ผลของมูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดงในการผลิตปุ๋ยหมัก จากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

Effect of Chicken Manure, Decanter Sludge and Red Soil on the Oil Palm Empty Fruit Bunches Composting

วธิดา คะนะแนม

Wathida Kananam

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของมูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดงในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ผู้เขียน นางสาววธิดา คะนะแนม

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ สุวรรณโณ)

.....กรรมการ
(ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์)

.....กรรมการ
(ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ผลของมูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดงในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน
ผู้เขียน	นางสาววธิดา คะนะแนม
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นของเสียประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นในปริมาณมาก จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มในแต่ละปี ซึ่งทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเหล่านี้จำเป็นต้องมีวิธีจัดการที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันนำมาใช้ประโยชน์โดยการผลิตปุ๋ยหมัก โดยศึกษาผลของการเติมแหล่งไนโตรเจนต่างกัน คือ มูลไก่หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ และการเติมดินแดง ต่อระยะเวลาในการหมัก ทำการศึกษาทั้งการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักและไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่) Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง) Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์) และ Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง) ทำการเติมหัวเชื้อปุ๋ยหมักซุปเปอร์ พด.1 ควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และกลับกองปุ๋ยหมักทุก 7 วัน ผลการศึกษาพบว่า เมื่อวัสดุหมักเข้าสู่วันที่ 60 หลังเริ่มต้นการหมัก วัสดุหมักของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เริ่มมีลักษณะยุ่ย ขาดออกจากกันได้ง่าย มีสีน้ำตาลปนดำ ไม่มีกลิ่น และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 17:1, 19:1, 11:1 และ 15:1 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 บ่งชี้ว่า การย่อยสลายได้เสร็จสมบูรณ์ ในขณะที่ชุดควบคุม ถึงแม้ว่าเวลาผ่านไปถึง 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก วัสดุหมักยังมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 20:1 และวัสดุหมักยังแข็งกระด้าง ไม่ร่วนซุย มองเห็นเป็นเส้นใยชัดเจน บ่งชี้ว่า การย่อยสลายยังไม่เสร็จสมบูรณ์ นอกจากนั้นปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จาก Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อสิ้นสุดการหมัก (90 วัน) มีธาตุอาหารหลักผ่านมาตรฐานที่กำหนด จึงจัดเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

สำหรับการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่) An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง) An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์) และ An 4

(ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง) ทำการเติมหัวเชื้อปุ๋ยหมักซุปเปอร์ พด.2 และไม่มีการกลับกองปุ๋ยหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมัก วัสดุหมักของทั้ง 5 ชุดการทดลอง ยังมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 20:1 บ่งชี้ว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ สัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพ คือ มีลักษณะเป็นเส้นใยมองเห็นชัดเจน มีความแข็งกระด้าง ไม่ร่วนซุย จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน แต่การหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักสามารถทำได้แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนานกว่า จึงเหมาะสมกับวัสดุหมักที่มีปริมาณมากและโรงงานหมักปุ๋ยที่ต้องการเทคโนโลยีต้นทุนต่ำ เพราะสะดวกในการดูแล ไม่สิ้นเปลืองกำลังคน หรือเครื่องจักรในการกลับกอง

จากการศึกษาสรุปได้ว่า ในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน การหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก โดยในแบบกลับกองปุ๋ยหมัก สามารถใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนทดแทนมูลไก่ได้ ส่วนการเติมดินแดงไม่มีผลต่อระยะเวลาการหมัก แต่ช่วยลดกลิ่นจากกองปุ๋ยหมักได้

Thesis Title	Effect of Chicken Manure, Decanter Sludge and Red Soil on the Oil Palm Empty Fruit Bunches Composting
Author	Miss Wathida Kananam
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2008

ABSTRACT

In every year, oil palm processing generated a high quantity of oil palm empty fruit bunches (EFB). This waste needs the appropriate management method. This research hence aims to study the oil palm empty fruit bunches composting and the effect of nitrogen sources (chicken manure and decanter sludge) and the red soil addition on oil palm empty fruit bunches composting time. The experiments were conducted both in composting with turning system and without turning system. The composting with turning system contains 5 experiments including control (oil palm empty fruit bunches), Ae 1 (oil palm empty fruit bunches + chicken manure), Ae 2 (oil palm empty fruit bunches + chicken manure + red soil), Ae 3 (oil palm empty fruit bunches + decanter sludge) and Ae 4 (oil palm empty fruit bunches + decanter sludge + red soil) which were inoculated with super LDD.1 (Land Development Department No. 1) and were controlled their moisture content in the range of 50-70 % by weight. The heaps were turned once per week. The results showed at 60 days after composting initial, the physical characteristics of composting materials in all heaps changed to be dark brown, odorless and decompose. Their C:N ratios were less than 20:1 that indicated the maturity of decomposition. The C:N ratio of the composting materials of Ae 1, Ae 2, Ae 3 and Ae 4 were 17:1, 19:1, 11:1 and 15:1 respectively, that were significantly different ($p \leq 0.05$). The C:N ratio of composting materials in control heap was still higher than 20:1 and the uncompleted decompose materials could be observed obviously in this experiment until 90 days after the compost initiation. The compost product from Ae 1, Ae 2, Ae 3 and Ae 4 contained the primary nutrient elements as required for compost standard and could be used as fertilizer.

