขยะที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้หรือขยะรีไซเคิล เช่น แก้ว ไม้ กระดาษ โลหะ พลาสติก อะลูมิเนียม หนังสือ และยาง (3) ขยะที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้

เช่น เศษผ้า เศษวัสดุก่อสร้าง เกิดจากการเผาไหม้ และอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีขยะพิษหรือขยะอันตราย บางชนิดปนเปื้อนอยู่ด้วย จากผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ.2547 พบว่า องค์ประกอบของขยะชุมชนที่รวบรวมจากเทศบาลทั่วประเทศมีสัดส่วนของขยะอินทรีย์มากที่สุดถึงร้อยละ 63.57 ส่วนขยะรีไซเคิลประเภทต่างๆ อันได้แก่ พลาสติก กระดาษ แก้ว และโลหะ จะพบในสัดส่วนร้อยละ 16.83, 8.19, 3.47 และ 2.10 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของขยะชุมชนจากเทศบาลทั่วไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

2.4 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในการนำขยะมาทำปุ๋ยหมัก

การแปรสภาพขยะที่ย่อยสลายได้เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมักนั้น จำเป็นจะต้องทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของขยะว่ามีศักยภาพเพียงพอหรือไม่ ซึ่งในที่นี้จะขอลกล่าวถึงคุณสมบัติทั้ง 2 ด้านของขยะโดยสังเขปดังนี้

2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติของขยะที่เกี่ยวข้องกับการนำขยะไปทำปุ๋ยหมัก ก็คือ ปริมาณความชื้น ซึ่งปริมาณความชื้นของขยะจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ องค์ประกอบของขยะ ฤดูกาล และสภาพภูมิอากาศ ฯลฯ เช่น ขยะที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าขยะที่มีอยู่ในช่วงฤดูร้อน หรือขยะที่เป็นเศษอาหาร และเศษผักผลไม้จะมีน้ำเป็นส่วนประกอบมากกว่าขยะจำพวกเศษไม้ เป็นต้น

ความชื้นที่เหมาะสมในการนำขยะมาทำปุ๋ยหมักควรอยู่ระหว่างร้อยละ 50 – 60 จึงจะทำให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้ดี หากมีความชื้นสูงเกินไปจะทำให้สัดส่วนของออกซิเจนที่มีอยู่ตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของขยะต่ำลง เนื่องจากถูกแทนที่ด้วยความชื้น ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศ รวมทั้งทำให้อุณหภูมิภายในกองขยะลดต่ำลงด้วย ซึ่งสภาวะเช่นนี้ถือได้ว่าไม่เหมาะสำหรับกระบวนการหมักปุ๋ย อย่างไรก็ตาม หากมีความชื้นต่ำเกินไปจะทำให้จุลินทรีย์ขาดน้ำและไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยทั่วไปแล้วความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ยจะอยู่ในช่วงร้อยละ 50 – 60

เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปก็มีผลทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดช้าลง

2.4.2 คุณสมบัติทางเคมี

ขยะทุกประเภทมีส่วนประกอบทางเคมีคือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ซัลเฟอร์ (S) และซีเถ้า (Ash) แต่ส่วนประกอบทางเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปุ๋ยหมักก็คือไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เป็นปัจจัยที่มีส่วนสำคัญต่อการทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากไนโตรเจนมีผลต่อการสร้างเซลล์ใหม่ของจุลินทรีย์ หากอัตราส่วน C/N ratio มีค่าสูงเกินไปซึ่งหมายถึงมีปริมาณไนโตรเจนน้อย จุลินทรีย์ก็จะเพิ่มจำนวนน้อยลงไปด้วย เพราะต้องอาศัยไนโตรเจนในการเจริญเติบโต ในทางตรงกันข้ามหากอัตราส่วน C/N ratio ต่ำเกินไป ซึ่งหมายถึงมีปริมาณไนโตรเจนมากขึ้น ก็จะทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช โดยปกติอัตราส่วน C/N ratio ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงระหว่าง 20 : 1 ถึง 40 : 1

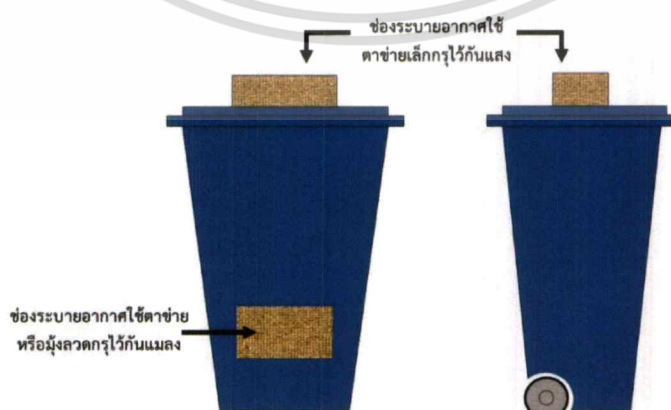
2.5 ถังหมักขยะอินทรีย์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

กรมควบคุมมลพิษได้มีการพัฒนาต้นแบบถังหมักขยะอินทรีย์ 2 ประเภท ดังนี้

2.5.1 ต้นแบบถังหมักขยะอินทรีย์ขนาดเล็ก

ใช้หมักมูลฝอยเศษอาหารร่วมกับใบไม้แห้งในอัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร มีระยะเวลาการหมัก 60 วัน หลังการหมักวัสดุหมักมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลงร้อยละ 75 ปุ๋ยหมักมีปริมาณธาตุอาหารได้แก่ ค่าของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ได้ตามมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมส่งเสริมการเกษตรถังหมักมีอัตราการเติมมูลฝอยเศษอาหารเท่ากับ 4 - 5 ลิตรต่อวัน และเศษใบไม้แห้ง 4 - 5 ลิตรต่อวัน สามารถใช้กับบ้านเรือนที่มีผู้อยู่อาศัยประมาณ 4 - 5 คน มีทั้งหมด 3 ประเภท ดังนี้

2.5.1.1 ต้นแบบถังหมักแบบมีช่องระบายอากาศขนาด 185 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 2.5

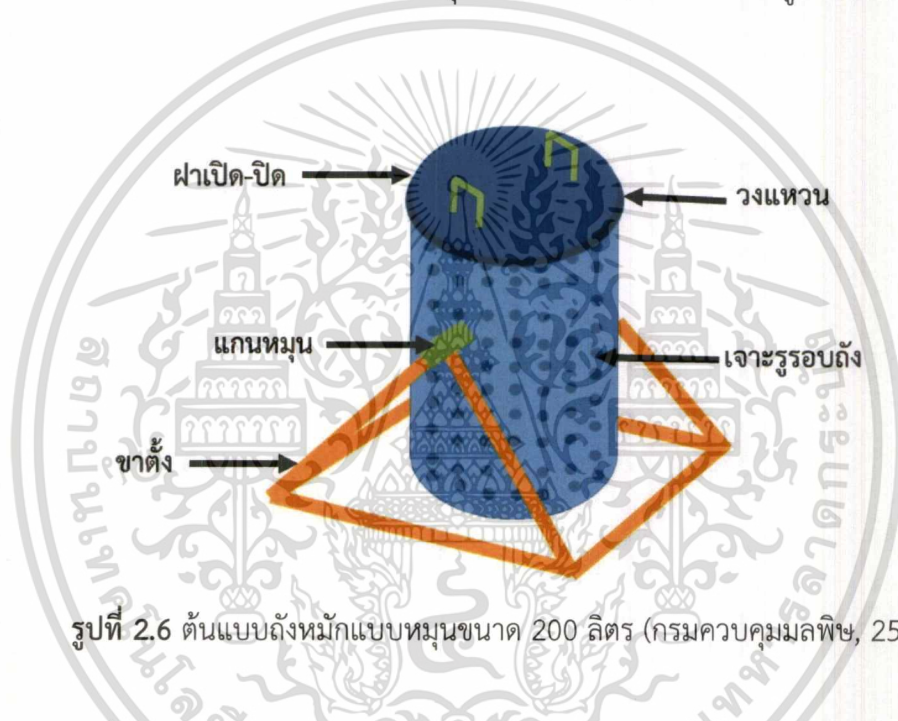


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ

รูปที่ 2.5 ต้นแบบถังหมักแบบมีช่องระบายอากาศขนาด 185 ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

เป็นถังพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมขนาด 185 ลิตร สามารถรองรับวัสดุหมักได้สูงสุด 120 ลิตร มีฝาปิด - เปิดด้านบนเพื่อนำมูลฝอยลงไปหมัก โดยด้านบนของฝาประกอบด้วย ช่องระบายอากาศ ออกซึ่งกรุด้วยตาข่ายเพื่อป้องกันแมลง ด้านหน้าเป็นฝาปิด - เปิด โดยใช้ตาข่ายหรือมุ้งลวดกรุกันแมลงเพื่อใช้เป็นช่องระบายปุ๋ยหมักออกจากถังและสำหรับระบายอากาศ ภายในถังมีตะแกรงเหล็ก เพื่อรองรับมูลฝอยและช่วยระบายน้ำชะมูลฝอย มีขนาดเล็กสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน มีล้อทำให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้าย มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี การหมักมูลฝอยเป็นแบบสภาวะใช้ออกซิเจน โดยให้มีการระบายอากาศตามธรรมชาติ อากาศจะเข้าทางด้านหน้าถังทางช่องระบายปุ๋ยหมักและระบายออกทางฝาปิด - เปิดด้านบน

2.5.1.2 ต้นแบบถังหมักแบบหมุนขนาด 200 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 2.6

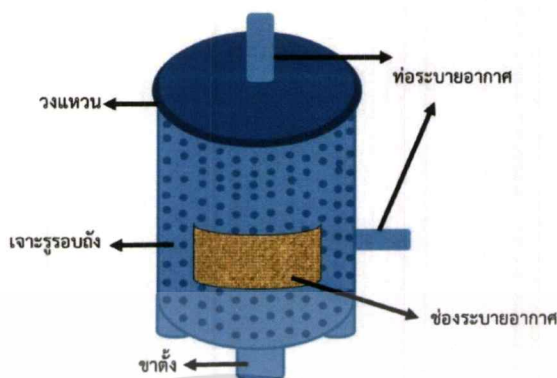


รูปที่ 2.6 ต้นแบบถังหมักแบบหมุนขนาด 200 ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

เป็นถังรูปทรงกระบอกทำจากโลหะอลูมิเนียมกันสนิม ขนาด 200 ลิตร ติดตั้งบนแกนหมุนสำหรับหมุนพลิกถัง และด้านล่างของถังหมักทำเป็นฐานขาตั้งสามารถรองรับวัสดุหมักได้สูงสุด 150 ลิตร มีฝาปิด - เปิดเพื่อเติมมูลฝอยและระบายปุ๋ยหมักออกทางด้านบน โดยมีวงแหวนลือระหว่างตัวถังกับฝาปิด - เปิดให้ติดกัน รอบถังทำการเจาะรู เพื่อช่วยระบายอากาศเข้าและออกด้านล่างตรงกลางกันถังติดตั้งท่อน้ำทิ้งโดยทำเป็นวาล์วปิด - เปิด สำหรับระบายน้ำชะมูลฝอย มีขนาดเล็กสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน อายุการใช้งานของถังประมาณ 10 ปี การหมักมูลฝอยเป็นแบบสภาวะใช้ออกซิเจนโดยให้มีการระบายอากาศตามธรรมชาติ อากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวกผ่านรูรอบถัง และมูลฝอยภายในถังหมักสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้นจากการถูกหมุนพลิกกลับไป - มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

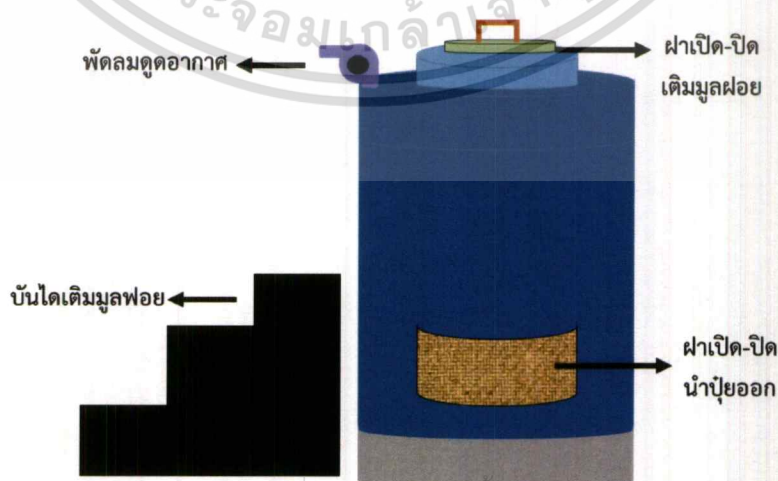
2.5.1.3 ต้นแบบถังหมักแบบใช้ท่อระบายอากาศขนาด 200 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ต้นแบบถังหมักแบบใช้ท่อระบายอากาศขนาด 200 ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

เป็นถังพลาสติกทรงกระบอกขนาด 200 ลิตร สามารถรองรับวัสดุหมักได้สูงสุด 150 ลิตร มีฝาปิด - เปิดด้านบนเพื่อนำมูลฝอยลงไปหมัก และเจาะรูรอบฝาถังเพื่อเติมน้ำเพิ่มความชื้น โดยมีวงแหวนลึกระหว่างตัวถังกับฝาปิด - เปิดให้ติดกัน ด้านหน้าเป็นฝาปิด - เปิดเพื่อใช้เป็นช่องระบายปุ๋ยหมักออกจากถัง รอบถังทำการเจาะรู เพื่อช่วยระบายอากาศเข้าและออก ตรงกลางของฝาถังมีท่อเจาะรูรอบท่อ ประกอบกันเป็นรูปตัวแอล (L) ยื่นออกมาด้านบน ฝาถังและด้านข้างถัง เพื่อช่วยระบายอากาศเข้าและออก ด้านล่างถังทำเป็นขาตั้งและตรงกลางกันถังติดตั้งท่อน้ำทิ้งโดยทำเป็นวาล์วปิด - เปิด สำหรับ ระบายน้ำชะมูลฝอย มีขนาดเล็กสะดวกในการติดตั้งและใช้งาน มีอายุการใช้งานของถังประมาณ 10 ปี การหมักมูลฝอยเป็นแบบสภาวะใช้ออกซิเจนโดยให้มีการระบายอากาศตามธรรมชาติ อากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวกผ่านรูรอบถังและยังสามารถไหลผ่านเข้าท่อที่ยื่นออกมา ทางด้านข้างและไหลผ่านออกท่อที่ยื่นออกมาทางด้านบนถัง

2.5.2 ต้นแบบถังหมักขยะอินทรีย์ขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีรูปที่ 2.8 ต้นแบบถังหมักขยะอินทรีย์ขนาดใหญ่ ขนาด 2,000 ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

เป็นถังพลาสติกทรงกระบอกขนาด 2,000 ลิตร สามารถรองรับวัสดุหมักได้สูงสุด 1,500 ลิตร มีฝาปิด - เปิดด้านบนสำหรับเติมมูลฝอย และติดตั้งพัดลมดูดอากาศ ขนาด 1/2 แรงม้า โดยดูดอากาศผ่านท่อพีวีซีเจาะรูโดยรอบซึ่งอยู่ภายในถังหมัก ด้านข้างช่วงล่างมีประตู ปิด - เปิด จำนวน 3 ช่อง สำหรับเป็นช่องระบายปุ๋ยหมัก ด้านล่างภายในถังติดตั้งตะแกรงสำหรับรองรับมูลฝอย และช่วยระบายน้ำชะมูลฝอยไหลลงสู่ก้นถัง มีอายุการใช้งานประมาณ 15 ปี การหมักมูลฝอยเป็นแบบ สภาวะใช้ออกซิเจนโดยพัดลมดูดอากาศจะดูดอากาศภายใน กองมูลฝอย ผ่านท่อพีวีซีที่เจาะรูโดยรอบ อากาศที่ถูกดูดจะระบายออกสู่ด้านบนของถังหมักทำให้มีอากาศหมุนเวียนตลอดเวลา

2.6 สารเร่งจุลินทรีย์สำหรับปุ๋ยหมัก

ปัจจุบันมีการผลิตสารเร่งจุลินทรีย์สำหรับการผลิตสารเร่งจุลินทรีย์สำหรับผลิตปุ๋ยหมักขึ้น มากมายเพื่อใช้ลดระยะเวลาในการหมัก สารเร่งจุลินทรีย์ที่มีใช้อยู่ทั่วไป ได้แก่

2.6.1 สารเร่งจุลินทรีย์ซูเปอร์ พด.1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

ในปี พ.ศ. 2524 กรมพัฒนาที่ดินได้ศึกษาวิจัยเทคนิคการผลิตปุ๋ยหมักที่มีต้นทุนต่ำและ ลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้สั้นลง ทำให้เกษตรกรสามารถทำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้ประโยชน์ ปรับปรุงดินได้ทันในช่วงฤดูการเพาะปลูก จึงได้ศึกษาวิจัยคัดเลือกกลุ่มจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุ การเกษตรที่มีประสิทธิภาพสูงหรือจุลินทรีย์ที่มีความสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูโลสได้สูง จึงได้พัฒนา สารเร่งจุลินทรีย์ชนิดแรกของกรมพัฒนาที่ดินซึ่งมีชื่อว่า “สารเร่ง พด.1” สำหรับผลิตปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่ม ความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน ได้มีการส่งเสริมการใช้สารเร่ง พด.1 สู่เกษตรกรเมื่อปี พ.ศ. 2529 โดยใน สารเร่ง พด.1 จำนวน 1 ชอง (100 กรัม) จะมีปริมาณจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 1,010 เซลล์สามารถผลิตปุ๋ยหมักได้ 1 ตัน ซึ่งสารเร่งซูเปอร์ พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสูงในการย่อยวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เพื่อผลิตปุ๋ยหมักในช่วงระยะเวลาอันสั้น ประกอบด้วยเชื้อแบคทีเรีย แอคติโนไมซีตและรา ซึ่งมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ได้สูงประกอบด้วยจุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์ ได้แก่ แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์อยู่ในสกุล *Bacillus* sp. แอคติโนไมซีต 2 สายพันธุ์อยู่ในสกุล *Streptomyces* sp. รา 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Scopulariopsis* sp., *Helicomyces* sp., *Chaetomium* sp. และ *Trichoderma* sp.

2.6.1.1 แหล่งที่มาของเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1

อินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบสำคัญในการควบคุมสมดุลและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของ ดินทั้งในด้านสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ในสภาพป่าธรรมชาติจะเป็นแหล่งของ อินทรีย์วัตถุที่สำคัญ ซึ่งได้จากการร่วงหล่นของใบไม้ทับถมกัน และเกิดการย่อยสลายโดยกลุ่ม จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส ซึ่งจะผลิตเอนไซม์เซลลูเลสย่อยสลายวัสดุอินทรีย์และแปรสภาพให้เป็น ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.6.1.2 คุณสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1 มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ ไม่ว่าเซลลูเลสเพื่อย่อยสลายเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักในเศษพืชได้ดี สามารถเจริญได้ดีในสภาพดิน

ที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมีความสามารถในการใช้อาหารจากอินทรีย์วัตถุ และเพิ่มจำนวนเซลล์ในดินได้ดีกว่า ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นโทษต่อพืชซึ่งมีอยู่ในดินไม่สามารถเจริญแข่งขันได้ เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการแสงแดด อากาศ และเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง 45 องศาเซลเซียส ต้องการความชื้นสูงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

2.6.2 สารเร่งจุลินทรีย์ทางการค้า

กลุ่มจุลินทรีย์ประกอบด้วยแบคทีเรียและยีสต์ โดยมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์และเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ ดังนี้

2.6.2.1 แบคทีเรีย สามารถย่อยวัสดุอินทรีย์ที่มาจากสิ่งมีชีวิตทั้งจากพืชและสัตว์ย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง และปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบด้วย แบคทีเรียในสกุลบาซิลลัส (*Bacillus* sp.) แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) ได้แก่ *Lactobacillus* sp. แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก (Acetic acid bacteria)

2.6.2.2 ยีสต์ (Yeasts) มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการหมักจะมีการสร้าง Ascospores แบบอาศัยเพศอยู่ใน Asci ได้แก่ ยีสต์สกุล *Saccharomyces* sp. และ *Candida* sp. เนื่องจากยีสต์มีคุณสมบัติในการหมักน้ำตาลได้ดี ดังนั้น ในกระบวนการหมักผักและผลไม้หรือพลาสติกร่วมกับกากน้ำตาล ยีสต์จะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.6.2.3 ราเส้นใย เป็นจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศ พบบริเวณผิวด้านบนของน้ำหมักชีวภาพ ดังนั้นในลักษณะของการทำน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งเป็นการหมักที่มีออกซิเจนน้อย สภาพดังกล่าวไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของราเส้นใย จึงมักพบอยู่บนบริเวณผิวน้ำของน้ำหมักชีวภาพ หรือบนพื้นผิวภาชนะมีน้ำตาลติดอยู่ ส่วนใหญ่ที่มีบทบาทในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพจะอยู่ในกลุ่มรา *Phycomycetes* ได้แก่ ราในสกุล *Mucor* และอื่นๆ

2.7 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักปุ๋ย

เชื้อจุลินทรีย์เร่งปุ๋ยหมักหรืออาจเรียกสั้นๆว่า เชื้อเร่งปุ๋ยหมักหรือเชื้อปุ๋ยหมักมีหลายประเภท อาจจะเป็นเชื้อเดี่ยวหรือเชื้อรวมกันหลายชนิดประกอบด้วยเชื้อรา แบคทีเรียและแอกติโนมัยซีต ชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ โดยหลักการทั่วไปแล้วหลังจากการผลิตเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดในอาหารที่เหมาะสมจนได้เชื้อปริมาณมากพอแล้วจะปรับความชื้นให้ลดลงหรือผสมในสารผสมชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมโดยปรับความชื้นให้ได้อ้อยละ 30 - 40 จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์อยู่ในสภาพดีและเริ่มกิจกรรมได้ทันทีเมื่อใส่ลงในกองปุ๋ยหมัก แต่ถ้าปรับความชื้นให้ต่ำลง คือ อยู่ในสภาพแห้งหรือทำให้เซลล์แข็งและแห้ง (Freeze-dried หรือ lypophilized) ก็จะสะดวกต่อการเก็บรักษาหรือเก็บรักษาได้นาน แต่เมื่อนำมาใช้เชื้อจะเริ่มกิจกรรมได้ช้ากว่า สำหรับชนิดของเชื้อรา แบคทีเรีย

แอกติโนมัยซีตและแอกติโนมัยซีตที่สำคัญในการย่อยสลาย (พิทยากร และเสียงแจ้ว, 2540) มีดังนี้ ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 เชื้อรา (fungi)

ในกองปุ๋ยหมักจะตรวจพบเชื้อราอยู่เสมอ ชนิดและปริมาณของเชื้อราจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ความชื้น และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม การที่อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นและมีความชื้นสูง เป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้น จึงมักตรวจพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองปุ๋ยหมักซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นต่ำกว่า ในกองปุ๋ย ในช่วงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถพบเชื้อราได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบเชื้อราเลย แต่ถ้าอยู่ในสภาพที่แห้งจะพบอุณหภูมิสูง 62 ถึง 65 องศาเซลเซียส ยังสามารถตรวจพบเชื้อราได้ เชื้อราที่พบเสมอๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 ปัจจัยต่างๆ ของสภาพแวดล้อม จะเป็นตัวควบคุมและคัดเลือกเชื้อราที่มีความสามารถในการเจริญดำเนินกิจกรรมในกองปุ๋ยหมัก ในระยะแรกซึ่งอุณหภูมิภายใน กองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นมักจะตรวจพบเชื้อราพวก *Geotrichum candidum* และ *Aspergillus fumigatus* และเมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับ 45 - 55 องศาเซลเซียส มักจะตรวจพบ *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะพบพวก *Penicillium duponti* อย่างไรก็ตาม ชนิดของเชื้อราดังกล่าวจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัสดุที่ใช้ (พิทยากร และเสียงแจ้ว, 2540)

ตารางที่ 2.1 ชนิดของเชื้อราที่แยกได้จากกองปุ๋ยหมัก

อุณหภูมิปานกลาง	อุณหภูมิสูง
<i>Alternaria tenuis</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<i>Aspergillus amstellodami</i>	<i>Chaetomium thermophilum</i>
<i>Cephalosporium</i> sp.	<i>Humicola insolens</i>
<i>Cladosporium herbarum</i>	<i>Humicola lanuginose</i>
<i>Coprinus cinereus</i>	<i>Mucor pusillus</i>
<i>Geotrichum candidum</i>	<i>Penicillium duponti</i>
<i>Paecilomyces</i> sp.	<i>Sporotrichum thermophile</i>
<i>Polyporus versicolor</i>	<i>Talaromyces thermophilis</i>
<i>Scopulariopsis brevicantis</i>	<i>Thermoascus aurantiacus</i>
<i>Trichoderma viridae</i>	

ที่มา : ยงยุทธ และคณะ (2554)

2.7.2 แบคทีเรีย (bacteria)

เป็นจุลินทรีย์ที่มีมากที่สุดในกองปุ๋ยหมัก ประมาณ 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์ที่พบว่าการย่อยสลายจะเป็นแบคทีเรีย ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในกองปุ๋ยหมักมีค่าประมาณ 2.3×10^8 เซลล์ต่อกรัม ปริมาณดังกล่าวนี้ไม่แน่นอนอาจมีการผันแปรไปขึ้นอยู่กับ

สภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก แบคทีเรียค่อนข้างจะมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายและเกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมัก ในระยะแรกของการหมักปุ๋ยจะมีอุณหภูมิภายในกองไม่สูงมากนักแบคทีเรียส่วนใหญ่จะเป็นพวกที่พบได้ทั่วไปในดิน เช่น *Pseudomonas* sp., *Cellulomonas* sp., *Achromobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococcus* sp. และ *Bacillus* sp. ซึ่ง *Bacillus* sp. จะพบในปริมาณมากกว่าพวกอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง ได้แก่ *B. subtilis* และ *B. stearothermophilus* ซึ่งเจริญได้ดีในช่วง 50 ถึง 55 องศาเซลเซียส ในบางกรณีอาจถึง 65 องศาเซลเซียส เชื้อแบคทีเรียที่ตรวจพบว่าเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงในระดับนี้ได้แก่ *Thermus* sp. มีบทบาทสำคัญในช่วงที่อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูง บางครั้งจะพบว่าสามารถทนต่อความร้อนได้สูง *Thermus aquaticus* เจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พวก *Bacillus* sp. เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ได้ สปอร์จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบ *Clostridium* sp. ซึ่งสามารถสร้างสปอร์ได้เช่นกัน แต่เจริญในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (ธงชัย, 2550)

2.7.3 แอคติโนไมซีต (actinomycetes)

แอคติโนไมซีตเจริญได้ไม่ดีเมื่ออยู่ในสภาพอากาศไม่พอเพียง เนื่องจากจุลินทรีย์พวกนี้ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต ลักษณะของเชื้อแอคติโนไมซีตเมื่อเจริญเป็นกลุ่มบนวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักจะเห็นเป็นจุดสีขาวๆคล้ายผงปูนหลังจากอุณหภูมิขึ้นถึงจุดสูงมาก เชื้อแอคติโนไมซีตสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียส การเจริญเติบโตจะลดลงหรือหยุดชะงักเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 75 องศาเซลเซียส เชื้อแอคติโนไมซีตที่มักพบเสมอในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ พวก *Thermo actinomyces* sp. และ *Thermo monospora* sp. เป็นพวกที่สามารถผลิตเอ็นไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ เชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้ มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ไคติน และโปรตีนที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักขณะที่มีอุณหภูมิสูง (ธงชัย, 2550)

2.8 ปัจจัยที่เกี่ยวกับการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ (สมศักดิ์, 2551)

2.8.1 ความชื้นหรือปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก

ความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายอยู่ที่ประมาณ 50 – 60% โดยน้ำหนัก ถ้าความชื้นต่ำกว่า 40 % การย่อยสลายของวัสดุจะช้าลง เพราะจุลินทรีย์ขาดน้ำ แต่ถ้าความชื้นเกิน 80% ทำให้กองปุ๋ยหมักมีน้ำหนักมากเกินไปโดยน้ำเข้าแทนที่อากาศ ทำให้กองปุ๋ยมีอากาศน้อยลงไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หรืออีกนัยหนึ่ง คือ ทำให้จุลินทรีย์ขาดอากาศส่งผลให้การสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักช้าลง หรือทำให้เศษซากพืชเน่าเสียก่อนที่จะเป็นปุ๋ยหมัก (เสียงแจ้ว และนวลจันทร์, 2537)

2.8.2 อากาศหรือออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการออกซิเจน เพื่อเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการ

หายใจ ดังนั้น ต้องทำให้กองปุ๋ยหมักมีอากาศทั่วถึงตลอดเวลาโดยการระบายอากาศที่ปฏิบัติได้ง่าย และสะดวก คือการกลับกองปุ๋ยหมัก การกลับกองปุ๋ยหมักบ่อยครั้งจะทำให้อัตราการสลายตัวของวัสดุ เรื่อยยิ่งขึ้นหรืออาจใช้วิธีอื่นในการระบายอากาศ เช่น การใช้ท่อที่มีรูพรุนสอดเข้าไปในกองปุ๋ยในระยะห่างพอให้อากาศแทรกเข้าไปได้ทั่วถึง หรืออาจใช้การอัดอากาศผ่านท่อเข้าไปภายในกองปุ๋ยก็ได้

2.8.3 ความร้อน – เย็นหรืออุณหภูมิ

อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักที่มีสัดส่วนของวัสดุและเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมจะเพิ่มสูงขึ้นค่อนข้างรวดเร็ว ความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเนื้อเยื่อพืชให้เป็นอาหารในการเจริญเติบโต โดยทั่วไปพบว่าอุณหภูมิจะขึ้นสูงถึง 50 – 60 °C ภายในระยะเวลา 2 – 4 วัน หลังจากหมัก ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกกักเก็บไว้ในกองปุ๋ย เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักรอบนอกปิดกั้นอยู่ความร้อนจึงระบายออกภายนอกกองได้น้อยและช้า ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ไม่สามารถเจริญเติบโตในอุณหภูมิสูงได้ จะเหลือแต่พวกที่เจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิสูงเท่านั้น ประกอบกับภายในกองมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์สะสมมากขึ้นด้วย จึงทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ลดน้อยลง ถ้าเป็นเช่นนี้ในระยะยาวการย่อยสลายจะหยุดชะงักลงได้ ดังนั้น ถ้ามีการกลับกองปุ๋ยหรือระบายความร้อนออก จะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินต่อไปได้ ดังนั้น การกลับกองปุ๋ยหมักจึงมีประโยชน์ทั้งช่วยระบายความร้อนและเพิ่มออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์ด้วย

2.8.4 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ในกองปุ๋ยหมักจากค่าความเป็นกรด – ด่างของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักโดยเฉพาะเศษซากพืช โดยทั่วไปมีค่าเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อย เมื่อนำมากองเป็นปุ๋ยหมักในช่วงแรกความเป็นกรด – ด่างจะลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการปลดปล่อยกรดอินทรีย์จากเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ความเป็นกรด – ด่างในปุ๋ยหมักไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจะอยู่ระหว่าง 6 – 8 ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ ดังนั้น ในการกองปุ๋ยหมักไม่จำเป็นต้องปรับความเป็นกรด – ด่างเพราะมันจะเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของวัสดุและกิจกรรมของจุลินทรีย์อยู่แล้ว

2.8.5 เวลา

เวลาในการหมักปุ๋ยมีตั้งแต่ 3 เดือนไปจนถึง 4 ปี ขึ้นอยู่กับวิธีการทำปุ๋ย ซึ่งหากมีการตัดชิ้นส่วนของมูลฝอยให้เป็นชิ้นเล็กๆ และมีการหมักด้วยการเติมอากาศ เข้าไปในกองปุ๋ยหมักและมีการพลิกกลับทุกๆ สัปดาห์จะใช้เวลาประมาณ 10 – 12 สัปดาห์ แต่หากปล่อยให้ตามธรรมชาติกองไว้ในที่ร่มมีลมพัดผ่านได้สะดวกอาจต้องใช้เวลา 2 – 4 ปี

2.9 การวิเคราะห์คุณลักษณะของปุ๋ยหมัก (ธเรศ, 2553)

2.9.1 การตรวจสอบคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร เป็นการทดสอบการหมักที่สมบูรณ์ ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าปุ๋ยหมักที่ได้ผ่านการย่อยแล้ว กลายเป็นปุ๋ยอย่างสมบูรณ์ (maturity) โดยต้องทดสอบการร็อกของปุ๋ยก่อน หากการหมักไม่สมบูรณ์

ปุ๋ยที่ได้จะเป็นพืชต่อการงอกของเมล็ดพืชซึ่งจะต้องทดสอบตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง ปุ๋ยหมัก ดังนั้น หากผลการทดสอบผ่านเกณฑ์และยืนยันว่าได้ปุ๋ยหมักสมบูรณ์แล้วถือว่าการควบคุมคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้

2.9.2 การทดสอบคุณสมบัติของปุ๋ย

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้เพื่อยืนยันถึงคุณภาพของปุ๋ยหมักว่าเป็นไปตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานปุ๋ยหมัก

ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter)	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนัก
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	ไม่เกิน 20 : 1
ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	อยู่ระหว่าง 5.5 - 8.5
ปริมาณโซเดียม (Na)	ไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก
ปริมาณธาตุอาหารหลัก	
- ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.00 ของน้ำหนัก
- ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P ₂ O ₅)	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.50 ของน้ำหนัก
- โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K)	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.50 ของน้ำหนัก
ความชื้น	ไม่เกินร้อยละ 35 ของน้ำหนัก
ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
ปริมาณหินและกรวดขนาดตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรขึ้นไป	ไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก
พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
ปริมาณธาตุโลหะหนัก	
- Arsenic (As)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- Cadmium (Cd)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- Chromium (Cr)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- Copper (Cu)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- Lead (Pb)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 การพิจารณาปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้ว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) สังเกตได้ดังนี้

- สีของวัตถุดิบหมัก ลักษณะเนื้อของปุ๋ยหมักจะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำโดยปกติ เมื่อใช้เศษพืชในการทำปุ๋ยหมักจะเห็นความแตกต่างของสีอย่างชัดเจน
- ลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้หมัก ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์พร้อมนำไปใช้กับพืช มีลักษณะอ่อนนุ่ม ยุ่ย และขาดจากกันได้ง่าย ไม่แข็งกระด้างเหมือนวัตถุดิบเริ่มแรกในการหมัก
- กลิ่นของปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์ จะไม่มีกลิ่นในกรณีที่มีกลิ่นเหม็นเน่าหรือเหม็นฉุน แสดงว่ากระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยยังไม่เสร็จสมบูรณ์
- ความร้อนในกองปุ๋ยหมัก เมื่อทำการหมักได้ประมาณ 2 – 3 วัน อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วมีค่าอยู่ในช่วง 50 – 60 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิจะสูงอยู่ระยะหนึ่ง หลังจากนั้นจึงค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ยและอุณหภูมิจะไม่เพิ่มสูงขึ้นอีก จึงถือว่าปุ๋ยหมักย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์แต่ควรพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบด้วย เพราะในกรณีที่มีความชื้นน้อยหรือมากเกินไป อาจทำให้ระดับอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักลดลงได้เช่นกัน
- ลักษณะพืชที่เจริญบนกองปุ๋ยหมัก เมื่อปุ๋ยหมักย่อยสลายเกือบเสร็จสมบูรณ์บางครั้งอาจมีพืชเจริญบนกองปุ๋ยหมักได้ แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นสามารถนำไปใส่ในดินโดยไม่เป็นอันตรายต่อพืช

2.10 การใช้ประโยชน์จากปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุที่ค่อนข้างทนทานต่อการย่อยสลาย ดังนั้นเมื่อใส่ลงไปในดินปุ๋ยหมักจึงสลายตัวได้ช้า ไม่รวดเร็วเหมือนกับการ globe เศษพืชโดยตรง ซึ่งก็นับว่าเป็นลักษณะที่ดี เพราะทำให้ปุ๋ยหมักสามารถปรับปรุงดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้เป็นระยะเวลานานๆ ปุ๋ยหมักบางส่วนจะคงทนอยู่ในดินได้นานเป็นปี แต่ก็มีบางส่วนที่ถูกย่อยสลายไปในการย่อยสลายนี้อาจจะมีแร่ธาตุอาหารพืชถูกปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยหมักให้พืชได้ใช้อยู่เรื่อยๆ แม้ว่าจะเป็นปริมาณที่ไม่มากนักแต่ก็ถูกปลดปล่อย ออกมาตลอดเวลาและสม่ำเสมอ (ขวลิต, 2543) การใช้ปุ๋ยหมักควรพิจารณาถึงชนิดดินและชนิดพืช เช่นดินที่มีระดับความชื้นต่ำดินเสื่อมโทรมจะต้องใส่ปุ๋ยหมักในปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีวิธีการใส่ปุ๋ยหมักหลายวิธีด้วยกัน คือ

- การใช้ปุ๋ยหมักในการเตรียมแปลงในการปลูกผักพืชไร่และไม้ดอก มีดังนี้คือ ในการเตรียมแปลง ใช้ปุ๋ยหมักโรยให้กระจายทั่วหน้าประมาณ 2 – 4 เซนติเมตร แล้วคลุกเคล้าผสมให้เข้ากับเนื้อดินโดยใช้ในอัตรา 3 ตันต่อไร่ ใช้ร่วมกันกับปุ๋ยเคมีสูตร 16 – 20 – 0 ในอัตรา 15 – 20 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการใส่ปุ๋ยหมักในการเตรียมแปลงเพาะกล้าผัก ควรใช้ในอัตรา 2 – 4 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้เป็นปุ๋ยแต่งหน้าเมื่อพืชเจริญเติบโตในระยะหนึ่งแล้ว โดยใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี ไม่ควรโรยเป็นแถวในแปลงพืชผักและพืชไร่ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีให้เป็นประโยชน์ต่อการ

เจริญเติบโตของพืช ใช้ในอัตรา 3 ต้นต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 20 - 0 หรือ 18 - 22 - 0 อัตรา 25 - 50 กิโลกรัมต่อไร่

- การใช้ปุ๋ยหมักกับการปลูกพืชผักและไม้ดอกไม้ประดับในภาชนะปลูก มีวิธีการให้ปุ๋ยหมักดังนี้ คือ ในการผสมดินเป็นวัสดุปลูกจะใช้ปุ๋ยหมักผสมกับดินร่วนในอัตราส่วน 1 : 3 รดน้ำให้ชุ่ม และคลุกเคล้าให้เข้ากันทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์จึงนำวัสดุปลูกที่เตรียมไว้นี้บรรจุในกระถางหรือถุงพลาสติกหรือภาชนะอื่นๆ แล้วปลูกไม้ดอกไม้ประดับหรือพืชผักได้ตามต้องการ และควรมีการคลุมหน้าดินด้วยเศษพืช เช่น ฟางข้าว หญ้าแห้ง และใบไม้ เป็นต้น (มุกดา, 2545)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณกุล (2554) ขยะอินทรีย์จากครัวเรือนเป็นขยะที่สามารถกำจัดได้ ณ แหล่งกำเนิดโดยการหมักถังหมักขนาดเล็กสำหรับครัวเรือนเป็นทางเลือกหนึ่งของการลดปริมาณขยะจากชุมชนถึงหมักเศษอาหารที่ออกแบบมีลักษณะเป็นถังแนวดิ่งสามารถรองรับปริมาณวัสดุหมักได้ครั้งละ 2000 กรัม ตัวถังหมักทำจากถังพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน ถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร ภายในติดตั้งใบกวน การป้อนวัสดุหมักป้อนทางด้านบนของถัง การทดลองทำการหมักขยะเศษอาหารโดยใช้ส่วนผสมของเศษอาหารต่อเศษใบไม้แห้งขนาด 0.03 - 0.28 เซนติเมตร ในอัตราส่วน 60 : 40 โดยน้ำหนัก และมีการใช้สารเร่ง พด.1 ความเข้มข้น 12% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผลการทดลองพบว่าที่ปริมาณวัสดุหมัก 2000 กรัม ระยะเวลาในการหมัก 24 วัน ค่าอัตราส่วน C/N ratio มีค่าเท่ากับ 20.7 เมื่อเทียบจากค่าเริ่มต้น 91.0 และคุณสมบัติโดยรวมของวัสดุหมักที่ได้เป็นไปตามมาตรฐาน

ไพฑรรัตน์ และคณะ (2549) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารครัวเรือนโดยวิธีการเติมอากาศแบบขิมนึ่งคอนเวกชันเปรียบเทียบกับวิธีการหมักแบบดั้งเดิม โดยใช้เศษอาหารเป็นวัสดุหมักและเศษใบไม้เป็นตัวเพิ่มค่าไนโตรเจน โดยศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเศษอาหารกับใบไม้ ศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ยและคุณภาพของปุ๋ยหมัก ได้แก่ อัตราการยุบตัว อุณหภูมิในกองปุ๋ย ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน ผลการทดลองพบว่า ในการเตรียมวัสดุหมักต้องใช้อัตราส่วนระหว่างเศษอาหารต่อเศษใบไม้เท่ากับ 4 : 1 โดยน้ำหนักเปียก จะได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 27 : 1 พบว่าการหมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบขิมนึ่ง- คอนเวกชัน จะใช้เวลาในการหมักเสร็จสมบูรณ์น้อยกว่าวิธีการหมักแบบดั้งเดิม คือ ใช้เวลาในการหมักเพียง 1 เดือน และผลที่ได้ยังไม่มีมีความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช สรุปได้ว่า การผลิตปุ๋ยหมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบขิมนึ่งคอนเวกชันสามารถ