For the composting without turning system, it included 5 experiments, control (oil palm empty fruit bunches), An 1 (oil palm empty fruit bunches + chicken manure), An 2

(oil palm empty fruit bunches + chicken manure + red soil), An 3 (oil palm empty fruit bunches + decanter sludge) and An 4 (oil palm empty fruit bunches + decanter sludge + red soil) which were inoculated with super LDD.2 (Land Development Department No. 2). The C:N ratios of composting materials of An 1, An 2, An 3 and An 4 were higher than 20:1 until the end of composting that showed the uncompleted materials decomposition. In addition their physical characteristics observed also indicated that they were not humus. The oil palm empty fruit bunches composting without turning could be done but it requires long composting time. However the oil palm empty fruit bunches composting without turning showed their useful that it does not require turning machines and less intensive work. Therefore it may be appropriate for the composting plant which needs low cost technology.

From these results, they could be concluded that the oil palm empty fruit bunches composting with turning system is more appropriate than composting without turning system. The decanter sludge could be used as a good nitrogen source for empty fruit bunches composting to substitute chicken manure. The red soil addition did not enhance the composting time but it could decreased the foul odor generated from the heaps.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ธันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำในการค้นคว้าและการทำวิจัยวิจัย และตรวจทานแก้ไขในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ สุวรรณโณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณคุณรังสฤษฎ์ สำเภาพล คุณสายหยุด เพ็ชรสุข และเจ้าหน้าที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนทั้งหมดตลอดที่ทำการวิจัย

ขอขอบคุณบริษัทล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตำบลกะลาเส อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุหมักสำหรับใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคุณเภสัชรัตน์ กชกรจารุพงศ์ ที่อำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานบริษัทล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

ขอขอบคุณคณาจารย์ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม ทุกท่านที่ได้กรุณาถ่ายทอดความรู้ และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่ให้บริการอย่างเต็มที่ เต็มใจ และรวดเร็วเป็นอย่างยิ่ง

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ เป็นอย่างสูงที่สนับสนุนเงินทุนในการศึกษา ตลอดจนให้ความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจเสมอมา

วธิดา คะนะแนม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพ	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	33
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	34
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	35
3. ผลการทดลองและวิจารณ์	48
4. สรุปผลการทดลอง	93
ข้อเสนอแนะ	94
เอกสารอ้างอิง	95
ภาคผนวก	104
ประวัติผู้เขียน	159

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมันใน พ.ศ. 2546-2551	3
2	องค์ประกอบธาตุอาหารของวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	7
3	เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ	8
4	การเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน	10
5	อุณหภูมิและเวลาที่ต้องการในการกำจัดเชื้อโรคและพยาธิ	16
6	ตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีของดินแดง	23
7	ชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลส	28
8	รายละเอียดกำหนดมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548	31
9	อัตราส่วนวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก และไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	42
10	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์วัสดุหมักที่ใช้ในการหมักปุ๋ย	43
11	พารามิเตอร์ ความถี่ และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยหมัก	44
12	อาหารเลี้ยงเชื้อและสภาวะบ่มในแต่ละชนิดของจุลินทรีย์	45
13	ลักษณะสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	49
14	เปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	72
15	ปริมาณธาตุอาหารหลักในการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	74
16	เปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	90
17	ปริมาณธาตุอาหารหลักในการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	92