เอกสารนี้ผลิตปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิม แต่การผลิตปุ๋ยหมักโดยวิธีขิมนึ่งคอนเวกชันสะดวกกว่า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และรวดเร็วกว่าวิธีดั้งเดิม นั่นคือไม่ต้องกลับกองปุ๋ยลดความถี่ในการรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นและปุ๋ยเสร็จสมบูรณ์ได้เร็วกว่า นอกจากนี้ ยังเกิดกลิ่นเหม็นในขณะหมักน้อยกว่าด้วย

อนุวัฒน์ (2546) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษอาหารจากครัวเรือนมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก โดยใช้เทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย (Thermophilic bacteria) และศึกษาผลของกวนและการเติมอากาศที่มีผลต่อการทำงานของเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรียโดยใช้ถังหมักขนาดเล็ก ในการทดลองนำเศษอาหารมาผสมกับใบไม้แห้งเพื่อปรับความชื้นให้มีค่า 50-65% มีค่า C/N ratio เท่ากับ 25-30 นำใส่ถังหมักขนาด 100 ลิตร โดยติดตั้งท่อสำหรับเติมอากาศไว้บริเวณด้านล่างของถัง ใส่วัสดุหมักครั้งถัดจากนั้นมีการเติมวัสดุหมักประมาณ 10 วัน ในระหว่างการหมักจะมีการกวนและการเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศในอัตราที่แตกต่างกันโดยมีรายละเอียดดังนี้ คือมีการกวนทุกวัน ทุก 3 วันและทุก 7 วัน โดยในแต่ละกลุ่มจะมีการเติมอากาศโดยวิธีธรรมชาติ การเติมอากาศทุก 2 ชั่วโมงเป็นเวลา 10 นาที และทุก 4 ชั่วโมง เป็นเวลา 10 นาที กลุ่มสุดท้ายไม่มีการกวนและเติมอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการกวนและการเติมอากาศมีผลต่อกระบวนการหมัก ในกลุ่มการทดลองที่มีการกวนทุกวันมีการได้ของปุ๋ยหมักเร็วที่สุดคือ 65 วัน รองลงมาคือกลุ่มที่มีการกวนทุก 3 วัน กวนทุก 7 วัน และไม่มีการกวน โดยมีระยะเวลาการได้ที่ 75, 75 และ 80 วันตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนที่เป็นอินทรีย์มีแนวโน้มการลดลงตลอดระยะเวลาในการหมัก โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์มีมากขึ้นเมื่อความถี่ในการกวนมีมากขึ้นซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้ 26.31%, 24.69%, 25.72%, 21.03%, 20.08%, 21.05%, 18.72%, 15.78%, 20.54% และ 13.80% ในถังหมักที่ 1 ถึง 10 ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการหมักเกิดจากมวลของปุ๋ยหมักลดลงจึงทำให้เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งของปุ๋ยเพิ่มมากขึ้นและอาจเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการใช้ในเตรทในการเจริญเติบโต ปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพดี มีธาตุอาหารที่พืชต้องการสูง และมีปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อที่เป็นอันตรายต่ำและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ United State Environmental Protection Agency (USEPA)

พูนศักดิ์ (2541) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักด้วยเศษอาหารจากตลาดและเศษอาหารจากร้านอาหารผสมกับวัสดุเหลือใช้การเกษตรซึ่งได้แก่ เปลือกข้าว ชี้เลื่อย ใบไม้แห้ง และเปลือกถั่วลิสง โดยใช้เทอร์โมฟิลิกแบคทีเรียชนิด *Bacillus Bacteria* ผสมกันในถังหมักที่มีปริมาตร 300 ลิตร อัตราส่วนการผสมได้ถูกควบคุมด้วยความชื้น 55-65% วัตถุดิบถูกผสมและให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 75°C ในเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปหมักในกล่องหมักประมาณ 1 เดือน แล้วนำไปหมักต่อในกองบ่มจนกระทั่งได้ที่เป็นเวลา 2 เดือน ในระหว่างการหมักอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนทำการวัดทุกวัน ส่วนค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง คาร์บอน ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนเตรท และ CEC ทำการวิเคราะห์ทุกๆ 5-7 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักได้ทำการวิเคราะห์การลดลงของมวล การลดลงของขนาด ค่าการนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และเชื้อโรคที่เป็นอันตราย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทำปุ๋ยหมักด้วยอาหารและวัสดุเหลือใช้การเกษตรด้วยวิธีดังกล่าวสามารถทำปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี โดยที่ในระหว่างการหมักในกล่อง สามารถรักษาอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิกได้เป็นเวลานาน และมี

ปริมาณออกซิเจนอยู่ในช่วง 3.5-16.3% ซึ่งแสดงถึงสภาพการหมักเป็นแบบมีอากาศ ขณะทำการทดลองไม่พบกลิ่นเน่า ในช่วงการหมักในกล่องความชื้นได้ลดลงจาก 51-64% เหลือ 22-51% ส่วนในระหว่างการบ่มปริมาณความชื้นได้ควบคุมให้อยู่ระหว่าง 55% ด้วยการเติมน้ำขณะพลิกกลับกองปุ๋ย ผลการทดลองพบว่า ไบโม่แห้งสามารถรักษาความชื้นในกล่องได้ดีกว่าวัสดุเหลือใช้การเกษตรชนิดอื่นๆ C/N ratio เริ่มต้นมีค่า 25-70 และได้ลดลงจนกระทั่งมีค่า 18-53 เมื่อสิ้นสุดการหมัก CEC เริ่มต้นอยู่ในช่วง 15-51 meq/100g (น้ำหนักแห้ง) ในระหว่างการหมักได้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่า 43-95 meq/100g (น้ำหนักแห้ง) ขณะที่มาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีควรมี C/N ratio น้อยกว่า 20 และควรมี CEC มากกว่า 60 meq/100g (น้ำหนักแห้ง) ส่วนผสมของขี้เลื่อยและไบโม่แห้งมีการลดลงของขนาดอย่างเห็นได้ชัด ส่วนผสมของขี้เลื่อยและไบโม่แห้งมีการลดลงของขนาดอย่างเห็นได้ชัด ขณะที่เปลือกข้าวและเปลือกถั่วลิสงมีการลดลงเพียงเล็กน้อย การลดลงของมวลเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งมีค่าในช่วง 30-50% เมื่อสิ้นสุดการหมักไม่พบเชื้อโรคที่มีอันตรายซึ่งได้แก่ *Staphylococcus*, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., *Cholera* sp. และ *Streptococcus* sp. นอกจากพบไข่พยาธิ *Strongyloides stercoralis* การทำปุ๋ยหมักที่ใช้ถังหมุนมีประสิทธิภาพดีกว่าไม่ใช้ถังหมุน เนื่องจากถังหมุนทำให้เกิดการ ผสมรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและแบคทีเรียได้รับการกระตุ้นด้วยความร้อนภายในถังหมุนทำให้พร้อมที่จะทำการย่อยสลายได้ทันที วัสดุเหลือใช้การเกษตรทั้งหมดสามารถใช้เป็นวัสดุปรับความชื้นได้ โดยไบโม่แห้งและขี้เลื่อยมีการย่อยสลายดีกว่าเปลือกข้าวและเปลือกถั่วลิสง การผสมวัตถุดิบทั้งหมดเข้าด้วยกันสามารถปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี เศษอาหารจากร้านอาหารมีการย่อยสลายดีกว่าเศษอาหารจากตลาด นอกจากนี้ยังพบว่าฤดูกาลในการหมักไม่มีผลต่อการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่อง Optical Emission Spectrometry รุ่น PlasmQuant PQ 9000 ยี่ห้อ Analytik Jena ประเทศเยอรมนี
2. เครื่องยูวี – สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น BlueStar B ยี่ห้อ Labtech ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องย่อยไนโตรเจน รุ่น K-425 ยี่ห้อ Buchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
4. เครื่องกลั่นไนโตรเจน รุ่น K-350 ยี่ห้อ Buchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. เครื่องวัดพีเอช รุ่น Pocket pH Tester ยี่ห้อ Hanna ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า รุ่น C680 ยี่ห้อ Consort ประเทศเบลเยียม
7. เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Orbital Shaker ยี่ห้อ Gallenkamp ประเทศอังกฤษ
8. เครื่องชั่ง รุ่น ML204/01 ยี่ห้อ Memmert ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
9. ตู้อบ รุ่น UN 25 ยี่ห้อ Memmert ประเทศเยอรมนี
10. เครื่องให้ความร้อน Hot plate รุ่น 810T0210 ยี่ห้อ Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
11. เทอร์โมมิเตอร์แบบแก้ว
12. กระดาษกรองใยแก้ว ยี่ห้อ Chmlab Group ประเทศสเปน
13. เครื่องแก้วต่างๆ
14. ถังพลาสติกขนาด 25 ลิตร สูง 45 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร
15. มอเตอร์เกียร์ 220 โวลต์ 15 วัตต์ รุ่นความเร็ว 7 รอบต่อนาที
16. เพลสแตนเลสตัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ขนาด 1 เมตร
17. ตลับลูกปืนพร้อมตัวยึดทรงกลมขนาด 20 มิลลิเมตร
18. ไทม์เมอร์ รุ่น TS-MT3 ยี่ห้อ Toshino ประเทศไทย
19. ตาชั่งไนลอน
20. ตลับเมตร
21. กรรไกร
22. ตะกร้าพลาสติก
23. ถุงซิปล
24. กาวยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25. สายวัดความยาว
26. ตะแกรงร่อน 20 Mesh
27. เมล็ดผักบุ้งจีน

3.1.2 สารเคมี

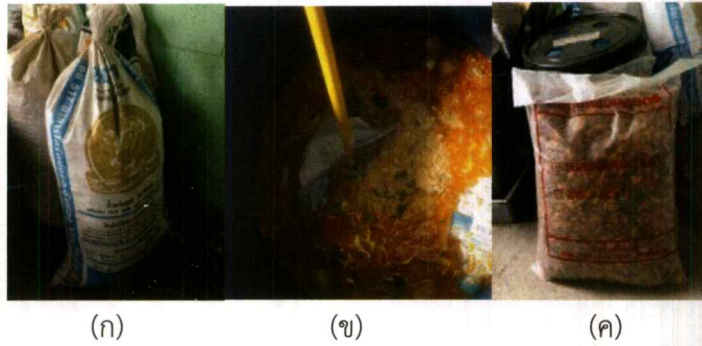
1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
2. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศสเปน
3. คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
4. ซีเรเนียม (Se) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Mersk KGaA ประเทศเยอรมนี
5. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
6. กรดบอริก (H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie ประเทศอินเดีย
7. กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
8. แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
9. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาทเรต ($\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศสเปน
10. กรดแอสคอร์บิก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_8$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศสเปน
11. แอมโมเนียมอะซิเตรต (NH_4OAc) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie ประเทศอินเดีย
12. กรดอโธฟอสฟอริก (H_3PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
13. สารเร่งจุลินทรีย์ซูเปอร์ พ.ด. 1 โดยกรมพัฒนาที่ดิน
14. น้ำกลั่น

3.1.3 วัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ย

วัสดุหมักเริ่มต้น (รูปที่ 3.1) ประกอบด้วย

1. ปุ๋ยขี้วัว จากจังหวัดสระบุรี
2. เศษอาหาร จากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. กาบมะพร้าวสับ ขนาด 2.5×1.5 เซนติเมตร จากจังหวัดราชบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3.1 วัสดุเริ่มต้นการทำปุ๋ย

(ก) ปุ๋ยขี้วัว (ข) เศษอาหาร (ค) กากมะพร้าวสับ

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.1 การทำถังหมักปุ๋ย ดังแสดงในรูปที่ 3.2

1. โครงเหล็กยึดมอเตอร์ เพล้า และใบพัด ประกอบด้วยโครงเหล็กสูง 90 เซนติเมตร กว้าง 60 เซนติเมตร ใบกวนมีความยาวด้านละ 15 เซนติเมตร ความกว้าง 2.60 เซนติเมตร ใบกวนเอียง 45 องศา
2. ถังพลาสติกขนาด 25 ลิตร สูง 45 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร
3. ติดตั้งไหมเมอร์ไว้กับโครงเหล็ก
4. ตั้งระยะห่างใบกวนชั้นแรกกับชั้นที่สองให้มีระยะห่าง 10 เซนติเมตร โดยเจาะเพลาสแตนเลส 3 มิลลิเมตรเพื่อให้ใบกวนยึดเกาะแน่น
5. ฝาถังในแต่ละมุมเจาะรู 4 ด้าน เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และเจาะรูตรงกลางเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร สำหรับให้เพลาสอดผ่านได้ ติดตาข่ายไนล่อนบริเวณรูที่เจาะทั้ง 4 รู
6. ความยาวใบกวนด้านละ 18 เซนติเมตร



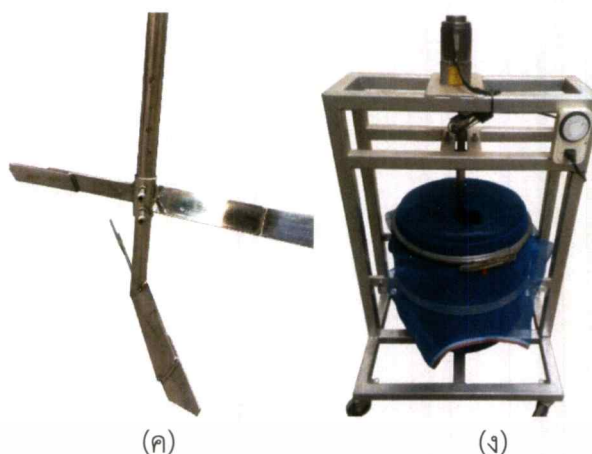
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 การเตรียมถังหมักปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ก) โครงเหล็กยึดอุปกรณ์ต่างๆ (ข) ถังพลาสติกขนาด 25 ลิตร
 (ค) ใบกวนสแตนเลส (ง) ใช้ตาข่ายไนล่อนปิดแทนผ้าถึง



รูปที่ 3.2 การเตรียมถังหมักปุ๋ย (ต่อ)

(ก) โครงเหล็กยึดอุปกรณ์ต่างๆ (ข) ถังพลาสติกขนาด 25 ลิตร

(ค) ใบกวนสแตนเลส (ง) ใช้ตาข่ายไนล่อนปิดแทนฝาถัง

3.2.2 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

1. นำวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักเริ่มต้น ได้แก่ เศษอาหารและปุ๋ยขี้วัวไปหาความชื้นโดยชั่งน้ำหนัก ก่อนจะนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำวัสดุหมักเริ่มต้นที่อบและบดละเอียดมาชั่งน้ำหนักแห้งเพื่อหาค่าความชื้น
2. นำวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักเริ่มต้น ที่ผ่านการอบแห้งแล้วไปหาปริมาณคาร์บอนและปริมาณไนโตรเจน โดยใช้วิธีดังแสดงในตารางที่ 3.1
3. นำปริมาณคาร์บอนและปริมาณไนโตรเจนที่ได้ มาคำนวณหาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุหมักเริ่มต้น

3.2.3 การหมักปุ๋ยหมักโดยใช้ถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศ

1. นำวัสดุเริ่มต้นมาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนที่คำนวณได้ ให้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เริ่มต้นที่ 25 : 1
2. แปรค่าปริมาณวัสดุในการทำปุ๋ยหมักเริ่มต้น โดยเติมวัสดุหมักในถังโดยมีส่วนผสมระหว่างปุ๋ยขี้วัว เศษอาหาร และกากบะปั่วรส ในอัตราส่วน 7 : 4 : 1 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียก โดยมีการเติมสารเร่งซูเปอร์ พด.1 ปริมาณ 1.1 กรัม ในน้ำ 220 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักปุ๋ย 11 กิโลกรัม คิดเป็น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (สัดส่วนตามวิธีการใช้ พด.1)
3. ปั่นกวนด้วยใบกวนขนาด 15 เซนติเมตร 7 รอบต่อนาที ปั่นเป็นเวลา 15 นาทีต่อชั่วโมง
4. วิเคราะห์คุณสมบัติเริ่มต้นของวัสดุหมักและระหว่างการทำปุ๋ย โดยใช้วิธีและความถี่

เอกสารนี้เป็นการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หลังจากทำการหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 7 วัน เก็บตัวอย่างปุ๋ยไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี โดยใช้วิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.2
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3 แต่ไม่มีการปั่นกววนเพื่อเติมอากาศ
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1.5 แต่เปลี่ยนใบกววนให้มีขนาด 18 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ย

คุณสมบัติ	พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
ทางกายภาพ	อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์แบบแก้ว	ทุกวัน
	อัตราการยุบตัว	สายวัดความยาว	ทุกวัน
	ลักษณะของปุ๋ย	ใช้มือสัมผัสและสังเกตด้วยตาเปล่า	ทุกวัน
	สี	สังเกตด้วยตาเปล่า	ทุกวัน
	กลิ่น	ดมกลิ่น	ทุกวัน
	ความชื้น	อบที่ 70 °C 12 ชั่วโมง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)	วันแรกของการหมัก
ทางเคมี	ความเป็นกรดต่าง	pH Meter (ปริมาณปุ๋ยต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1 : 5) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)	ทุกวัน
	ค่าการนำไฟฟ้า	EC Meter (ปริมาณปุ๋ยต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1 : 5) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)	ทุกวัน
	Total Nitrogen	Total Kjeldahl Nitrogen (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)	วันแรกและวันสุดท้ายของการหมัก
	Total Organic Carbon	Total Organic Carbon :TOC (US.EPA, 2002)	วันแรกและวันสุดท้ายของการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยหมักหลังจากหมักปุ๋ยเสร็จสมบูรณ์

คุณสมบัติ	พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
ทางกายภาพ	ลักษณะของปุ๋ยเมื่อผ่านการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์	สังเกตด้วยตาเปล่า	ทุกวัน
	สี	สังเกตด้วยตาเปล่า	ทุกวัน
	กลิ่น	ดมกลิ่น	ทุกวัน
	ความยุ่ยของปุ๋ย	สัมผัส	ทุกวัน
	อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์แบบแทงแก้ว	ทุกวัน
	อัตราการยุบตัว	สายวัดความยาว	ทุกวัน
ทางเคมี	ความเป็นกรด - ด่าง	pH Meter (ปริมาณปุ๋ยต่อน้ำในอัตราส่วน 1 : 5) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)	ทุกวัน
	ค่าการนำไฟฟ้า	EC Meter (ปริมาณปุ๋ยต่อน้ำในอัตราส่วน 1 : 5) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)	ทุกวัน
	ความชื้น	อบที่ 70 °C 12 ชั่วโมง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)	วันสุดท้ายของการหมัก
	คาร์บอน	Total Organic Carbon ; TOC (US.EPA, 2002)	วันสุดท้ายของการหมัก
	ไนโตรเจน	Total Kjeldahl Nitrogen (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)	วันสุดท้ายของการหมัก
	ฟอสฟอรัส	UV Spectrophotometer (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)	วันสุดท้ายของการหมัก
	โพแทสเซียม	Inductively coupled plasma (US.EPA, 1996)	วันสุดท้ายของการหมัก
	ปริมาณโลหะหนัก Arsenic (As) Cadmium (Cd) Chromium (Cr) Copper (Cu) Lead (Pb)	Inductively coupled plasma (US.EPA, 1996)	วันสุดท้ายของการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการทำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่าง การหมักปุ๋ย

นำปุ๋ยหมักที่หมักเสร็จสมบูรณ์ที่ได้จากข้อ 3.2.3 มาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่ม
ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนี้

3.2.4.1 ศึกษาการเติมสารเร่งซูปเปอร์ พด.1

1. ตักปุ๋ยหมักออกจากถังหมัก 1 กิโลกรัม แล้วเติมเศษอาหาร 1 กิโลกรัมลงในถังหมักปุ๋ย
เติมสารเร่งซูปเปอร์ พด.1 ปริมาณ 0.1 กรัม ในน้ำ 20 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักเศษอาหาร 1 กิโลกรัม
2. ปั่นกวนถังหมักที่ความเร็ว 7 รอบต่อนาที ปั่นกวน 15 นาทีต่อชั่วโมงเป็นเวลา
24 ชั่วโมง
3. ทำการหมักเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างปุ๋ยไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกาย
และเคมี โดยใช้วิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.2
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3 จำนวน 3 ซ้ำ
5. ถังควบคุมทำเช่นเดียวกับข้อ 1-3 แต่ไม่เติมสารเร่งซูปเปอร์ พด.1