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	4
2	องค์ประกอบของปาล์มน้ำมัน	5
3	การกองปุ๋ยหมักแบบ Windrow	11
4	การกองปุ๋ยหมักแบบ Static pile	11
5	ลักษณะการใส่มูลฝอยชุมชนและดินแดงหรือดินธรรมดาในการทำปุ๋ยหมักในกล่องคอนกรีตแบบฝังกลบประยุกต์	12
6	ลักษณะการใส่มูลฝอยชุมชนและดินแดงหรือดินธรรมดาในการทำปุ๋ยหมักในบ่อคอนกรีตทรงกลมแบบฝังกลบประยุกต์	13
7	ระยะการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักตามช่วงอุณหภูมิต่างๆ ในกระบวนการหมัก	15
8	ลำดับการย่อยสลายเซลลูโลสด้วยเอนไซม์	30
9	ลักษณะของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (ตัดให้มีขนาด 2-5 เซนติเมตร)	36
10	ลักษณะของมูลไก่ (บดละเอียด)	36
11	ลักษณะของกากตะกอนดีแคนเตอร์	37
12	ลักษณะของดินแดง (บดละเอียด)	37
13	ลักษณะของถังพลาสติกทรงกลมสีดำ ขนาดความจุ 20 แกลลอน	40
14	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก เปรียบเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	51
15	การเปลี่ยนแปลงความชื้นในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	52
16	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักของชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)	54
17	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)	54
18	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)	55
19	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)	55

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)	56
21	การเปลี่ยนแปลงพีเอชในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	57
22	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	59
23	การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	61
24	การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	62
25	การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	64
26	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	66
27	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ mesophilic bacteria ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	68
28	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic bacteria ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	69
29	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ mesophilic fungi ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	69
30	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic fungi ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	70
31	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic actinomycetes ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	70
32	การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก	71
33	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	75

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
34	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักของชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)	76
35	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)	77
36	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)	77
37	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)	78
38	การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง An 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)	78
39	การเปลี่ยนแปลงพีเอชในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	79
40	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	80
41	การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	81
42	การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	82
43	การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	84
44	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	85
45	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ mesophilic bacteria ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	87

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
46	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic bacteria ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	87
47	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ mesophilic fungi ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	88
48	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic fungi ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	88
49	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic actinomycetes ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	89
50	การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก	89

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

การปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อการค้าในประเทศไทยเริ่มมาตั้งแต่ พ.ศ. 2510 และมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง โดยพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มจาก 69,625 ไร่ ใน พ.ศ. 2520 (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2548) เป็น 3.44 ล้านไร่ ใน พ.ศ. 2551 ในจำนวนนี้เป็นพื้นที่ให้ผลผลิตแล้วประมาณ 2.87 ล้านไร่ โดยมีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 3.03 ตันต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) ผลผลิตที่ได้ถูกนำเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพื่อผลิตน้ำมันปาล์ม ซึ่งในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดวัสดุเหลือใช้เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยจากวัตถุดิบที่เป็นทะลายปาล์มน้ำมันสด 100 กิโลกรัม กลายเป็นวัสดุเหลือใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 26-59 กิโลกรัม (Prasertsan and Prasertsan, 1996) ดังนั้นในปีหนึ่งๆ จึงเกิดทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันในจำนวนมาก เช่น ใน พ.ศ. 2551 จากผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดทั่วประเทศ 8.68 ล้านตัน ทำให้เกิดทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 2.25-5.12 ล้านตัน เมื่อมีการสะสมทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันในปริมาณมากๆ อาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ เพราะทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่กองทิ้งไว้ส่วนใหญ่มีน้ำมันปาล์มเหลืออยู่ เมื่อฝนตกทำให้เกิดการหมักหมมและน้ำมันถูกชะล้างออกมาปนกับน้ำฝนไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก (Wong *et al.*, 2002) นอกจากนั้นการกองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันทิ้งไว้ยังทำให้ทัศนียภาพบริเวณนั้นไม่สวยงาม

ดังนั้นจึงได้มีการนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น นำมาเป็นวัสดุคลุมดินในสวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งก่อนนำมาใช้ควรกองทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ก่อน (สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ, 2539) ซึ่งการนำมากองทิ้งไว้นี้ทำให้เสียเวลาและสถานที่ นอกจากนั้นทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันยังมีน้ำหนักและปริมาตรมาก ทำให้ไม่สะดวกในการขนส่งหรือเคลื่อนย้ายไปคลุมดินในสวนปาล์มน้ำมัน จึงมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก แต่การใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุหมักเพียงอย่างเดียวนั้นมีอัตราการย่อยสลายช้า เนื่องจากโครงสร้างของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุย่อยสลายยาก ประกอบด้วย ลิกโนเซลลูโลส (เซลลูโลส 44.2-45.0 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 32.8-33.5 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 20.4-20.5 เปอร์เซ็นต์)

(Aziz *et al.*, 2002; Ratnasingam *et al.*, 2008) ดังนั้นจึงต้องมีการเติมวัสดุหมักอื่นร่วม เช่น มูลไก่ หรือมูลสัตว์อื่นๆ เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่จุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก (Thambirajah *et al.*, 1995) แต่มูลสัตว์ในปัจจุบันมีราคาเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะมูลไก่ และจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ยังมีวัสดุเหลือใช้ชนิดหนึ่ง คือ กากตะกอนดีแคนเตอร์ ซึ่งมีองค์ประกอบไนโตรเจนสูง เท่ากับ 2.37 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง (ภานุพงศ์ บางรักษ์, 2548) สามารถนำมาทดแทนแหล่งไนโตรเจนจากมูลสัตว์ได้โดยไม่ทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และยังเป็นการจัดการวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากการทดลองหมักปุ๋ยจากมูลฝอยชุมชน ซึ่งในมูลฝอยชุมชนมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์อยู่ เมื่อกระบวนการย่อยสลายผ่านไประยะหนึ่ง จุลินทรีย์ใช้อากาศจนหมดจึงเกิดภาวะขาดอากาศและหยุดการย่อยสลาย ดังนั้นจึงมีการทดลองเติมดินแดงร่วมกับมูลฝอยชุมชนในการทำปุ๋ยหมัก พบว่า มีประสิทธิภาพการหมักสูง เนื่องจากดินแดงมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ จึงเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่เหมาะสมในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) ทำให้จุลินทรีย์ทำงานต่อไปได้จนจบสิ้นกระบวนการย่อยสลาย นอกจากนั้นยังพบว่า การเติมดินแดงให้ผลไม่แตกต่างจากการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ แต่มีต้นทุนต่ำกว่า ความยุ่งยากของกรรมวิธีน้อยกว่า รวมทั้งสามารถลดกลิ่นจากกองปุ๋ยหมักได้อีกด้วย (โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี, 2548)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปุ๋ยหมัก (composting) จากการเติมแหล่งไนโตรเจนต่างกัน คือ มูลไก่ และกากตะกอนดีแคนเตอร์ และการเติมดินแดง