3.2.4.2 ศึกษาระยะเวลาในการเติมอากาศ

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.4.1 โดยแปรค่าระยะเวลาในการเติมอากาศ ดังนี้
 - ตั้งเวลาทำงานให้มีการปั่นกวน 45 นาทีแล้วหยุด 15 นาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
 - ตั้งเวลาทำงานให้มีการปั่นกวน 30 นาทีแล้วหยุด 30 นาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
 - ตั้งเวลาทำงานให้มีการปั่นกวน 15 นาทีแล้วหยุด 45 นาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง
2. เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี โดยใช้วิธีวิเคราะห์
ดังแสดงในตารางที่ 3.2

3.2.4.3 ศึกษาอัตราการเติมเศษอาหาร

1. ทำการตักปุ๋ยหมักออกจากถังหมัก 1 กิโลกรัม แล้วเติมเศษอาหาร 1 กิโลกรัมลงในถัง
หมักปุ๋ย เติมสารเร่งซูปเปอร์ พด.1 ปริมาณ 0.1 กรัม ในน้ำ 20 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักเศษอาหาร
1 กิโลกรัม
2. ปั่นกวนที่ความเร็ว 7 รอบต่อนาที ปั่นกวน 15 นาทีต่อชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุกๆ 1 ชั่วโมง
4. เมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างปุ๋ยไปวิเคราะห์คุณสมบัติทาง
กายภาพและเคมี โดยใช้วิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของ
อุณหภูมิทุกๆ 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารร่างของมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับเกษตรกรผู้ผลิตปุ๋ยหมัก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างปุ๋ยไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี โดยใช้วิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.2

7. ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 1-6 โดยแปรค่าปริมาณเศษอาหารที่เติม โดยทำการตักปุ๋ยหมักออก 2 กิโลกรัม แล้วเติมเศษอาหาร 2 กิโลกรัม เติมน้ำเร่งชุปเปอร์ พด. 1 ปริมาณ 0.2 กรัม ในน้ำ 40 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักเศษอาหาร 2 กิโลกรัม

3.2.5 ศึกษาดัชนีการงอกของเมล็ด

1. นำเมล็ดผักบุ้งจีนแช่ในน้ำสะอาด 24 ชั่วโมง เพื่อให้เมล็ดนิ่มและงอกง่ายขึ้น
2. นำเมล็ดผักบุ้งจีนที่แช่ในน้ำสะอาดมาห่อผ้าขาว 24 ชั่วโมง
3. นำปุ๋ยที่ได้จากการหมักหลังเติมเศษอาหาร 1 กิโลกรัมมาผสมกับดินในอัตราส่วน 1 : 1 และมีชุดควบคุมที่ใช้ดินเพียงอย่างเดียว
4. นำเมล็ดผักบุ้งจีนที่ห่อผ้าขาวแล้ว 26 เมล็ดนำไปปลูก ชุดหลุมลึก 1 เซนติเมตร ใส่เมล็ดลงไปแล้วกลบอีกที โดยแบ่งเป็นชุดทดลอง 13 เมล็ดและชุดควบคุม 13 เมล็ด
5. รดน้ำทุกวัน เป็นระยะเวลา 10 วัน บันทึกผลที่ได้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษาการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารในครัวเรือน โดยใช้ถังหมักที่มีใบกวนในการเติมอากาศ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

ผลการทดลองศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยขี้วัวจากจังหวัดสระบุรี และเศษอาหาร จากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) แสดงในตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก 1-1 ถึง ก 1-3, ภาคผนวก ก) เมื่อนำไปคำนวณหาสัดส่วนของวัสดุเริ่มต้นในการทำปุ๋ยหมัก โดยกำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 25 : 1 (ดูรายละเอียดการคำนวณในตาราง ข-1, ภาคผนวก ข) พบว่า ต้องใช้อัตราส่วนปุ๋ยขี้วัวและเศษอาหาร เท่ากับ 6.4 : 1 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาคำนวณโดยน้ำหนักเปียกพบว่าต้องใช้สัดส่วนปุ๋ยขี้วัวและเศษอาหาร 7 : 4 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

วัสดุ	ความชื้น (%)	คาร์บอน (%)	ไนโตรเจน (%)	C/N ratio
ปุ๋ยขี้วัว	11.29 ± 0.48	32.14 ± 0.22	1.10 ± 0.10	29.22
เศษอาหาร	73.84 ± 0.45	41.99 ± 4.44	2.87 ± 1.01	14.63

จึงใช้สัดส่วนปุ๋ยขี้วัวและเศษอาหาร เท่ากับ 7 : 4 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียก เป็นวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในการหมักปุ๋ย

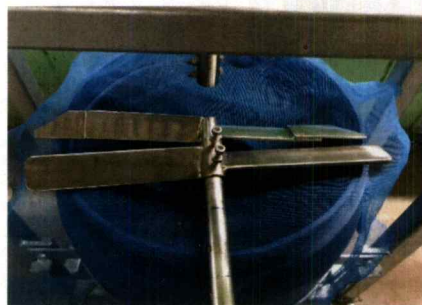
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของถังหมักปุ๋ย

จากการทดลองการทำถังหมักปุ๋ยโดยใบกวนมีความยาวจากแกนเพลาช่างละ 15 เซนติเมตร และใบกวนชั้นแรกห่างจากชั้นที่สองเป็นระยะ 10 เซนติเมตร มีการปิดฝาดังและทำการเจาะรูฝาดังซึ่งใช้ ตาข่ายไนล่อนปิดป้องกันแมลง จากผลการทดลองพบว่าภายในถังมีความชื้นสูง สังเกตจากไอน้ำที่ควบแน่นตกกลับลงมาเป็นหยดน้ำเกาะตามฝาและขอบถัง และเนื้อปุ๋ยถูกปั่นกวนเฉพาะบริเวณตรงกลางถัง จึงเหลือปุ๋ยบริเวณขอบถังข้างละประมาณ 4 เซนติเมตร ซึ่งบริเวณดังกล่าวพบราขาวขึ้นเล็กน้อย หลังจากผ่านไป 48 ชั่วโมง ปุ๋ยบริเวณขอบถังไม่ถูกปั่นกวนจึงเกิดการอัดแน่นและมีราขาว

เอกสารนี้เพิ่มจำนวนมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 ถังหมักแบบเติมอากาศ

(ก) ฝาปิดเจาะรู 4 รูที่มีตาข่ายปิดกันแมลง ใบกวนยาวข้างละ 15 เซนติเมตร

(ข) ถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศใช้ตาข่ายปิดกันแมลง ใบกวนยาวข้างละ 18 เซนติเมตร

เมื่อเปลี่ยนใบกวนให้มีความยาวข้างละ 18 เซนติเมตร คลุมปากถังด้วยตาข่ายไนล่อน เริ่มปั่นกวนปุ๋ยใหม่หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง สังเกตการทำงานของใบพัดพบว่ามีการปั่นกวนทั่วถึง บริเวณขอบถังไม่จับเป็นก้อน ไม่มีการควบแน่นกลับเป็นหยดน้ำ ถังหมักปุ๋ยมีการปั่นกวนได้ทั่วถึงและทำงานได้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ข) เมื่อเปรียบเทียบกับถังควบคุมที่ไม่มีใบกวน พบว่าถังควบคุมมีราขึ้นบริเวณตรงกลางถังเนื้อปุ๋ยมีสีน้ำตาลเข้มและมีกลิ่นเปรี้ยว ดังแสดงในตาราง 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก 2-1 ถึง ก 2-3, ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของปุ๋ยหมักเริ่มต้น

คุณสมบัติ	ถังควบคุม	ใบกวนขนาด 15 cm	ใบกวนขนาด 18 cm
ลักษณะของปุ๋ย	เนื้อปุ๋ยสีขาวแยกจากเศษอาหาร	ปุ๋ยสีขาวกับเศษอาหารคลุกเคล้ากันดี	ปุ๋ยสีขาวกับเศษอาหารคลุกเคล้ากันดี
สี	สีน้ำตาลเข้ม บางส่วนที่โดนเศษอาหารเป็นสีน้ำตาลปนดำ	สีน้ำตาลเข้มปนดำ บริเวณขอบถังเป็นสีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลเข้มปนดำ
กลิ่น	กลิ่นดิน	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ความชื้น (%)	42.15±2.03	45.63±0.29	36.99±0.28
อุณหภูมิ (°C)	32.0±0.0	32.7±0.3	32.8±0.3
ความเป็นกรด - ด่าง	9.18±0.04	7.87±0.19	7.86±0.11
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	2.02 ± 0.04	2.47 ± 0.08	2.45 ± 0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของปุ๋ยหมักเริ่มต้น (ต่อ)

คุณสมบัติ	ถึงควบคุม	ใบกวนขนาด 15 cm	ใบกวนขนาด 18 cm
คาร์บอน (%)	31.22±1.12	31.04±0.42	41.76±0.72
ไนโตรเจน (%)	1.27±0.20	1.17±0.11	1.80±0.19
C/N ratio	24.58	26.53	23.20

จากผลการทดลอง พบว่า การกวนเพื่อเพิ่มอากาศจะทำให้วัสดุหมักย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วกว่า และไม่มีกลิ่นเหม็น โดยการกวนจะต้องให้ผสมคลุกเคล้าอย่างทั่วถึงเพื่อป้องกันปัญหาจับตัวเป็นก้อนและเกิดเชื้อรา ส่วนการปิดฝาถังหมักจะทำให้ไอน้ำเกิดการควบแน่นปริมาณมาก ทำให้มีปริมาณความชื้นสูง ดังนั้น การใช้ตาข่ายไนล่อนคลุมแทนจะช่วยไม่ให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำและเป็นการป้องกันแมลง

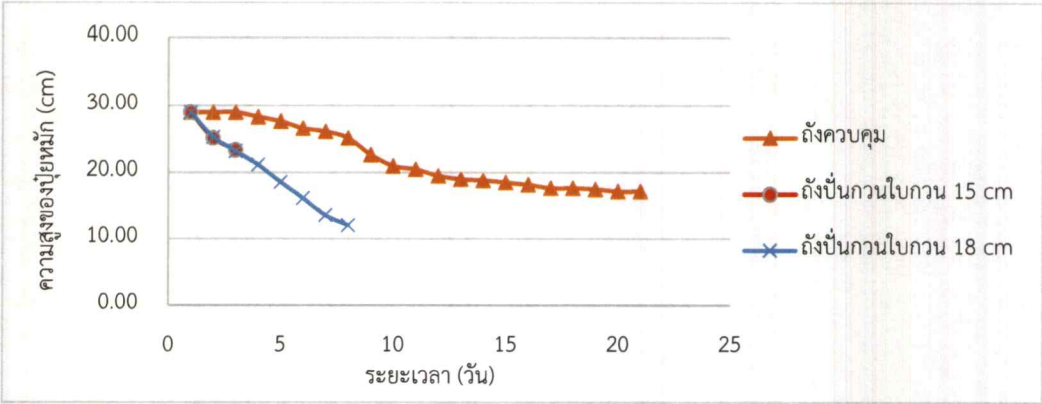
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพในสภาวะระหว่างการหมักปุ๋ยของถึงควบคุมและถึงหมักปุ๋ย พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 2 วัน ในถึงควบคุมเนื้อปุ๋ยขาดออกจากกัน มีราขึ้นที่บริเวณตรงกลางถึง เนื้อปุ๋ยมีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นเปรี้ยว ยิ่งระยะเวลาเพิ่มขึ้นจำนวนราขาวจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น และในถึงหมักปุ๋ยที่มีใบกวน 15 เซนติเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน บริเวณตรงกลางที่ถูกใบพัดปั่นกวนเนื้อปุ๋ยร่วนซุยอ่อนนุ่ม แต่บริเวณขอบถึงที่ไม่ถูกปั่นกวนปุ๋ยถูกอัดแน่นหนา 4 เซนติเมตรและมีราขึ้นเล็กน้อย มีกลิ่นดิน จนกระทั่งเวลาผ่านไป 3 วัน บริเวณขอบถึงปุ๋ยมีราเพิ่มขึ้น ส่วนถึงหมักปุ๋ยที่มีใบกวนขนาด 18 เซนติเมตร เนื้อปุ๋ยมีสีน้ำตาลเข้มปนดำ ลักษณะร่วนซุย ไม่จับกันเป็นก้อน เมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน มีกลิ่นเปรี้ยวเล็กน้อย เนื้อปุ๋ยนิ่ม ร่วนซุย มีสีน้ำตาลเข้มปนดำ จนกระทั่งผ่านไป 5 วัน เนื้อปุ๋ยมีสีน้ำตาลเข้ม ร่วนซุยและไม่จับกันเป็นก้อน ไม่มีกลิ่นเหม็น

4.2.2 อัตราการยุบตัว

จากรูป 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก 3-1 ถึง ก 3-3, ภาคผนวก ก) พบว่า ในถึงควบคุมมีอัตราการยุบตัวลงช้า เกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ช้า เนื่องจากปุ๋ยขี้วัวและเศษอาหารอัดแน่นจนเป็นจุดอับอากาศ (กนกวรรณและคณะ, 2556) ในถึงหมักปุ๋ยที่มีใบกวนขนาด 15 เซนติเมตรสามารถเก็บผลได้ 3 วัน เนื่องจากเกิดเชื้อราขึ้นที่ขอบถึงจากการไม่ถูกปั่นกวนเพราะใบกวนมีความยาวไม่เพียงพอ ในถึงหมักที่มีใบกวนขนาด 18 เซนติเมตร เกิดการยุบตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการเติมกากมะพร้าวเพื่อเพิ่มช่องอากาศให้ปุ๋ยหมักภายในถังโปร่งขึ้น ทำให้อากาศถ่ายเทได้สะดวกขึ้น และจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ดีและมีประสิทธิภาพ (สมศักดิ์, 2551)

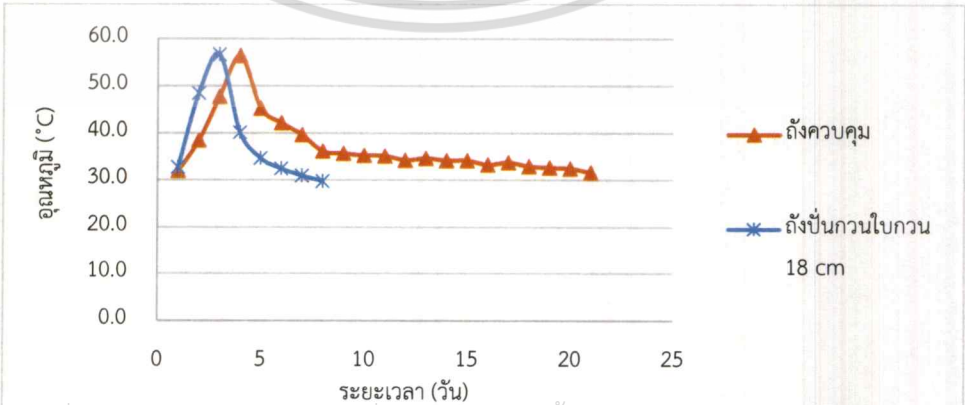
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการงอกตัวในระหว่างการหมักปุ๋ย

4.2.3 อุณหภูมิ

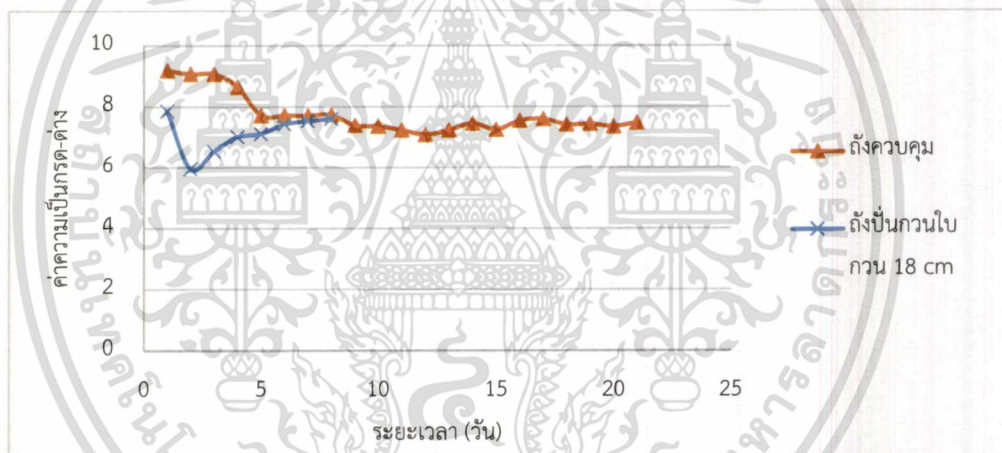
จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังหมักปุ๋ยทุกวัน ตามระยะเวลาที่ปุ๋ยชั้วและเศษอาหารกลายเป็นปุ๋ยอย่างสมบูรณ์ โดยทำการวัดที่จุดกึ่งกลางความสูงของปุ๋ยหมักในช่วงเวลาเดียวกันตลอดทั้งการทดลอง (12.30 น.) จากรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก 4-1 ถึง ก 4-3, ภาคผนวก ก) พบว่า ถึงควบคุมและถังที่มีใบกววนขนาด 18 เซนติเมตร ค่าของอุณหภูมิเริ่มต้นมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง (32°C) เมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 วัน อุณหภูมิของปุ๋ยภายในถังควบคุมและถังที่มีใบกววนขนาด 18 เซนติเมตร จะเริ่มสูงขึ้นจนถึง 56°C จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจนถึงอุณหภูมิห้องเช่นเดิม แต่ถังที่มีใบกววนขนาด 18 เซนติเมตร ค่าของอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีการเติมอากาศทำให้จุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วและมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงเร็วกว่าถึงควบคุมโดยใช้ระยะเวลาเพียง 7 วัน เมื่อสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายถูกย่อยหมด จุลินทรีย์จะทำงานช้าลงส่งผลให้อุณหภูมิค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งใกล้เคียงอุณหภูมิห้องและการปั่นกววนจะช่วยเพิ่มการระบายความร้อน (ธีระพงษ์, 2548)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการหมักปุ๋ย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ค่าความเป็นกรด - ด่าง

จากการทดลองได้ทำการสุ่มตัวอย่างปุ๋ยหมักจากจุดต่างๆ ภายในถังเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่ครอบคลุม จากรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก 5-1 ถึง ก 5-3, ภาคผนวก ก) เมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 วัน พบว่า ถึงควบคุมมีค่าความเป็นกรด - ด่างลดลง และลดลงอย่างต่อเนื่องจนต่ำสุดในวันที่ 11 ของการทดลอง จากนั้นจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งใกล้เคียงค่ามาตรฐาน ถึงที่มีใบกวนขนาด 18 เซนติเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงต่ำสุดในวันที่ 2 จากนั้นค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด - ด่างในวันแรก การลดลงของค่าความเป็นกรด - ด่างในช่วงแรกเกิดจากการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการปลดปล่อยกรดอินทรีย์จากเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายต่อไปจะเริ่มมีการเปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนีย ทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่างเพิ่มขึ้น (สมศักดิ์, 2551) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างในถังที่มีใบกวนขนาด 18 เซนติเมตร เมื่อย่อยสลายสมบูรณ์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมวิชาการเกษตรกำหนด คือ 5.5 - 8.5 (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

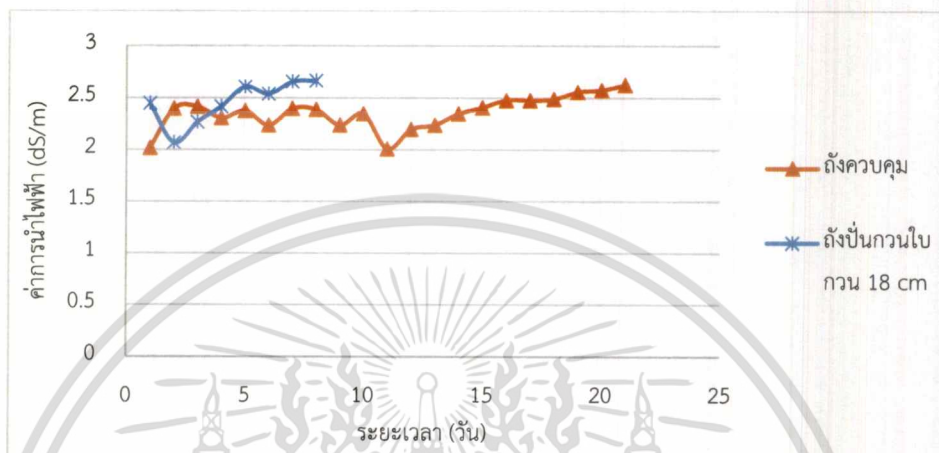


รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด - ด่างในระหว่างการหมักปุ๋ย