การตรวจเอกสาร

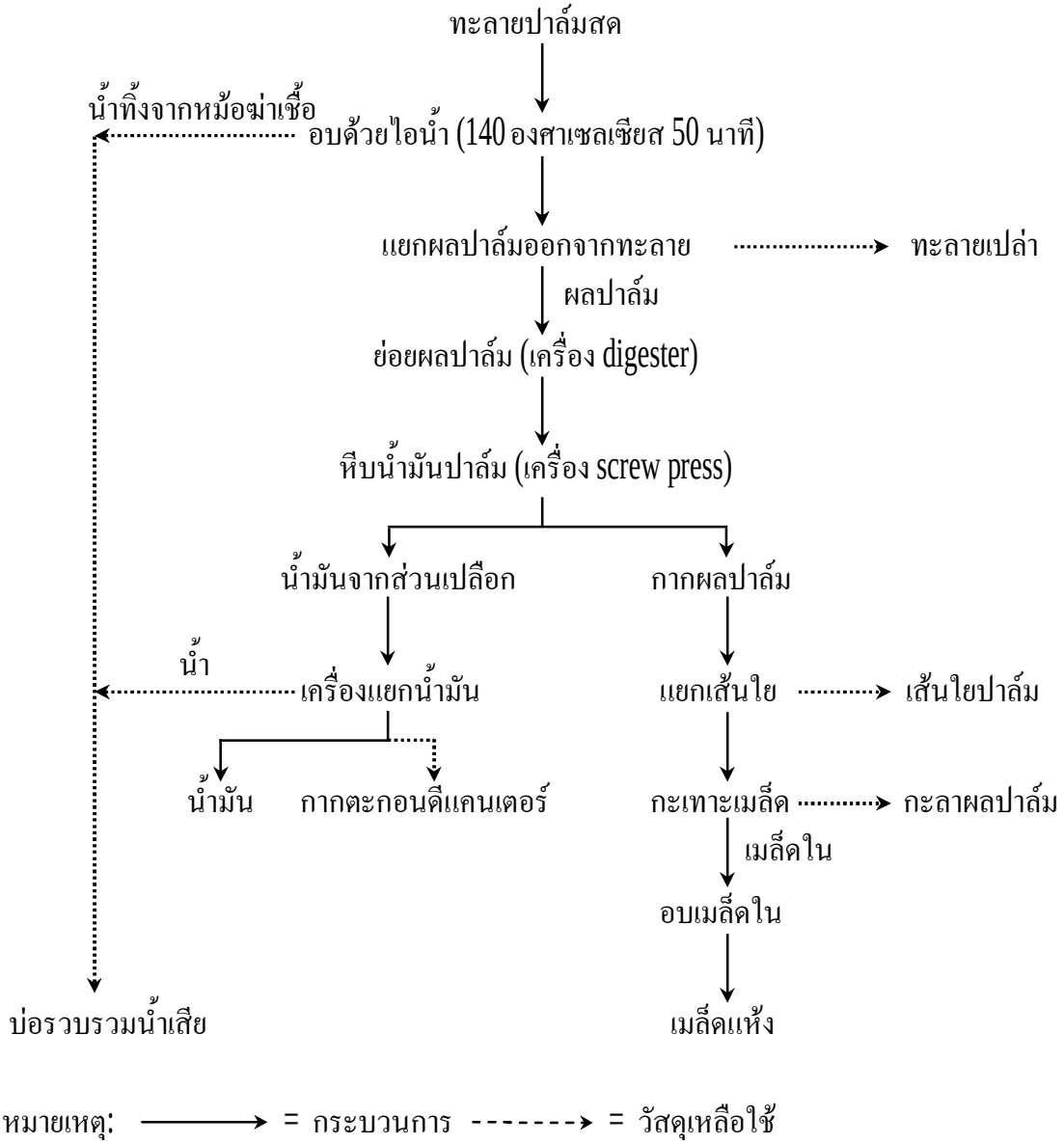
1. ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) เป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพในการแข่งขันสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ ทั้งด้านการผลิตและการตลาด โดยมีประเทศผู้ผลิตที่สำคัญ คือ มาเลเซีย และอินโดนีเซีย คิดเป็น 46 และ 39 เปอร์เซ็นต์ของการส่งออกทั้งโลก ตามลำดับ (Sumathi *et al.*, 2007) สำหรับประเทศไทยมีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก จังหวัดที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันสูงสุด 3 อันดับแรกอยู่ในภาคใต้ คือ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี และชุมพร คิดเป็น 32.08, 27.70 และ 21.23 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตทั้งประเทศ ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) โดยในแต่ละปีพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมัน ผลผลิตทะลายปาล์มสด และผลผลิตเฉลี่ยมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อผลผลิตปาล์มน้ำมันเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม แล้วผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ก่อให้เกิดวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งจำนวนมาก ได้แก่ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (empty fruit bunches; EFB) เส้นใยปาล์ม (pericarp fiber) กะลาผลปาล์ม (palm shell) และกากตะกอนดีแคนเตอร์ (decanter sludge) และส่วนที่เป็นของเหลว คือ น้ำทิ้ง (palm oil mill effluent; POME) (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2542) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งความแตกต่างของปริมาณวัสดุเหลือใช้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบ ดังแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 1 พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมันใน พ.ศ. 2546-2551

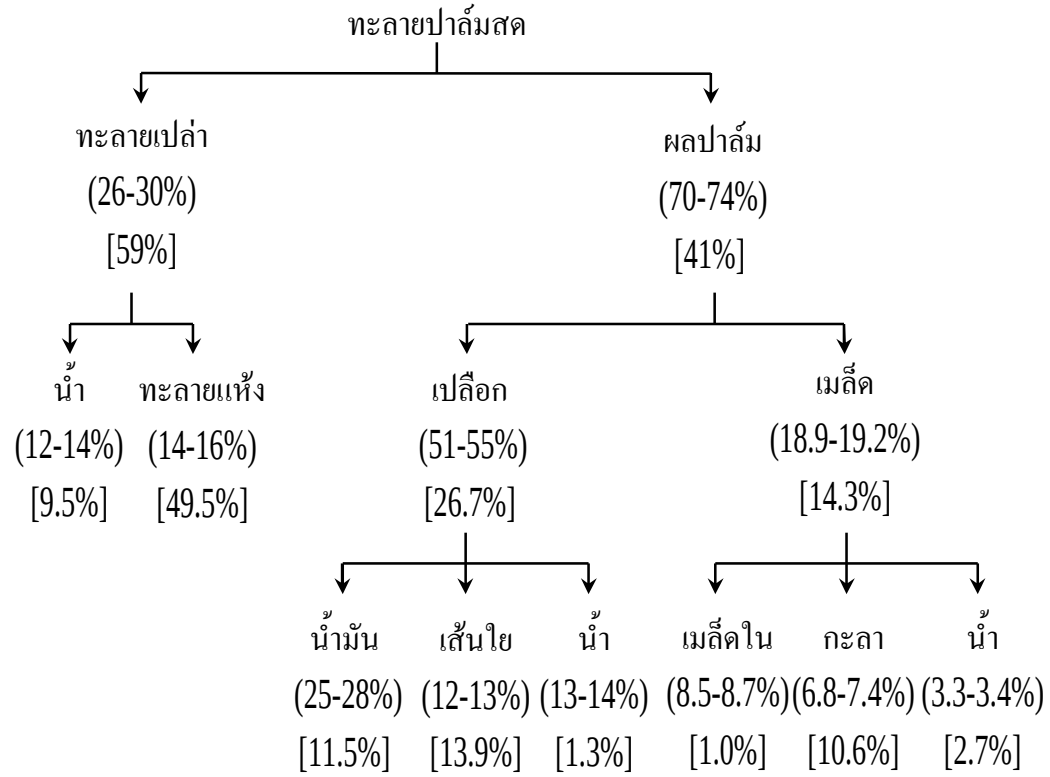
พ.ศ.	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ย (ตัน/ไร่)
2546	1,745,000	4,903,000	2.81
2547	1,800,000	5,220,000	2.90
2548	2,026,000	5,003,000	2.47
2549	2,374,000	6,715,000	2.83
2550	2,663,000	6,390,000	2.40
2551	2,870,000	8,680,000	3.03

ที่มา: ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ (2548); สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551)



ภาพที่ 1 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ที่มา: Prasertsan และ Prasertsan (1996)



หมายเหตุ: () = คุณภาพดี [] = คุณภาพต่ำ

ภาพที่ 2 องค์ประกอบของปาล์มน้ำมัน
ที่มา: Prasertsan และ Prasertsan (1996)

1.1 **การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันกลับมาใช้ประโยชน์**

วัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่สำคัญที่สุด คือ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ซึ่งทะลายปาล์มน้ำมันสด 100 กิโลกรัม กลายเป็นทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 26-59 กิโลกรัม (Prasertsan and Prasertsan, 1996) ดังนั้นในปีหนึ่งๆ มีทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันในจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากผลผลิตปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ ได้แก่

1.1.1 **การนำมาเผาเป็นขี้เถ้า**

จากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1,000 กิโลกรัม เมื่อนำมาเผาจะกลายเป็นขี้เถ้า 4 กิโลกรัม ซึ่งขี้เถ้าที่ได้มีธาตุอาหารโพแทสเซียมสูง สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ย แต่ในขณะที่เผาทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ทำให้เกิดฝุ่นและก๊าซ (SO_2, CO_2, CO และ NO_x) ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศ (Prasertsan and Prasertsan, 1996; Zen *et al.*, 2005)

1.1.2 **การนำมาเพาะเห็ด**

การเพาะเห็ดฟางโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมันส่วนที่เป็นกากปาล์มน้ำมันและทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เริ่มเกิดขึ้นในประเทศมาเลเซียใน พ.ศ. 2516 เมื่อใช้วัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมัน 100 กิโลกรัม สามารถผลิตเห็ดฟางได้ 2.55 กิโลกรัม ในขณะที่ใช้วัสดุอื่น เช่น ฟางข้าว 100 กิโลกรัม สามารถผลิตเห็ดฟางได้ 4.6 กิโลกรัม หรือการใช้เปลือกถั่วเขียว พบว่า ผลผลิตเห็ดฟางในด้านจำนวนดอก น้ำหนักต่อดอก ความกว้างดอก ความยาวดอก และน้ำหนักผลผลิตของเห็ดฟางทั้งหมด สูงกว่าการใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (โกสินทร์ แสงสวงค์, 2546)

1.1.3 **การนำมาเป็นวัสดุคลุมดินในสวนปาล์มน้ำมัน**

การนำมาเป็นวัสดุคลุมดินในสวนปาล์มน้ำมันเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ส่งผลให้ดินมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น ช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน ทำให้ดินเกาะกันเป็นเม็ดดิน ลดความหนาแน่นรวมของดิน ช่วยรักษาความชื้นและอุณหภูมิที่ผิวหน้าดิน ลดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน และเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญให้แก่ต้นปาล์ม (Chiew and Rahman, 2002; Tarmizi and Mohd, 2006) เพราะในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสามารถทดแทนธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุโพแทสเซียม เช่น เมื่อใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 46 กิโลกรัม เทียบเท่ากับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 กิโลกรัม หรือทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 130 กิโลกรัม เทียบเท่ากับปุ๋ยยูเรีย 1 กิโลกรัม (Saletes *et al*., 2004) ข้อระวังในการนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาใช้ คือ ควรกองทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ก่อน เพราะหากนำมาใช้ทันทีส่งผลให้บริเวณที่กองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสูญเสียน้ำ และธาตุอาหารจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ดึงธาตุไนโตรเจนในดินไปใช้ในการเจริญเติบโต เพื่อย่อยสลายทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ทำให้เกิดการแข่งขันการดูดธาตุไนโตรเจนระหว่างจุลินทรีย์และพืช ส่งผลให้พืชเจริญเติบไม่เต็มที่ นอกจากนั้นในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้เกิดความร้อน ส่งผลให้น้ำบริเวณผิวหน้าดินระเหยกลายเป็นไอ (สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ, 2539; Butler *et al*., 2001) ซึ่งการนำมากองทิ้งไว้ทำให้เสียเวลาและสถานที่ นอกจากนั้นต้องใช้ต้นทุนในการขนส่งทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเข้าสู่สวนปาล์มน้ำมัน เนื่องจากมีน้ำหนักและปริมาตรมาก