4.2.5 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่แสดงถึงความเค็มของปุ๋ยเป็นการวัดค่าความเข้มข้นของสารที่มีประจุละลายอยู่ในสารละลายที่ได้จากปุ๋ยหมัก จากรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก 6-1 ถึง ก 6-3, ภาคผนวก ก) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นจากวันที่เริ่มต้นของการหมัก ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ทำให้ธาตุอาหารที่เป็นส่วนประกอบในวัสดุหมักถูกปลดปล่อยออกมา เมื่อนำปุ๋ยไปละลายน้ำจึงทำให้ปุ๋ยอิมตัวด้วยน้ำ ได้สารละลายที่มีประจุเข้มข้น หลังจากสิ้นสุดการหมัก จะเห็นได้ว่า ค่าการนำไฟฟ้าของถังที่มีใบกวนขนาด 18 เซนติเมตร มีค่าสูงกว่าถังควบคุม เนื่องจาก มีการปั่นกวนเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส เต็มอากาศ และระบายความร้อน ทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จุลินทรีย์ทำงานได้ดี ธาตุอาหารจึงถูกปลดปล่อยออกมามาก ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ย ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมักตามประกาศกรมวิชาการเกษตรที่กำหนด คือ ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 6 dS/m (กรมวิชาการเกษตร, 2548) เพราะถ้าหากค่าการนำไฟฟ้าสูงเกินไปจะทำให้ปุ๋ยเป็นอันตรายต่อพืช โดยจะส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ และมีการสะสมไอออนที่เป็นพิษในพืชมากเกินไป ทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารในพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2539)



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในระหว่างหมักปุ๋ย

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของถึงหมักปุ๋ย พบว่าถึงควบคุมเนื้อปุ๋ยมีสีน้ำตาล จับตัวเป็นก้อน พบราขึ้นและเศษอาหารที่ยังย่อยไม่หมด ส่วนถึงปั่นกวานใช้เวลาในการหมักปุ๋ยจนเสร็จสมบูรณ์ได้เร็วกว่าถึงควบคุม โดยใช้เวลาเพียง 7 วัน ปุ๋ยที่ได้จากถึงปั่นกวานมีลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีเป็นไปตามค่ามาตรฐานปุ๋ยหมักที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด โดยค่าคาร์บอนจะลดลงซึ่งเกิดจากการย่อยสลายคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียจะได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยสู่บรรยากาศ ส่วนค่าไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการใช้ในเตรทในการเจริญเติบโต สร้างเซลล์ และเกิดการดึงไนโตรเจนจากสิ่งแวดล้อมในระหว่างกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (อนุวัฒน์, 2546) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก 1-1 ถึง ก 1-6, ภาคผนวก ก) ในการทดลองนี้จึงใช้ถึงหมักปุ๋ยที่มีใบกวานข้างละ 18 เซนติเมตร ปิดฝาถังด้วยตาข่ายไนล่อนในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อย่อยสลายสมบูรณ์

คุณสมบัติ	ถึงปั่นกวาน
ลักษณะของปุ๋ย	เนื้อปุ๋ยอ่อนนุ่ม ละเอียด
สี	สีน้ำตาล
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อย่อยสลายสมบูรณ์ (ต่อ)

คุณสมบัติ	ถึงป็นกวน
ความยุ่ยของปุ๋ย	เนื้อปุ๋ยขาดออกจากกัน ไม่จับเป็นก้อน
ความเป็นกรด-ด่าง	6.02±0.03
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	2.56±0.35
ความชื้น (%)	24.55±0.25
คาร์บอน (%)	43.60 ± 1.69
ไนโตรเจน (%)	8.70 ± 0.79
C/N ratio	5.01
ฟอสฟอรัส (%)	8.87 ± 1.46
โพแทสเซียม (%)	17.09 ± 0.59
สารหนู	0.0429 ± 0.03
โครเมียม	0.1310 ± 0.14
คอปเปอร์	0.2245 ± 0.19
แคดเมียม	Nd
ตะกั่ว	0.0055 ± 0.01

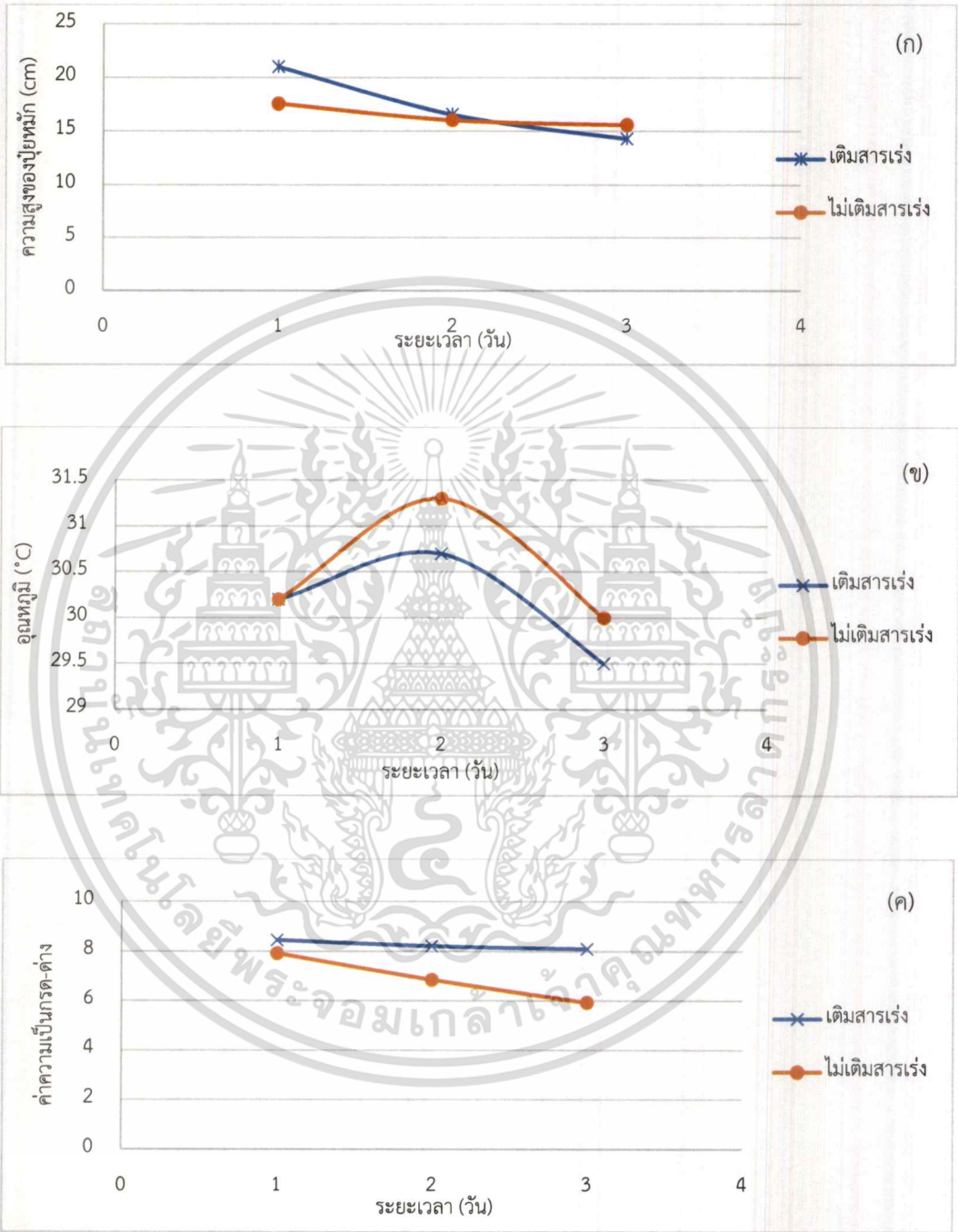
4.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย

4.3.1 ผลของการเติมสารเร่งชุปเปอร์ พด.1

จากการศึกษาผลของการเติมสารเร่งชุปเปอร์ พด.1 ต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในการหมักปุ๋ย โดยศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยหมัก ดังนี้ อัตราการยุบตัว อุณหภูมิของปุ๋ย ค่าความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ย ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชื้น จากรูปที่ 4.6 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค 1-1 ถึง ค 1-5, ภาคผนวก ค) พบว่า การเติมสารเร่งชุปเปอร์ พด.1 ทำให้ปุ๋ยหมักเกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าการไม่เติมสารเร่งชุปเปอร์ พด.1 สังเกตได้จาก อัตราการยุบตัวของปุ๋ยในถังที่มีการเติมสารเร่งชุปเปอร์ พด.1 จะมีอัตราการยุบตัวที่เร็วกว่าปุ๋ยในถังที่ไม่มีการเติมสารเร่งชุปเปอร์ พด.1 ในส่วนของลักษณะเนื้อปุ๋ย ค่าความชื้นและค่าความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยที่ไม่มีการเติมสารเร่งชุปเปอร์ พด.1 เนื้อปุ๋ยจะมีสีน้ำตาลเข้มปนดำ ปุ๋ยจับเป็นก้อนแข็ง มีกลิ่นเหม็น มีค่าความชื้นสูงและเป็นกรด เพราะเกิดการย่อยไม่สมบูรณ์ ค่าไนโตรเจนของปุ๋ยที่มีการเติมสารเร่งชุปเปอร์ พด.1 เพิ่มขึ้น อาจ

เอกสารเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการใช้ในเตาหมักในการเจริญเติบโต สร้างเซลล์ และเกิดการดึงน้ำไม่ทั่วกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

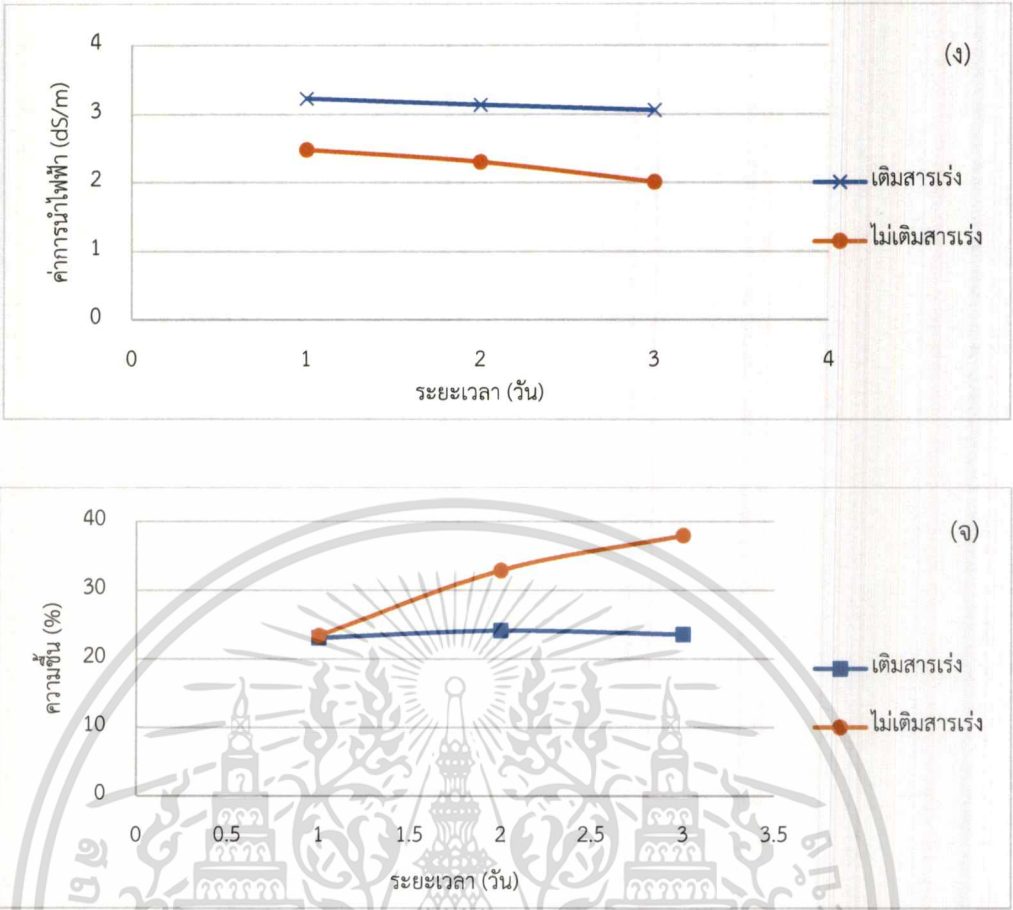
ไนโตรเจนจากสิ่งแวดล้อมในระหว่างกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (อนูวัตน์, 2546) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค 1-6 ถึง 1-10)



รูปที่ 4.6 สภาวะในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังหมักแบบมีไบโวกวนที่มีการเติมและไม่มีการเติมสารเร่งซูเปอร์ พต.1

(ก) อัตราการยุบตัว (ข) อุณหภูมิ (ค) ความเป็นกรด-ด่าง (ง) ค่าการนำไฟฟ้า (จ) ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สภาวะในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังหมักแบบมีไอบกวนที่มีการเติมและไม่มีการเติมสารเร่งซูเปอร์ พด.1 (ต่อ)

(ก) อัตราการยุบตัว (ข) อุณหภูมิ (ค) ความเป็นกรด-ด่าง (ง) ค่าการนำไฟฟ้า (จ) ความชื้น

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ทำการเติมสารเร่งและไม่เติมสารเร่งซูเปอร์ พด.1

คุณสมบัติ	ปุ๋ยที่มีการเติมสารเร่งซูเปอร์ พด. 1
ลักษณะของปุ๋ยเมื่อผ่านการย่อย	เนื้อปุ๋ยร่วนซุย อ่อนนุ่ม
สี	สีน้ำตาล
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ความยุ่ยของปุ๋ย	ปุ๋ยไม่จับเป็นก้อน
คาร์บอน	42.35 ± 1.00
ไนโตรเจน	5.82 ± 0.18
C/N ratio	7.28
ฟอสฟอรัส	10.75 ± 0.63
โพแทสเซียม	13.38 ± 1.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งที่โพแทสเซียมลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ทำการเติมสารเร่งและไม่เติมสารเร่งซูเปอร์ พด.1 (ต่อ)

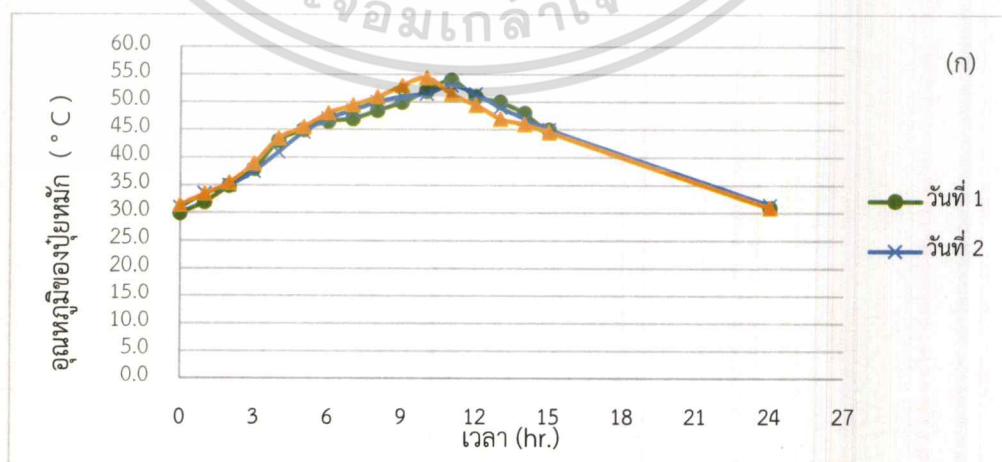
คุณสมบัติ	ปุ๋ยที่มีการเติมสารเร่งซูเปอร์ พด. 1
สารหนู	0.0045 ± 0.01
โครเมียม	0.0973 ± 0.10
คอปเปอร์	0.2801 ± 0.05
แคดเมียม	nd
ตะกั่ว	nd

4.3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการเติมอากาศ

จากผลการศึกษาระยะเวลาในการเติมอากาศโดยการปั่นกววน 45 นาทีต่อชั่วโมง 30 นาทีต่อชั่วโมง และ 15 นาทีต่อชั่วโมง พบว่าเนื้อปุ๋ยที่ได้จากการปั่นกววนเวลาต่างกันมีลักษณะที่คล้ายกัน คือ มีลักษณะร่วนซุย เนื้อปุ๋ยมีความอ่อนนุ่ม ขาดได้ง่าย ไม่แข็งกระด้าง

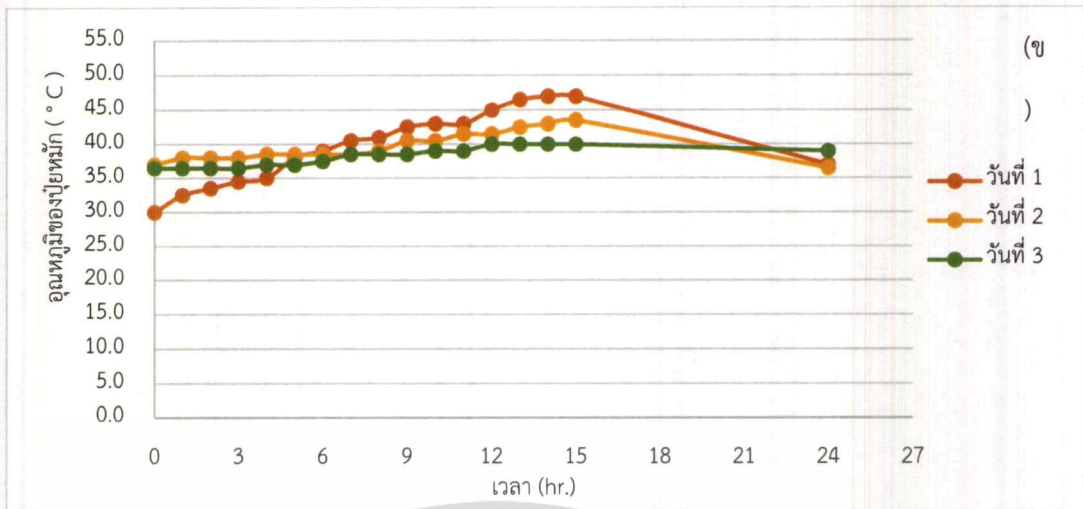
4.3.3 ผลการศึกษาอัตราการเพิ่มเศษอาหาร

การศึกษาอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก โดยทำการตักปุ๋ยออกวันละ 1 กิโลกรัมแล้วเติมเศษอาหารวันละ 1 กิโลกรัม ทำการวัดอุณหภูมิทุกชั่วโมงได้ผลการทดลองดังแสดงในรูป 4.7(ก) (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค 2-1, ภาคผนวก ค) พบว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งสูงสุดในช่วง ชั่วโมงที่ 9 - 10 ของการวัดแล้วจึงค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งผ่านไป 24 ชั่วโมง อุณหภูมิของปุ๋ยหมักจึง ลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง สำหรับผลการทดลองตักปุ๋ยออกวันละ 2 กิโลกรัมแล้วเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม พบว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างช้า ๆ ดังแสดงในรูป 4.7(ข) (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค 2-2, ภาคผนวก ค)



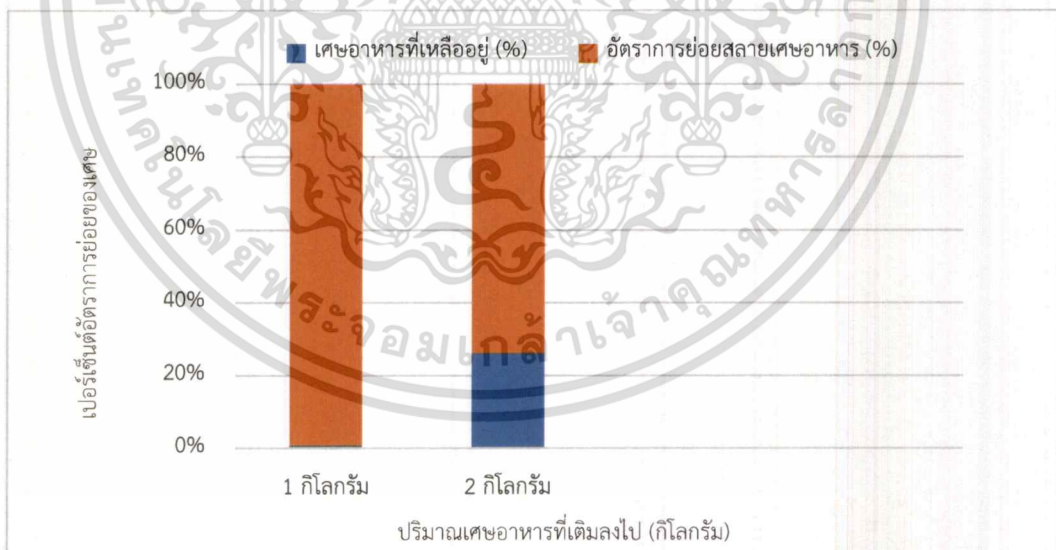
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก

(ก) เติมน้ำ 1 กิโลกรัม (ข) เติมน้ำ 2 กิโลกรัม



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปฏิกิริยา (ต่อ)
(ก) เติมน้ำอาหาร 1 กิโลกรัม (ข) เติมน้ำอาหาร 2 กิโลกรัม

การศึกษาอัตราการย่อยสลายของเศษอาหาร จากรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อตักปุ๋ยออกวันละ 1 กิโลกรัมแล้วเติมน้ำอาหารวันละ 1 กิโลกรัม จะมีอัตราการย่อยที่สูงกว่าการตักปุ๋ยออกวันละ 2 กิโลกรัมแล้วเติมน้ำอาหารวันละ 2 กิโลกรัม เนื่องจากการเติมน้ำอาหารวันละ 2 กิโลกรัมมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้ยังเหลือเศษอาหารที่ยังไม่ย่อยสลาย



รูปที่ 4.8 อัตราการย่อยของเศษอาหารเมื่อเติม 1 กิโลกรัมและ 2 กิโลกรัม

จากการทดลองศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และอัตราการยุบตัวของปุ๋ย โดยตักปุ๋ยออกวันละ 1 กิโลกรัมแล้วเติมน้ำอาหารวันละ 1 กิโลกรัม และการตักปุ๋ยออกวันละ 2 กิโลกรัมแล้วเติมน้ำอาหารวันละ 2 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค 2-1 ถึง ค 2-7, ภาคผนวก ค) พบว่าการเติมน้ำอาหารวันละ 2 กิโลกรัม มีอัตราการยุบตัวของปุ๋ยน้อยซึ่งเกิด

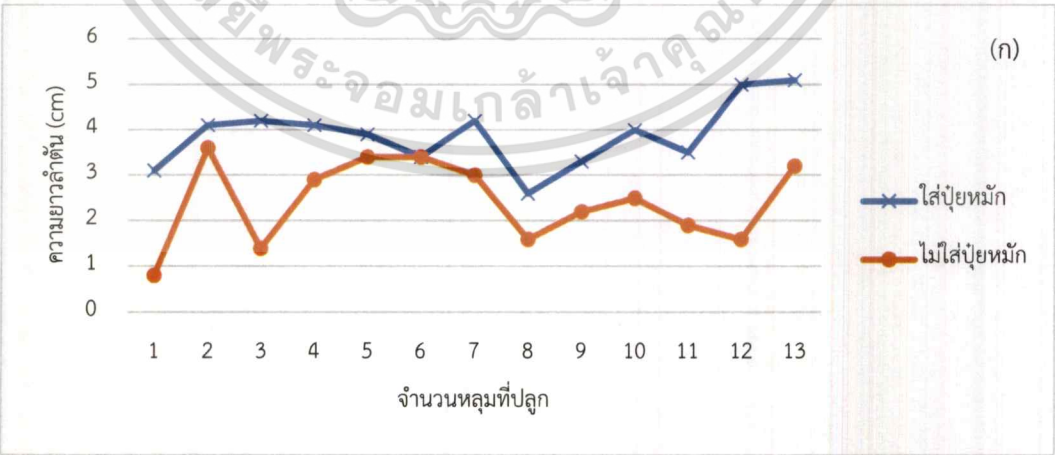
จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ช้า และการย่อยสลายยังไม่สมบูรณ์ทำให้ปุ๋ยหมักก็มีความเป็นกรด ค่าการนำไฟฟ้าลดน้อยลง เพราะเกิดการย่อยสลายน้อยทำให้ธาตุอาหารที่ปลดปล่อยออกมามีน้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหาร 1 กิโลกรัมและ 2 กิโลกรัม

คุณสมบัติ	1 กิโลกรัม			2 กิโลกรัม		
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	8.46	8.22	8.10	7.35	6.57	5.88
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	3.23	3.14	3.06	2.45	2.27	2.01
อัตราการยุบตัว (cm)	21.00	16.55	14.28	15.00	14.03	14.00

4.4 ผลการศึกษาดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีน

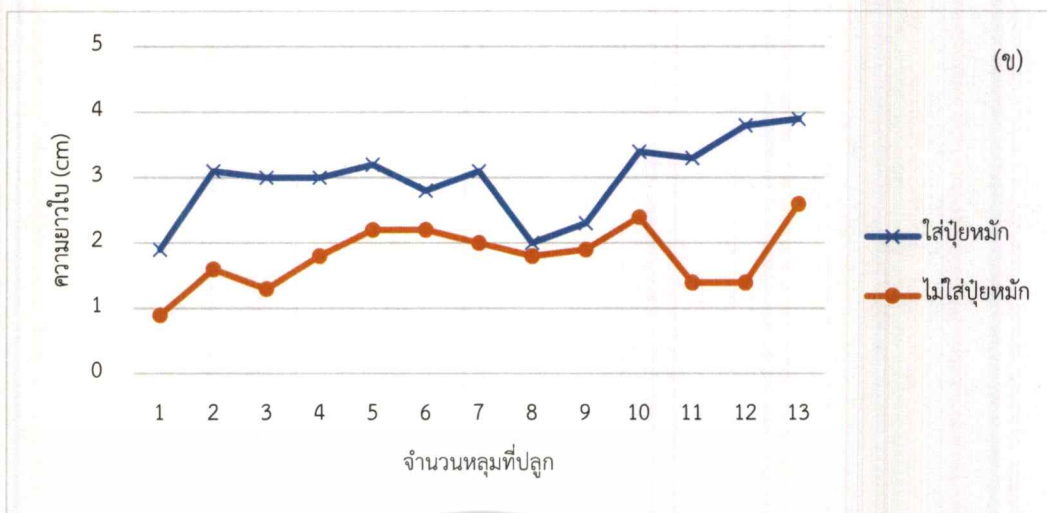
จากการศึกษาดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีน พบว่าผักบุ้งจีนที่ปลูกในปุ๋ยที่ได้จากถังบ่อกวนและดินในอัตราส่วน 1 : 1 และผักบุ้งจีนที่ปลูกในดินเพียงอย่างเดียว มีค่าดัชนีการงอก 2.36 ± 0.80 และ 1.27 ± 0.88 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค 3-1 ถึง ค 3-2, ภาคผนวก ค) และเมื่อเพาะผักบุ้งจีนเป็นระยะเวลา 10 วัน เพื่อวัดความยาวลำต้น และความยาวใบ ดังรูป 4.9(ก) (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค 3-3 ถึง ค 3-4, ภาคผนวก ค) และรูป 4.9(ข) (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค 3-5 ถึง ค 3-6, ภาคผนวก ค) ตามลำดับ พบว่าผักบุ้งจีนที่ปลูกในปุ๋ยที่ได้จากถังบ่อกวนและดินในอัตราส่วนมีดัชนีการงอกของเมล็ด ความยาวลำต้นและความยาวใบเฉลี่ยสูง เนื่องจากปุ๋ยหมักที่ได้จากถังบ่อกวนเป็นตัวเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชและไม่เป็นพิษต่อพืช จึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าหลุมที่ใช้ดินเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.9 การเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งจีน

(ก) ความยาวของลำต้น (ข) ความยาวของใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งจีน (ต่อ)

(ก) ความยาวของลำต้น (ข) ความยาวของใบ

จากการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการหมักปุ๋ยโดยใช้ระยะเวลาในการปั่นกววน 15 นาทีต่อชั่วโมง กำลังมอเตอร์ 15 วัตต์ ใช้อัตราค่าไฟฟ้า 3.75 บาทต่อหน่วย (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2561) พบว่าการหมักปุ๋ยนี้จะต้องใช้ค่าไฟ 10 บาทต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยหมักจากเศษอาหารครัวเรือน พบว่า ถังหมัก ปุ๋ยขนาด 25 ลิตร สูง 45 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ความยาวใบกวนขนาด 18 เซนติเมตร ใบกวนห่างจากขอบถัง 2 เซนติเมตร สามารถปั่นกวนปุ๋ยภายในได้ทั่วถึงและทำงานได้ดี การคลุมตาข่ายในลอนช่วยระบายความชื้นไม่ให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ ระบายความร้อนภายใน ถังและป้องกันแมลง เมื่อทำการทดลองพบว่า การหมักโดยการเติมอากาศโดยถังปั่นกวน และการเติม สารเร่งซูเปอร์ พด.1 สามารถลดระยะเวลาในการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารได้ใน 7 วัน เปรียบเทียบกับ ถังควบคุมที่ใช้ระยะเวลานานกว่า 20 วัน ปุ๋ยหมักจากถังปั่นกวนมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 5.01 : 1 ซึ่งเป็นไปตามค่ามาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดที่ไม่เกิน 20 : 1 ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ คือ ความเป็นกรด-ด่าง, ค่าการนำไฟฟ้า, ความชื้น, ปริมาณคาร์บอน, ปริมาณ ไนโตรเจน, ปริมาณฟอสฟอรัส, ปริมาณโพแทสเซียม และปริมาณโลหะหนักของปุ๋ยหมักในถังปั่นกวน มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด อัตราการปั่นกวนที่เหมาะสม คือ 15 นาทีต่อ ชั่วโมง โดยเสียค่าไฟต่อเดือน 10 บาท ถังหมักปุ๋ยนี้เติมเศษอาหารวันละ 1 กิโลกรัม ต้องมีการเติมสาร เร่งซูเปอร์ พด. 1 ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักได้ภายใน 1 วัน สำหรับการทดลองปลูกพืชโดยใช้ปุ๋ยหมักที่ได้นั้น พบว่า ผักบุ้งจีนที่ปลูกในปุ๋ยที่มีการใช้ดินและปุ๋ยจาก ถังปั่นกวนในอัตราส่วน 1 : 1 มีความยาวลำต้นและความยาวใบเฉลี่ยสูงกว่าหลุมที่ใช้ดิน 100% จึง สามารถสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากถังปั่นกวนไม่เป็นพืชต่อพืชซึ่งเป็นตัวเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ ดินและเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ไม่ควรใส่เศษอาหารที่ย่อยสลายยาก เช่น กระดุก
2. งานวิจัยในอนาคตควรจะแปรค่าความเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวนปุ๋ยหมัก
3. วิเคราะห์ไขมันและเซลลูโลสในปุ๋ยหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ สิมประไพ, กนกวรรณ หงส์คำและพัชจิรา คดีพิศาล. 2556. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารเปลือกผลไม้ และใบไม้แห้ง โดยใช้จุลินทรีย์สำหรับปุ๋ยหมัก. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2556 กรมควบคุมมลพิษ. 2537. ถังหมักขยะอินทรีย์.
[Online]. Available : <http://www.pcd.go.th> (สืบค้นวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2561)
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. องค์ประกอบของขยะชุมชนจากเทศบาลทั่วไป.
[Online]. Available : <http://www.pcd.go.th> (สืบค้นวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2561)
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. ความรู้ด้าน 3R.
[Online]. Available : <http://www.pcd.go.th> (สืบค้นวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2561)
- กรมควบคุมมลพิษ. 2560. รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ.2560.
[Online]. Available : <http://www.pcd.go.th> (สืบค้นวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2561)
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. สารเร่งจุลินทรีย์ประเภท พด.1, พด.2, พด.3 สำหรับเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตการเกษตร.
[Online]. Available : <http://www.ddd.go.th> (สืบค้นวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2561)
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์.
[Online]. Available : <http://www.ddd.go.th> (สืบค้นวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2561)
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักงานวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.
- กรมวิชาการเกษตร. 2548. คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก.
[Online]. Available : <http://www.aglib.doa.go.th> (สืบค้นวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2561)
- ชลิต ชงประยูร. 2543. ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก.
[Online]. Available : <https://www.baanjommyut.com> (สืบค้นวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2561)
- ธเรศ ศรีสถิตย์. 2553. วิศวกรรมการจัดการมูลฝอยชุมชน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ธีระพงษ์ สว่างปัญญางุล. 2548. คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกอง ระบบเติมอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นันทวัน ฤทธิเดช. 2556. “ข้อควรพิจารณาก่อนทำปุ๋ยหมัก.” วารสารวิทยาศาสตร์. มหาชัยขอนแก่น.

หน้า 308

ไพฑูริย์ ทูเรียน, วรณนา ชัยงามและวันทนี บัญแจ้ง. 2549. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร

ครัวเรือน โดยวิธีการเติมอากาศแบบขิมนึ่งคอนแวนชัน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2549

พิทยากร ลิ้มทอง และเสียงแจ้ว พิริพจน์. 2540. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายและ

ประโยชน์ บางประการในกองปุ๋ยหมัก. ในกลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือใช้. คู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ

เรื่อง การปรับปรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ : กรุงเทพฯ

พระราชบัญญัติการสาธารณสุข. 2535. ความหมายของมูลฝอย. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ :

โรงพิมพ์ ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2535. กฎ ประกาศและระเบียบที่

เกี่ยวข้องด้านการควบคุมมลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์

ทหารผ่านศึก.

พูนศักดิ์ จันทน์จำปี. 2541. การหมักปุ๋ยจากเศษอาหารและวัสดุเหลือใช้การเกษตรแบบ

เทอร์โมฟิลิกโดยใช้ถังหมุน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ.2541

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. ปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ : บ้านและสวน

(สืบค้นวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2561)

ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์นิโรจน์, ขวลิศ ธงประยูร. 2554. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.

พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณกุล บำรุงสาลี. 2554. ถังหมักขยะเศษอาหารจากครัวเรือน. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สมศักดิ์ จิรัตน์. 2551. การผลิตปุ๋ยหมักเพื่อใช้ในการปรับปรุงดินและรักษาสีสิ่งแวดล้อม.

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เสียงแจ้ว พิริพจน์และนวลจันทร์ ภาสตา. 2537. ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายใน

กองปุ๋ยหมัก. คู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ เรื่อง การปรับปรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

กรมพัฒนาที่ดิน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

อนุวัฒน์ เฟื่องจันทร์. 2546. ผลของการกวนและเติมอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากขยะใน
ครัวเรือนโดยใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ.2546

Dr. Robert Winn. 2013. **Organic Resource**. Ohio University.
(สืบค้นวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2561)

John Wiley & Sons. 1996. **Organic Waste Recycling**. Second Editing. Bookcraft Ltd.
(สืบค้นวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2561)

United State Environmental Protection Agency. 2002. **Methods for the
Determination of Total Organic Carbon (TOC) in soils and sediments**.

United State Environmental Protection Agency. 1996. **Test Methods for Evaluating
Solid Waste Physical/Chemical Methods, SW-846 Method 3050 B**.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำปุยหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

ตารางที่ ก 1-1 ความชื้นของวัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

วัสดุ	น้ำหนักถ้วย (g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถ้วย + ตัวอย่างหลังอบ (g)	ความชื้น (%)	ความชื้นเฉลี่ย (%)	S.D.
ปุ๋ยคอก	ครั้งที่ 1	36.6385	2.0010	38.4072	11.61	11.29	0.48418
	ครั้งที่ 2	32.9272	2.0019	34.7143	10.73		
	ครั้งที่ 3	34.5163	2.0015	36.2872	11.52		
เศษอาหาร	ครั้งที่ 1	69.4570	62.2674	85.6976	73.92	73.84	0.4553
	ครั้งที่ 2	70.1203	51.8826	83.9450	73.35		
	ครั้งที่ 3	70.5819	54.4034	84.5933	74.25		

ตารางที่ ก 1-2 ปริมาณคาร์บอนของวัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

วัสดุ	ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)		ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย (%)	S.D.
ปุ๋ยคอก	ครั้งที่ 1	32.04	0.05105	31.9890	32.1444	0.2197
	ครั้งที่ 2	32.35	0.05030	32.2997		
เศษอาหาร	ครั้งที่ 1	37.96	0.0000	37.9600	41.9920	4.44434
	ครั้งที่ 2	38.43	0.00777	38.4222		
	ครั้งที่ 3	40.57	0.0000	40.5700		
	ครั้งที่ 4	40.68	0.0000	40.6800		
	ครั้งที่ 5	44.65	0.0000	44.6500		
	ครั้งที่ 6	49.67	0.0000	49.6700		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 1-3 ปริมาณไนโตรเจนของวัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

วัสดุที่ใช้	น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ปริมาณกรด ซัลฟิวริกที่ ใช้ (ml)	ปริมาณ ไนโตรเจน (%)	ปริมาณ ไนโตรเจน เฉลี่ย (%)	S.D.
ปุ๋ยคอก	ครั้งที่ 1	0.8006	3.65	1.03	1.10	0.10214
	ครั้งที่ 2	0.8006	3.75	1.06		
	ครั้งที่ 3	0.8010	4.30	1.22		
เศษอาหาร	ครั้งที่ 1	0.5008	3.85	1.7453	2.87	1.01251
	ครั้งที่ 2	0.5006	3.90	1.7690		
	ครั้งที่ 3	0.5009	7.40	3.3752		
	ครั้งที่ 4	0.5002	9.70	4.4376		
	ครั้งที่ 5	0.5006	7.65	3.4921		
	ครั้งที่ 6	0.5003	6.45	2.9425		
	ครั้งที่ 7	0.5005	3.30	1.4936		
	ครั้งที่ 8	0.5008	7.15	3.7204		
	ครั้งที่ 9	0.5002	6.20	2.8281		

ก-2 ผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพของถังหมัก

ตารางที่ ก 2-1 ความชื้นเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก

ประเภทถัง	น้ำหนักถ้วย (g)		น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	น้ำหนัก ถ้วย + ตัวอย่าง หลังอบ (g)	ความชื้น (%)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	S.D.
ถังปั่นกวาน 15 เซนติเมตร	ครั้งที่ 1	39.0283	2.0047	40.1131	45.89	45.63	0.28746
	ครั้งที่ 2	33.0843	2.0066	34.1751	45.67		
	ครั้งที่ 3	36.0621	2.0014	37.1565	45.32		
ถังปั่นกวาน 18 เซนติเมตร	ครั้งที่ 1	26.9495	2.5010	28.5324	36.71	36.99	0.28006
	ครั้งที่ 2	33.0889	2.5081	34.6695	36.98		
	ครั้งที่ 3	32.0142	2.5031	33.8545	37.27		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 2-1 ความชื้นเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก (ต่อ)

ประเภทถัง	น้ำหนักถ้วย (g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถ้วย + ตัวอย่างหลังอบ (g)	ความชื้น (%)	ความชื้นเฉลี่ย (%)	S.D.
ถังควบคุม	ครั้งที่ 1	46.7000	2.0802	47.9496	39.93	42.15	2.03161
	ครั้งที่ 2	50.2334	2.0880	51.4043	43.92		
	ครั้งที่ 3	47.4321	2.0818	48.6273	42.59		

ตารางที่ ก 2-2 ปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก

ประเภทถัง	ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)		ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย (%)	S.D.
ถังปั่นกววน 15 เซนติเมตร	ครั้งที่ 1	31.34	0.00105	31.3390	31.0434	0.41811
	ครั้งที่ 2	30.75	0.00230	30.7477		
ถังปั่นกววน 18 เซนติเมตร	ครั้งที่ 1	41.36	0.1104	41.2496	41.76	0.71729
	ครั้งที่ 2	42.96	0.6960	42.2640		
ถังควบคุม	ครั้งที่ 1	30.43	0.00044	30.4296	31.2248	1.12451
	ครั้งที่ 2	32.02	0.00012	32.0199		

ตารางที่ ก 2-3 ปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก

ประเภทถัง	น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml)	ปริมาณไนโตรเจน (%)	ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย (%)	S.D.
ถังปั่นกววน 15 เซนติเมตร	ครั้งที่ 1	0.8012	4.05	1.15	1.17	0.10693
	ครั้งที่ 2	0.8009	3.80	1.08		
	ครั้งที่ 3	0.8018	4.55	1.29		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 2-3 ปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นของปุ๋ยหมัก (ต่อ)

ประเภทถัง	น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ปริมาณกรด ซัลฟิวริกที่ ใช้ (ml)	ปริมาณ ไนโตรเจน (%)	ปริมาณ ไนโตรเจน เฉลี่ย (%)	S.D.
ถังปั่นกว 18 เซนติเมตร	ครั้งที่ 1	0.8000	5.70	1.62	1.80	0.1852
	ครั้งที่ 2	0.8078	7.05	1.99		
	ครั้งที่ 3	0.8011	6.30	1.79		
ถังควบคุม	ครั้งที่ 1	0.8031	3.85	1.09	1.27	0.20298
	ครั้งที่ 2	0.8029	4.35	1.23		
	ครั้งที่ 3	0.8037	5.25	1.49		

ก-3 ผลการศึกษาอัตราการยุบตัวของปุ๋ยหมัก

ตารางที่ ก 3-1 อัตราการยุบตัวของปุ๋ยหมักในถังควบคุม

ระยะเวลา (วัน)	ความสูงของปุ๋ยหมัก (cm)				S.D	อัตราการยุบตัว (cm)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	29.00	29.00	29.00	29.00	0.00	0.00
1	29.00	29.00	29.00	29.00	0.00	0.00
2	29.00	29.00	29.00	29.00	0.00	0.00
3	28.50	28.50	28.00	28.33	0.29	0.67
4	28.00	27.50	27.50	27.67	0.29	0.66
5	27.00	26.50	26.50	26.67	0.29	1.00
6	26.50	26.00	26.00	26.17	0.29	0.50
7	25.50	25.00	25.00	25.17	0.29	1.00
8	23.00	22.50	22.50	22.67	0.29	2.50
9	21.00	21.00	21.00	21.00	0.00	1.67
10	21.00	20.50	20.00	20.50	0.50	0.50
11	20.00	19.50	19.00	19.50	0.50	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 3-1 อัตราการยุบตัวของปุยหมักในถังควบคุม (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ความสูงของปุยหมัก (cm)				S.D	อัตราการยุบตัว (cm)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
12	19.50	19.00	18.50	19.00	0.50	0.50
13	19.50	19.00	18.00	18.83	0.76	0.17
14	19.00	18.50	18.00	18.50	0.50	0.33
15	18.50	18.00	18.00	18.16	0.29	0.34
16	18.50	17.00	17.50	17.67	0.76	0.49
17	18.00	18.00	17.00	17.67	0.58	0.00
18	18.00	17.50	17.00	17.50	0.50	0.17
19	17.50	17.00	17.00	17.17	0.29	0.33
20	17.50	17.00	17.00	17.17	0.29	0.00

ตารางที่ ก 3-2 อัตราการยุบตัวของปุยหมักในถังที่มีใบกวนยาวด้านละ 15 เซนติเมตร

ระยะเวลา (วัน)	ความสูงของปุยหมัก (cm)				S.D	อัตราการยุบตัว (cm)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	29.00	29.00	29.00	29.00	0.00	0.00
1	25.50	25.00	25.00	25.17	0.29	3.83
2	23.50	23.50	23.00	23.33	0.29	1.84

ตารางที่ ก 3-3 อัตราการยุบตัวของปุยหมักในถังที่มีใบกวนยาวด้านละ 18 เซนติเมตร

ระยะเวลา (วัน)	ความสูงของปุยหมัก (cm)				S.D	อัตราการยุบตัว (cm)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	29.00	29.00	29.00	29.00	0.00	0.00
1	25.50	25.50	25.00	25.33	0.29	3.67
2	23.40	23.20	23.00	23.20	0.20	2.13
3	21.50	21.00	21.00	21.17	0.29	2.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สํานักงานวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 3-3 อัตราการยุบตัวของปฏึกในถังที่มีใบกวนยาวด้านละ 18 เซนติเมตร (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	ความสูงของปฏึก (cm)				S.D	อัตราการยุบตัว (cm)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
4	18.70	18.50	18.50	18.57	0.12	2.60
5	16.50	16.00	16.00	16.17	0.29	2.40
6	13.80	13.60	13.30	13.57	0.25	2.60
7	12.20	12.00	12.00	12.07	0.12	1.50

ก-4 ผลการการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปฏึกในถังควบคุม

ตารางที่ ก 4-1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปฏึกในถังควบคุม

ระยะเวลา (วัน)	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิของปฏึก (°C)				S.D
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	0.0
1	30.0	38.0	38.5	39.0	38.5	0.5
2	31.0	47.5	48.0	48.0	47.8	0.3
3	31.0	56.0	56.5	57.0	56.5	0.5
4	30.5	45.5	45.5	45.0	45.3	0.3
5	32.0	42.5	42.0	42.0	42.2	0.3
6	30.0	40.0	39.5	39.0	39.7	0.3
7	31.0	37.0	36.5	35.0	36.2	1.0
8	32.0	36.0	36.0	35.0	35.7	0.6
9	30.0	35.5	35.5	35.0	35.3	0.3
10	31.0	35.5	35.0	35.0	35.2	0.3
11	31.5	35.0	34.0	34.0	34.3	0.6
12	30.5	35.0	34.5	34.5	34.7	0.3
13	32.0	34.0	34.0	34.5	34.2	0.3
14	32.5	34.5	34.0	34.0	34.2	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 4-1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในถังควบคุม (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (°C)				S.D
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
15	31.0	34.0	33.0	33.0	33.3	0.6
16	31.0	34.5	33.5	33.5	33.8	0.6
17	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	0.0
18	31.5	33.0	32.5	32.5	32.7	0.3
19	31.5	32.5	32.5	32.5	32.5	0.0
20	30.0	32.0	31.5	31.5	31.7	0.3

ตารางที่ ก 4-2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในถังที่มีไบโกลวยาวด้านละ 15 เซนติเมตร

ระยะเวลา (วัน)	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (°C)				S.D
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0	32.0	32.5	32.5	33.0	32.7	0.3
1	30.0	35.0	35.0	36.0	35.3	0.6
2	31.0	37.0	37.5	37.5	37.3	0.3

ตารางที่ ก 4-3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในถังที่มีไบโกลวยาวด้านละ 18 เซนติเมตร

ระยะเวลา (วัน)	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (°C)				S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0	33.0	32.5	33.0	33.0	32.8	0.3
1	30.5	48.0	48.5	49.0	48.5	0.5
2	31.0	56.0	56.5	57.5	56.7	0.8
3	32.0	40.0	40.5	40.0	40.2	0.3
4	30.5	35.5	34.5	34.0	34.7	0.8
5	33.0	33.5	32.0	32.0	32.5	0.9
6	29.5	31.5	31.5	30.0	31.0	0.9
7	29.0	30.0	30.0	29.5	29.8	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปภายนอก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-5 ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด - ด่างของปุ๋ยหมัก

ตารางที่ ก 5-1 ค่าความเป็นกรด - ด่างของปุ๋ยหมักในถังควบคุม

ระยะเวลา (วัน)	ความเป็นกรด - ด่าง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D
0	9.14	9.22	9.18	9.18	0.04
1	9.10	8.98	9.11	9.06	0.07
2	9.02	9.10	9.07	9.06	0.04
3	8.64	8.78	8.51	8.64	0.14
4	7.75	7.70	7.68	7.71	0.04
5	7.70	7.71	7.74	7.72	0.02
6	7.73	7.73	7.68	7.71	0.03
7	7.78	7.67	7.78	7.74	0.06
8	7.34	7.54	7.29	7.39	0.13
9	7.41	7.32	7.36	7.36	0.05
10	7.25	7.13	7.30	7.23	0.09
11	6.99	7.10	7.14	7.08	0.08
12	7.23	7.15	7.32	7.23	0.09
13	7.44	7.32	7.61	7.46	0.15
14	7.22	7.17	7.37	7.25	0.10
15	7.76	7.51	7.38	7.55	0.19
16	7.57	7.36	7.86	7.60	0.25
17	7.32	7.51	7.13	7.42	0.13
18	7.41	7.36	7.54	7.44	0.09
19	7.29	7.46	7.34	7.36	0.09
20	7.33	7.54	7.61	7.49	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 5-2 ค่าความเป็นกรด - ด่างของปุ๋ยหมักในถังที่มีไบโกลวนยาวด้านละ 15 เซนติเมตร

ระยะเวลา (วัน)	ความเป็นกรด - ด่าง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D
0	7.79	8.08	7.73	7.87	0.19
1	6.40	6.30	6.39	6.36	0.06
2	6.84	6.42	6.85	6.70	0.25

ตารางที่ ก 5-3 ค่าความเป็นกรด - ด่างของปุ๋ยหมักในถังที่มีไบโกลวนยาวด้านละ 18 เซนติเมตร

ระยะเวลา (วัน)	ความเป็นกรด - ด่าง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D
0	7.97	7.86	7.75	7.86	0.11
1	6.12	5.98	5.78	5.96	0.17
2	6.39	6.57	6.64	6.53	0.13
3	6.89	7.01	7.12	7.01	0.12
4	7.18	6.94	7.21	7.11	0.15
5	7.45	7.53	7.28	7.42	0.13
6	7.36	7.64	7.59	7.53	0.15
7	7.61	7.50	7.69	7.60	0.10

ก-6 ผลการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมัก

ตารางที่ ก 6-1 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักในถังควบคุม

ระยะเวลา (วัน)	การนำไฟฟ้า (dS/m)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D
0	2.03	2.05	1.97	2.02	0.04
1	2.43	2.40	2.37	2.40	0.03
2	2.48	2.41	2.38	2.42	0.05
3	2.27	2.31	2.34	2.31	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 6-1 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักในถังควบคุม (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	การนำไฟฟ้า (dS/m)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D
4	2.34	2.35	2.44	2.38	0.06
5	2.29	2.31	2.12	2.24	0.10
6	2.35	2.41	2.44	2.40	0.05
7	2.22	2.54	2.41	2.39	0.16
8	2.18	2.22	2.32	2.24	0.07
9	2.35	2.39	2.31	2.35	0.04
10	1.92	1.99	2.11	2.01	0.10
11	2.13	2.25	2.22	2.20	0.06
12	2.35	2.21	2.16	2.24	0.10
13	2.37	2.29	2.39	2.35	0.05
14	2.40	2.37	2.45	2.41	0.04
15	2.53	2.49	2.43	2.48	0.05
16	2.47	2.41	2.57	2.48	0.08
17	2.43	2.45	2.58	2.49	0.08
18	2.58	2.55	2.54	2.56	0.02
19	2.53	2.59	2.61	2.58	0.04
20	2.63	2.67	2.59	2.63	0.04

ตารางที่ ก 6-2 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักในถังที่มีไบโกลวยาวด้านละ 15 เซนติเมตร

ระยะเวลา (วัน)	การนำไฟฟ้า (dS/m)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D
0	2.37	2.51	2.52	2.47	0.08
1	2.74	2.66	2.66	2.69	0.05
2	2.14	2.27	2.29	2.23	0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดลอกเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้ง

ตารางที่ ก 6-3 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักในถังที่มีใบกวนยาวด้านละ 18 เซนติเมตร

ระยะเวลา (วัน)	การนำไฟฟ้า (dS/m)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D
0	2.35	2.48	2.51	2.45	0.09
1	2.01	2.13	2.08	2.07	0.06
2	2.24	2.38	2.19	2.27	0.10
3	2.46	2.44	2.36	2.42	0.05
4	2.56	2.63	2.65	2.61	0.05
5	2.59	2.49	2.54	2.54	0.05
6	2.60	2.67	2.71	2.66	0.06
7	2.73	2.65	2.62	2.67	0.06

ก-7 ผลการศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมัก

ตารางที่ ก 7-1 ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมัก

ครั้งที่	ความเป็นกรด - ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ความสูง (cm)	อุณหภูมิภายนอก (°C)	อุณหภูมิภายใน (°C)	ความชื้น
1	6.02	2.59	16.0	27.0	29.0	24.83
2	6.00	2.52	15.9	26.8	29.0	24.49
3	6.05	2.56	16.0	26.9	30.0	24.34
เฉลี่ย	6.02	2.56	15.97	26.90	29.33	24.55
S.D.	0.03	0.35	0.06	0.10	0.58	0.25

ตารางที่ ก 7-2 ปริมาณคาร์บอนในปุ๋ยหมัก

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)		ปริมาณอนินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย (%)	S.D.
ครั้งที่ 1	45.40	0.60520	44.7938	43.60	1.69
ครั้งที่ 2	42.47	0.06842	42.4016		

ตารางที่ ก 7-3 ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมัก

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (ml)	ปริมาณไนโตรเจน (%)
1	0.8025	29.81	8.53
2	0.8044	28.00	8.00
3	0.8042	33.45	9.56
เฉลี่ย			8.70
S.D.			0.79

ตารางที่ ก 7-4 ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมัก

ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาณฟอสฟอรัส เทียบกับกราฟ มาตรฐาน (mg/L)	ปริมาณ ฟอสฟอรัส (%)	ปริมาณ ฟอสฟอรัส ในรูป P ₂ O ₅ (%)
1	0.5002	1.8358	4.58	10.49
2	0.5006	1.4778	3.69	8.46
3	0.5005	1.3376	3.34	7.65
เฉลี่ย			3.87	8.87
S.D.			0.64	1.46

ตารางที่ ก 7-5 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมัก

ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาณฟอสฟอรัส เทียบกับกราฟ มาตรฐาน (mg/L)	ปริมาณ โพแทสเซียม (%)	ปริมาณ โพแทสเซียม ในรูป K ₂ O (%)
1	2.5040	36.01	14.38	17.33
2	2.5258	34.44	13.63	16.42
3	2.5004	36.37	14.54	17.52
เฉลี่ย			14.18	17.09
S.D.			0.49	0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก 7-6 ปริมาณโลหะหนักชนิดอื่นๆ ในปุ๋ยหมัก

ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาณ Arsenic (As) (mg/Kg)	ปริมาณ Cadmium (Cd) (mg/Kg)	ปริมาณ Chromium (Cr) (mg/Kg)	ปริมาณ Copper (Cu) (mg/Kg)	ปริมาณ Lead (Pb) (mg/Kg)
1	2.5040	0.0499	ND	0.2875	0.3315	ND
2	2.5258	0.0685		0.0364	0.0012	0.0090
3	2.5004	0.0104		0.0690	0.3407	0.0020
เฉลี่ย		0.0429	-	0.1310	0.2245	0.0055
S.D.		0.03	-	0.14	0.19	0.01



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-1 ผลการคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ตารางที่ ข-1 ผลการคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

วัสดุ	ความชื้น (%)	ปริมาณคาร์บอน (%)	ปริมาณไนโตรเจน (%)	C/N ratio
ปุ๋ยคอก	11.29	32.1444	1.10	29.2222
เศษอาหาร	73.84	41.9920	2.87	14.6314

การคำนวณหาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุที่ใช้ในการทำ (การหาอัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ครั้งที่ 1)

โดยกำหนดค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เริ่มต้นเท่ากับ 25 : 1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) เพื่อให้เหมาะกับการย่อยสลายของวัสดุที่ใช้

จากสูตร

$$\frac{C}{N} = \frac{x(C_{\text{เศษอาหาร}}) + x(C_{\text{ปุ๋ยคอก}})}{x(N_{\text{เศษอาหาร}}) + x(N_{\text{ปุ๋ยคอก}})}$$

กำหนด ให้เศษอาหารเป็นตัวเพิ่มไนโตรเจน โดยเศษอาหาร 1 กิโลกรัม จะต้องใช้ปุ๋ยคอก x กิโลกรัม จะได้

$$\frac{25}{1} = \frac{(1 \text{ kg})(41.9920)}{(1 \text{ kg})(2.87)} + \frac{32.1444x}{1.10x}$$

$$25(2.87 + 1.10x) = 41.9920 + 32.1444x$$

$$71.75 + 27.50x = 41.9920 + 32.1444x$$

$$71.75 - 41.9920 = 32.1444x - 27.50x$$

$$29.758 = 4.6444x$$

$$x = 6.41$$

จากสมการจะได้ว่า เศษอาหาร 1 กิโลกรัม ต้องใส่ปุ๋ยคอก 6.4 กิโลกรัม

ความชื้นของเศษอาหาร เท่ากับ 73.84%

$$1 = X - X\left(\frac{73.84}{100}\right)$$

$$1 = 0.2652X$$

$$X = 3.77 \text{ kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ดังนั้น จะใส่เศษอาหารประมาณ 4 กิโลกรัม ในถังการทดลอง

ความชื้นของปุ๋ยคอก เท่ากับ 11.29%

$$6.4 = X - X\left(\frac{11.29}{100}\right)$$

$$6.4 = 0.8871X$$

$$X = 7.22 \text{ kg}$$

ดังนั้น จะใส่ปุ๋ยคอกประมาณ 7 กิโลกรัม ในถังการทดลอง

ดังนั้น แล้วในถังการทดลองจะต้องใส่ เศษอาหาร : ปุ๋ยคอก เท่ากับ 4 : 7 กิโลกรัม ในถังการทดลอง

ข-2 การคำนวณปริมาณของสารเร่งซูเปอร์ พด. 1

การคำนวณปริมาณสารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ในถังหมักปุ๋ยที่มีวัสดุเริ่มต้นรวม 17 กิโลกรัม

วัสดุหมัก 1000 กิโลกรัม ใช้สารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ปริมาณ 100 กรัม

ถ้าวัสดุหมัก 17 กิโลกรัม จะต้องใช้สารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ปริมาณ

$$\frac{100 \text{ กรัม} \times 17 \text{ กิโลกรัม}}{1000 \text{ กิโลกรัม}} = 1.7 \text{ กรัม}$$

สารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ปริมาณ 100 กรัม ผสมน้ำ 20 ลิตร

ถ้าสารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ปริมาณ 1.7 กรัม จะต้องผสมน้ำ

$$\frac{20 \text{ ลิตร} \times 1.7 \text{ กรัม}}{100 \text{ กรัม}} = 0.34 \text{ ลิตร}$$

ดังนั้น ในถังหมักปุ๋ยที่มีวัสดุเริ่มต้นรวม 17 กิโลกรัม จะต้องใส่สารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ปริมาณ 1.7 กรัม ในน้ำ 340 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ค

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพสารเร่งซูปเปอร์ พด. 1

ตารางที่ ค 1-1 อัตราการยุดตัวของปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	วันที่	ความสูงของปุ๋ย (cm)				S.D.	อัตราการ ยุดตัว (cm)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
ปุ๋ยที่ไม่มีการ เติมสารเร่ง ซูปเปอร์ พด. 1	1	17.55	17.55	17.55	17.55	0.00	0.00
	2	16.00	16.05	16.05	16.03	0.03	1.52
	3	15.55	15.60	15.60	15.58	0.03	0.45
ปุ๋ยที่มีการเติม สารเร่ง ซูปเปอร์ พด. 1	1	21.00	21.00	21.00	21.00	0.00	0.00
	2	16.55	16.55	16.55	16.55	0.03	4.45
	3	14.25	14.30	14.30	14.28	0.03	2.27

ตารางที่ ค 1-2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	วันที่	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (°C)				S.D.
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ปุ๋ยที่ไม่มีการ เติมสารเร่ง ซูปเปอร์ พด.1	1	29.0	30.0	30.0	30.5	30.2	0.29
	2	28.0	31.0	31.5	31.5	31.3	0.29
	3	26.0	30.0	30.0	30.0	30.0	0.00
ปุ๋ยที่มีการเติม สารเร่งซูปเปอร์ พด.1	1	29.0	30.0	30.0	30.5	30.2	0.29
	2	28.5	30.5	30.5	31.0	30.7	0.29
	3	27.5	29.5	29.5	29.5	29.5	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1-3 ค่าความเป็นกรด - ด่างของปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	วันที่	ค่าความเป็นกรด-ด่าง				S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ปุ๋ยที่ไม่มีการ เติมสารเร่ง ซูปเปอร์ พด.1	1	7.89	7.99	7.88	7.92	0.06
	2	6.79	6.91	6.89	6.86	0.06
	3	5.98	5.88	5.96	5.94	0.05
ปุ๋ยที่มีการเติม สารเร่ง ซูปเปอร์ พด.1	1	8.46	8.43	8.49	8.46	0.03
	2	8.24	8.23	8.20	8.22	0.02
	3	8.09	8.12	8.09	8.10	0.02

ตารางที่ ค 1-4 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	วันที่	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)				S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ปุ๋ยที่ไม่มีการ เติมสารเร่ง ซูปเปอร์ พด.1	1	2.47	2.50	2.48	2.48	0.02
	2	2.23	2.28	2.29	2.30	0.03
	3	2.01	2.03	1.99	2.01	0.02
ปุ๋ยที่มีการเติม สารเร่งซูปเปอร์ พด.1	1	3.23	3.22	3.24	3.23	0.01
	2	3.14	3.13	3.14	3.14	0.01
	3	3.07	3.06	3.05	3.06	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1-5 ค่าความชื้นของปุ๋ยหมัก

ชนิด ของปุ๋ย	วันที่	น้ำหนักกล้วย (g)		น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	น้ำหนัก กล้วย + ตัวอย่าง หลังอบ (g)	ความชื้น (%)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	S.D.
ปุ๋ยที่ไม่มี การเติม สารเร่ง ซูเปอร์ พด. 1	1	ครั้งที่ 1	32.0095	2.5011	33.9293	23.24	23.38	0.14
		ครั้งที่ 2	33.4512	2.5019	35.3680	23.38		
		ครั้งที่ 3	33.7190	2.5016	35.6326	23.52		
	2	ครั้งที่ 1	26.9495	2.5023	28.6084	33.70	32.90	0.72
		ครั้งที่ 2	26.9458	2.5031	28.6307	32.69		
		ครั้งที่ 3	26.9819	2.5016	28.6755	32.90		
	3	ครั้งที่ 1	33.0841	2.5002	34.6539	37.21	38.00	0.69
		ครั้งที่ 2	33.0095	2.5007	34.5532	38.27		
		ครั้งที่ 3	31.0142	2.5004	32.5517	38.51		
ปุ๋ยที่มีการ เติมสาร เร่ง ซูเปอร์ พด. 1	1	ครั้งที่ 1	33.0841	2.5026	35.0094	23.07	23.07	0.04
		ครั้งที่ 2	32.0095	2.5031	33.9359	23.04		
		ครั้งที่ 3	32.0142	2.5029	33.9386	23.11		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1-5 ค่าความชื้นของปุ๋ยหมัก (ต่อ)

ชนิดของปุ๋ย	วันที่	น้ำหนักถ้วย (g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)	น้ำหนักถ้วย + ตัวอย่างหลังอบ (g)	ความชื้น (%)	ความชื้นเฉลี่ย (%)	S.D.
ปุ๋ยที่มีการเติมสารเร่ง ซูเปอร์ พด. 1	2	ครั้งที่ 1	33.0889	2.5011	34.9854	24.17	24.09	0.07
		ครั้งที่ 2	26.9458	2.5009	28.8449	24.06		
		ครั้งที่ 3	26.9495	2.5015	28.8497	24.03		
	3	ครั้งที่ 1	33.0841	2.5022	34.9965	23.57	23.55	0.03
		ครั้งที่ 2	32.0095	2.5018	33.9216	23.57		
		ครั้งที่ 3	32.0144	2.5014	33.9274	23.52		

ตารางที่ ค 1-6 ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (%)		ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเฉลี่ย (%)	S.D.
ปุ๋ยที่มีการเติมสารเร่ง ซูเปอร์ พด.1	ครั้งที่ 1	43.45	0.3964	43.05	42.35	1.00
	ครั้งที่ 2	41.71	0.0661	41.64		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1-7 ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก

ชนิดของ ปุ๋ย	น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ปริมาณกรด ซัลฟิวริกที่ ใช้ (ml)	ปริมาณ ไนโตรเจน (%)	ปริมาณ ไนโตรเจน เฉลี่ย (%)	S.D.
ปุ๋ยที่มีการ เติมสารเร่ง ซูเปอร์ พด.1	ครั้งที่ 1	0.8012	19.85	5.68	5.82	0.18
	ครั้งที่ 2	0.8008	20.15	5.77		
	ครั้งที่ 3	0.8010	21.00	6.02		

ตารางที่ ค 1-8 ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมัก

ชนิด ของปุ๋ย	น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ปริมาณฟอสฟอรัส เทียบจากกราฟ มาตรฐาน (mg/L)	ปริมาณ ฟอสฟอรัสใน รูป P (%)	ปริมาณ ฟอสฟอรัสใน รูป P ₂ O ₅ (%)
ปุ๋ยที่มีการ เติมสารเร่ง ซูเปอร์ พด.1	ครั้งที่ 1	0.5005	1.99	4.95	11.34
	ครั้งที่ 2	0.5006	1.89	4.73	10.84
	ครั้งที่ 3	0.5005	1.79	4.47	10.08
	เฉลี่ย			4.72	10.75
	S.D.			0.24	0.63

ตารางที่ ค 1-9 ปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ปริมาณโพแทสเซียม เทียบจากกราฟ มาตรฐาน (mg/L)	ปริมาณ โพแทสเซียม ในรูป K (%)	ปริมาณ โพแทสเซียม ในรูป K ₂ O (%)
ปุ๋ยที่มีการ เติมสารเร่ง ซูเปอร์ พด.1	ครั้งที่ 1	2.5278	28.84	11.41	13.75
	ครั้งที่ 2	2.5042	35.87	14.32	17.26
	ครั้งที่ 3	2.506	36.15	14.42	17.38
	เฉลี่ย			13.38	16.13
	S.D.			1.71	2.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1-10 ปริมาณโลหะหนักชนิดอื่นๆ ในปุ๋ยหมัก

ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาณ Arsenic (As) (mg/kg)	ปริมาณ Cadmium (Cd) (mg/kg)	ปริมาณ Chromium (Cr) (mg/kg)	ปริมาณ Copper (Cu) (mg/kg)	ปริมาณ Lead (Pb) (mg/kg)
1	2.5278	0.00909	nd	0.0280	0.21916	nd
2	2.5042	nd		0.2065	0.3155	
3	2.5060	0.000036		0.0575	0.3057	
เฉลี่ย		0.004563	-	0.0973	0.28012	-
S.D.		0.0064	-	0.0957	0.0530	-

ค-2 ผลการศึกษาอัตราการเติมเศษอาหาร

ตารางที่ ค 2-1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 1 กิโลกรัม

ชั่วโมง ที่	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3	
	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)
0	27.8	30.0	27.0	31.0	28.0	31.5
1	28.0	32.0	27.5	33.5	28.0	33.5
2	29.0	35.0	28.5	35.0	29.5	35.5
3	29.0	38.0	29.0	37.5	29.5	39.0
4	29.0	43.0	29.5	41.0	30.0	43.5
5	30.0	45.0	30.0	44.5	30.0	45.5
6	30.0	46.5	30.0	47.0	31.0	48.0
7	30.0	47.0	30.0	48.5	31.0	49.5
8	30.5	48.5	30.0	50.0	31.0	51.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือแสดงเนื้อหาและข้อมูลใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำออกใช้

ตารางที่ ค 2-1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 1 กิโลกรัม (ต่อ)

ชั่วโมง ที่	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3	
	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)
9	30.0	50.0	30.0	51.0	31.5	53.0
10	29.0	52.0	30.0	51.5	31.5	54.5
11	29.0	54.0	29.5	53.0	30.0	51.5
12	29.0	51.0	29.5	51.5	30.0	49.5
13	29.5	50.0	29.5	49.0	29.5	47.0
14	28.0	48.0	29.0	47.0	29.5	46.0
15	28.0	45.0	29.0	45.0	29.0	44.5
24	27.0	31.0	28.0	31.5	28.0	31.0

ตารางที่ ค 2-2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม

ชั่วโมง ที่	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3	
	อุณหภูมิ ห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)	อุณหภูมิ ห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)	อุณหภูมิ ห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)
0	28.0	30.0	27.0	37.0	28.0	36.5
1	28.0	32.5	28.0	38.0	28.0	36.5
2	28.5	33.5	28.0	38.0	28.5	36.5
3	28.5	34.5	29.0	38.0	28.5	36.5
4	29.0	35.0	29.0	38.5	29.0	37.0
5	29.0	38.0	29.5	38.5	29.0	37.0
6	29.5	39.0	29.5	38.5	29.5	37.5
7	30.0	40.5	29.5	38.5	30.0	38.5
8	30.0	41.0	30.0	39.0	30.0	38.5
9	30.0	42.5	30.0	40.5	30.0	38.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 2-2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม (ต่อ)

ชั่วโมง ที่	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3	
	อุณหภูมิ ห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)	อุณหภูมิ ห้อง (°C)	อุณหภูมิปุ๋ย หมัก (°C)	อุณหภูมิ ห้อง (°C)	อุณหภูมิ ปุ๋ยหมัก (°C)
10	30.5	43.0	30.5	40.5	30.0	39.0
11	30.5	43.0	30.5	41.5	30.5	39.0
12	30.0	45.0	31.0	41.5	30.5	40.0
13	30.0	46.5	30.0	42.5	30.0	40.0
14	29.5	47.0	30.0	43.0	29.5	40.0
15	29.5	47.0	29.5	43.5	29.5	40.0
24	27.0	37.0	28.0	36.5	27.0	39.0

ตารางที่ ค 2-3 อัตราการย่อยสลายของเศษอาหารหลังจากเติมเศษอาหารวันละ 1 กิโลกรัม

วันที่	น้ำหนักเศษอาหารที่ เหลืออยู่จากการสุม 1 กิโลกรัม (kg)	น้ำหนักเศษอาหาร ที่เหลืออยู่ภายในถัง ทั้งหมด (kg)	เศษอาหารที่ เหลืออยู่ (%)	อัตราการย่อยของ เศษอาหาร 1 กิโลกรัม (%)
1	0.00052	0.00312	0.312	99.688
2	0.00112	0.00672	0.672	99.328
3	0.00197	0.01182	1.182	98.818
เฉลี่ย	0.0012	0.00722	0.722	99.278
S.D.	0.00073	0.00437	0.437	0.437

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 2-4 อัตราการย่อยสลายของเศษอาหารหลังจากเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม

วันที่	น้ำหนักเศษอาหารที่เหลืออยู่จากการสุม 1 กิโลกรัม (kg)	น้ำหนักเศษอาหารที่เหลืออยู่ภายในถังทั้งหมด (kg)	เศษอาหารที่เหลืออยู่ (%)	อัตราการย่อยของเศษอาหาร 2 กิโลกรัม (%)
1	0.02563	0.15378	15.38	84.62
2	0.04264	0.25584	25.58	74.42
3	0.06296	0.37776	37.78	62.22
เฉลี่ย	0.04374	0.26246	26.25	73.75
S.D.	0.01869	0.11214	11.21	11.21

การคำนวณอัตราการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก : เมื่อเติมเศษอาหารประมาณ 1 กิโลกรัม

ทำการสุมตัวอย่างปุ๋ยปริมาณ 1 กิโลกรัม ออกมาร่อนในตะแกรกร่อนขนาด 20 mesh เพื่อหาเศษอาหารที่เหลืออยู่

สุมปุ๋ยในถังหมัก 1 กิโลกรัม เหลือเศษอาหาร 0.00052

ปุ๋ยในถังหมักมี 6 กิโลกรัม จะมีเศษอาหารอยู่ $\frac{0.00052 \times 6}{1} = 0.00312$ kg คิดเป็น 0.312 %

ดังนั้น อัตราการย่อยสลายจะเท่ากับ $= 100 - 0.312 = 99.69\%$

ตารางที่ ค 2-5 ค่าความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม

วันที่	ค่าความเป็นกรด-ด่าง				S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1	7.35	7.30	7.39	7.35	0.05
2	6.57	6.62	6.52	6.57	0.05
3	5.88	5.94	5.81	5.88	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 2-6 ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม

วันที่	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)				S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1	2.42	2.45	2.48	2.45	0.03
2	2.31	2.24	2.26	2.27	0.04
3	2.05	2.01	1.98	2.01	0.04

ตารางที่ ค 2-7 อัตราการยุบตัวของปุ๋ยหมักเมื่อเติมเศษอาหารวันละ 2 กิโลกรัม

วันที่	ความสูงของปุ๋ยหมัก (cm)				S.D.	อัตราการยุบตัว (cm)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
1	15.00	15.00	15.00	15.00	0.00	0.00
2	14.05	14.05	14.00	14.03	0.03	0.07
3	14.00	14.00	14.00	14.00	0.00	0.03

ค-3 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีน

ตารางที่ ค 3-1 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนที่ใส่ปุ๋ยหมัก (1 หลุมต่อ 1 เมล็ด)

หลุม ที่	ระยะเวลา (วัน)										ดัชนี การงอก
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1.43
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.93
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.93
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.93
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.93
6	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.93
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.93
8	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	0.85
9	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1.10
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.93
11	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.93
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทสรไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 3-1 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบ่งจันที่ใส่ปุ๋ยหมัก (1 หลุมต่อ 1 เมล็ด) (ต่อ)

หลุม ที่	ระยะเวลา (วัน)										ดัชนี การงอก
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.93
เฉลี่ย											2.36
S.D.											0.80

ตารางที่ ค 3-2 ดัชนีการงอกของเมล็ดผักบ่งจันที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก (1 หลุมต่อ 1 เมล็ด)

หลุม ที่	ระยะเวลา (วัน)										ดัชนี การงอก
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0.21
2	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1.10
3	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	0.34
4	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1.10
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.93
6	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1.43
7	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.93
8	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	0.85
9	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1.10
10	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1.43
11	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	0.65
12	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	0.48
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.93
เฉลี่ย											1.27
S.D.											0.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์} = \text{ผลบวกของ} \left(\frac{\text{จำนวนต้นกล้า}}{\text{จำนวนวันที่เพาะ}} \right)$$

หลุมที่ 1 ของการใส่ปุ๋ยหมัก

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์} &= \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8} + \frac{1}{9} + \frac{1}{10} \\ &= 1.43 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค 3-3 ความยาวลำต้น (cm) ของเมล็ดผักบั้งจีนที่ใส่ปุ๋ยหมัก (1 หลุมต่อ 1 เมล็ด)

ระยะเวลา (วัน)	หลุมที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	0.3	0.2	0.2	0.1	-	0.2	-	-	0.2	-	0.2	0.3
2	-	1.4	1.5	1.3	1.4	0.1	1.5	-	-	0.9	0.3	1.3	1.5
3	0.1	2.0	2.2	2.1	2.3	1.2	2.0	-	-	1.7	1.9	2.4	2.4
4	0.7	2.6	2.7	2.6	2.5	1.7	2.9	-	0.2	2.5	2.6	3.6	3.8
5	1.6	3.0	3.2	3.1	2.9	2.4	3.5	0.3	1.4	3.3	3.3	4.2	4.6
6	2.3	4.5	4.7	4.2	3.5	2.9	4.9	1.5	2.5	4.9	4.5	5.9	5.7
7	3.0	5.1	5.3	5.5	4.7	3.7	5.4	2.3	3.1	5.2	5.2	6.5	6.9
8	4.2	6.2	6.8	6.5	6.0	5.0	6.2	3.0	4.0	5.9	6.0	7.9	7.7
9	6.0	7.8	7.2	7.6	7.3	6.4	7.2	3.6	5.4	7.4	7.8	8.5	8.4
10	7.2	8.5	8.0	8.2	8.3	7.2	8.4	4.9	6.2	8.4	8.9	9.2	9.3
เฉลี่ย	3.1	4.1	4.2	4.1	3.9	3.4	4.2	2.6	3.3	4.0	4.5	5.0	5.1
S.D.	2.5	2.8	2.6	2.7	2.6	2.4	2.6	1.6	2.1	2.8	2.8	3.1	3.1

ตารางที่ ค 3-4 ความยาวลำต้น (cm) ของเมล็ดผักบั้งจีนที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก (1 หลุมต่อ 1 เมล็ด)

ระยะเวลา (วัน)	หลุมที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	0.2
2	-	-	-	-	1.3	-	0.2	-	-	-	-	-	1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 3-4 ความยาวลำต้น (cm) ของเมล็ดผักบ่งจันที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก (1 หลุมต่อ 1 เมล็ด) (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	หลุมที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	-	-	-	-	1.9	0.3	1.2	-	-	0.2	-	-	1.8
4	-	0.2	-	0.3	2.7	1.5	1.9	-	0.3	1.3	-	-	2.4
5	-	1.6	-	1.4	3.2	2.6	2.5	0.1	1.1	2.0	-	-	3.0
6	-	2.9	-	2.1	3.9	3.2	3.1	0.9	1.7	2.4	0.3	-	3.6
7	-	3.7	-	2.9	4.1	3.9	3.8	1.4	2.3	2.7	1.4	0.1	4.0
8	-	4.5	0.3	3.7	5.0	4.5	4.2	2.0	2.9	3.2	2.0	1.3	4.5
9	0.2	5.3	1.6	4.2	5.7	5.1	4.8	2.3	3.2	3.8	2.6	2.1	5.2
10	1.4	6.7	2.4	5.7	6.3	5.7	5.6	2.7	3.8	4.5	3.0	2.9	5.9
เฉลี่ย	0.8	3.6	1.4	2.9	3.4	3.4	3.0	1.6	2.2	2.5	1.9	1.6	3.2
S.D.	0.8	2.2	1.1	1.8	2.0	1.8	1.8	1.0	1.2	1.4	1.1	1.2	1.8

ตารางที่ ค 3-5 ความยาวใบ (cm) ของเมล็ดผักบ่งจันที่ใส่ปุ๋ยหมัก (1 หลุมต่อ 1 เมล็ด)

ระยะเวลา (วัน)	หลุมที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	0.7	0.8	0.6	0.7	-	0.8	-	-	0.8	-	0.9	1.0
2	-	1.4	1.5	1.3	1.4	0.6	1.5	-	-	1.6	0.7	1.8	1.5
3	0.7	1.9	2.1	1.9	2.3	1.2	2.0	-	-	2.2	1.9	2.4	2.2
4	0.9	2.4	2.3	2.4	2.5	1.7	2.5	-	0.7	2.5	2.6	3.6	3.8
5	1.3	2.9	2.7	2.9	3.0	2.4	2.8	0.6	1.3	3.1	3.0	3.9	4.2
6	1.5	3.2	3.3	3.1	3.5	2.9	3.4	1.3	1.9	3.7	3.3	4.1	4.5
7	1.9	3.8	3.9	3.5	3.9	3.3	3.9	1.8	2.2	4.1	3.9	4.5	4.9
8	2.5	4.2	4.8	4.5	4.3	3.9	4.2	2.0	2.9	4.7	4.1	4.9	5.2
9	2.8	4.8	5.2	4.9	4.8	4.4	4.8	2.6	3.4	5.4	4.8	5.5	5.6
10	3.7	5.5	5.6	5.2	5.3	4.8	5.1	3.4	3.8	5.7	5.2	5.9	6.0
เฉลี่ย	1.9	3.1	3.2	3.0	3.2	2.8	3.1	2.0	2.3	3.4	3.3	3.8	3.9
S.D.	1.0	1.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.0	1.1	1.6	1.4	1.6	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 3-6 ความยาวใบ (cm) ของเมล็ดผักกาดจีนที่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก (1 หลุมต่อ 1 เมล็ด)

ระยะเวลา (วัน)	หลุมที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	-	-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	-	0.7
2	-	-	-	-	1.1	-	0.6	-	-	-	-	-	1.3
3	-	-	-	-	1.3	0.8	0.9	-	-	0.7	-	-	1.5
4	-	0.6	-	0.6	1.7	1.4	1.4	-	0.7	1.3	-	-	2.2
5	-	0.8	-	1.0	2.0	1.8	1.7	0.9	1.1	1.7	-	-	2.6
6	-	1.2	-	1.4	2.3	2.1	2.0	1.3	1.4	2.2	0.8	-	3.0
7	-	1.7	-	1.7	2.6	2.4	2.5	1.7	1.8	2.7	1.1	0.6	3.2
8	-	2.1	0.8	2.4	3.0	2.8	2.9	2.0	2.3	3.0	1.4	1.0	3.5
9	0.7	2.3	1.4	2.6	3.4	3.1	3.1	2.3	2.7	3.4	1.7	1.8	3.9
10	1.0	2.7	1.7	3.2	3.9	3.3	3.3	2.7	3.2	3.9	2.1	2.2	4.2
เฉลี่ย	0.9	1.6	1.3	1.8	2.2	2.2	2.0	1.8	1.9	2.4	1.4	1.4	2.6
S.D.	0.2	0.8	0.5	0.9	1.0	0.9	1.0	0.7	0.9	1.1	0.5	0.7	1.2

ค-4 ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการปั่นกวของถังหมักปุ๋ย

กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ 15 วัตต์ (W)

ค่าไฟฟ้า 1 kWh = 3.75 บาท

1. ระยะเวลาในการปั่นกว 45 นาที หยุด 15 นาที นั่นคือ มอเตอร์ทำงาน 18 ชั่วโมง/วัน

จะได้ $15 \text{ W} \times 18 \text{ h} = 270 \text{ Wh} = 0.27 \text{ kWh/วัน}$

ค่าไฟ $0.27 \text{ kWh/วัน} \times 3.75 \text{ บาท} = 1.01 \text{ บาท/วัน} = 30.38 \text{ บาท/เดือน}$

2. ระยะเวลาในการปั่นกว 30 นาที หยุด 30 นาที นั่นคือ มอเตอร์ทำงาน 12 ชั่วโมง/วัน

จะได้ $15 \text{ W} \times 12 \text{ h} = 180 \text{ Wh} = 0.18 \text{ kWh/วัน}$

ค่าไฟ $0.18 \text{ kWh/วัน} \times 3.75 \text{ บาท} = 0.68 \text{ บาท/วัน} = 20.25 \text{ บาท/เดือน}$

3. ระยะเวลาในการปั่นกว 15 นาที หยุด 45 นาที นั่นคือ มอเตอร์ทำงาน 6 ชั่วโมง/วัน

จะได้ $15 \text{ W} \times 6 \text{ h} = 90 \text{ Wh} = 0.09 \text{ kWh/วัน}$

ค่าไฟ $0.09 \text{ kWh/วัน} \times 3.75 \text{ บาท} = 0.34 \text{ บาท/วัน} = 10.13 \text{ บาท/เดือน}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลของเอกสารนี้เพื่อการนำออกไปใช้