ตารางที่ 2 องค์ประกอบธาตุอาหารของวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

องค์ประกอบธาตุอาหาร	วัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็ง			
	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน[1]	เส้นใยปาล์ม[2]	กะลาผลปาล์ม[2]	กากตะกอนดีแคนเตอร์[3]
คาร์บอน (%)	42.80-49.6	45.20	49.70	44.69
ไนโตรเจน (%)	0.80-0.93	1.10	0.40	2.37
ฟอสฟอรัส (%P_2O_5)	0.10-0.27	0.12	0.07	0.28
โพแทสเซียม (%K_2O)	1.00-3.42	1.48	2.20	0.85
แมกนีเซียม (%MgO)	0.14-0.30	0.49	0.24	-
แคลเซียม (%CaO)	0.25-0.36	1.08	0.47	-
โบรอน (mg/kg)	10-13	3.63	5.84	-
ทองแดง (mg/kg)	8-23	-	-	-
สังกะสี (mg/kg)	23	-	-	-

ที่มา: [1]กรมพัฒนาที่ดิน (2548); Saletes และคณะ (2004); [2]Azali และคณะ (2005); [3]ภานุพงศ์ บางรักษ์ (2548)

1.1.4 การนำมาผลิตปุ๋ยหมัก

Thambirajah และคณะ (1995) ได้ผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เมื่อวิเคราะห์สมบัติของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน พบว่า มีโครงสร้างย่อยสลายยาก ประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลส และมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ ส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง หากใช้เป็นวัสดุหมักเพียงอย่างเดียวทำให้อัตราการย่อยสลายช้า จึงต้องผสมวัสดุหมักอื่นร่วม ได้แก่ มูลแพะ มูลวัว และมูลไก่ เพราะในมูลสัตว์เหล่านี้มีค่าไนโตรเจนสูง ตัวอย่างเช่น สมบัติของมูลไก่ (ตารางที่ 3) ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของการหมักลดลง นอกจากนี้การผสมมูลสัตว์ให้แก่กองปุ๋ยหมักยังเป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ให้แก่กองปุ๋ยหมักอีกด้วย ซึ่งมีอัตราส่วนในการผสม คือ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 90 กิโลกรัม ผสมกับมูลสัตว์ 25 กิโลกรัม โดยควบคุมปริมาณความชื้นให้ได้ 65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีการกลับกองปุ๋ยหมักทุกๆ 7 วัน ทำการหมักเป็นระยะเวลา 60 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมัก พบว่า ชุดการทดลองที่เติมมูลไก่ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยสุด (12:1) รองลงมา คือ มูลแพะ และมูลวัว (14:1 และ18:1 ตามลำดับ) ในขณะที่

กองปุ๋ยหมักที่ใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพียงอย่างเดียว มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 20:1 ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ ซึ่งการผสมมูลไก่ทำให้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วกว่ามูลแพะและมูลวัว Suhaimi และ Ong (2001) จึงได้เปรียบเทียบการผลิตปุ๋ยหมักระหว่างระบบเปิดและระบบปิด ซึ่งระบบเปิดใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร และมูลไก่เป็นวัสดุหมัก ควบคุมปริมาณความชื้นให้อยู่ในระดับ 65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และกลับกองปุ๋ยหมักสม่ำเสมอ ส่วนระบบปิดใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และมูลไก่เป็นวัสดุหมัก คลุมกองปุ๋ยด้วยเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) และมีการให้อากาศ 250 ตัน/วัน/ลูกบาศก์เมตร ผ่านท่อด้านล่างของกองปุ๋ยหมักด้วยปั๊มอากาศไฟฟ้า พบว่า กองปุ๋ยหมักแบบระบบเปิด ใช้ระยะเวลาในการหมักเพียง 50 วัน โดยค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 16:1 ซึ่งน้อยกว่าปุ๋ยหมักแบบระบบปิดที่ใช้ระยะเวลาในการหมัก 83 วัน ซึ่งปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากระบบเปิดมีธาตุอาหารหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 2.34, 0.30 และ 0.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากระบบปิดมีธาตุอาหารหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 2.43, 0.65 และ 2.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ

สมบัติทางเคมี	**มูลสัตว์ชนิดต่างๆ**					
	มูลไก่	**มูลเป็ด**	**มูลวัว**	**มูลสุกร**	**มูลม้า**	**มูลกระบือ**
ความเป็นกรด-ด่าง	7.60-9.38	6.70	4.10-8.60	6.80	7.7	-
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	7.00-7.15	2.17	4.15	3.93	-	-
อินทรียวัตถุ (%)	13.54-24.10	-	34.52-36.55	38.30	73.02	-
ไนโตรเจน (%)	1.26-3.77	2.15	1.20-1.91	2.80-2.95	2.33-2.70	1.23
ฟอสฟอรัส (%)	0.69-8.06	2.33	0.65-0.89	1.36-8.69	0.83	0.55
โพแทสเซียม (%)	1.66-3.66	2.80	0.79-1.40	0.47-1.18	1.31	1.40
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	10:1-11:1	-	17:1-21:1	8:1	16:1-18:1	-

ที่มา: มุกดา สุขสวัสดิ์ (2543); กรมพัฒนาที่ดิน (2548)

2. ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก (compost) คือ ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยธรรมชาติชนิดหนึ่ง ที่ได้จากการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนมูลฝอยบ้านเรือน มาหมักรวมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งประเภทจุลินทรีย์ ภายใต้สภาวะที่ควบคุมให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์มากที่สุด ซึ่งจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายวัสดุหมักให้กลายเป็นสารอินทรียวัตถุที่มีความเสถียร ปราศจากกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ สามารถนำไปใช้ปรับปรุงดิน เพื่อเป็นประโยชน์แก่พืชต่อไป (นันทวัน ฤทธิ์เดช, 2547; Sharma *et al.*, 1997)

2.1 กระบวนการหมักปุ๋ย

การหมักปุ๋ยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ ขึ้นอยู่กับการใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจน (Tchobanoglous *et al.*, 1993) ดังนี้

2.1.1 กระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน (aerobic)

สำหรับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจน สามารถแสดงปฏิกิริยาการย่อยสลาย ดังแสดงในสมการ (1)

$$\text{Organic Matter} + O_2 + \text{Nutrients} \xrightarrow{\text{Microorganisms}} \text{Resistant Organic Matter} + \text{New cell} + CO_2 + NH_3 + SO_4^{2-} + \text{Heat} \quad (1)$$

จากสมการ (1) อินทรียวัตถุ (organic matter) ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน จนกระทั่งกลายเป็นอินทรีย์สารคงตัว (resistant organic matter) ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อีกต่อไป สำหรับเซลล์ที่เกิดใหม่เมื่อตายไปก็ถูกย่อยสลายไปเป็นอินทรีย์สารคงตัวเช่นกัน

2.1.2 กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic)

สำหรับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน สามารถแสดงปฏิกิริยาการย่อยสลาย ดังแสดงในสมการ (2)

$$\text{Organic Matter} + H_2O + \text{Nutrients} \xrightarrow{\text{Microorganisms}} \text{Resistant Organic Matter} + \text{New cell} + CO_2 + CH_4 + H_2S + NH_3 + \text{Heat} \quad (2)$$

จากสมการ (2) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ แต่กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีผลเสีย คือ มีกลิ่นเหม็นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์ (H_2S) และใช้เวลาในการหมักนานกว่าการหมักแบบใช้ออกซิเจน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

ลักษณะที่ใช้เปรียบเทียบ	**การหมักแบบใช้ออกซิเจน**	**การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน**
การใช้พลังงาน	ใช้พลังงานจากภายนอก	ใช้พลังงานจากการหมัก
ผลผลิต	ฮิวมัส คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ	สลัดจ์ คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน
การลดลงของปริมาตร	น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์	น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์
เวลาการหมัก	20-30 วัน	20-40 วัน
จุดประสงค์	ลดปริมาตรขยะ	ผลิตพลังงาน
ผลพลอยได้	ปุ๋ยหมัก	ลดปริมาตรขยะและได้ขยะที่คงตัว

ที่มา: Tchobanoglous และคณะ (1993)

2.2 วิธีการหมักปุ๋ย

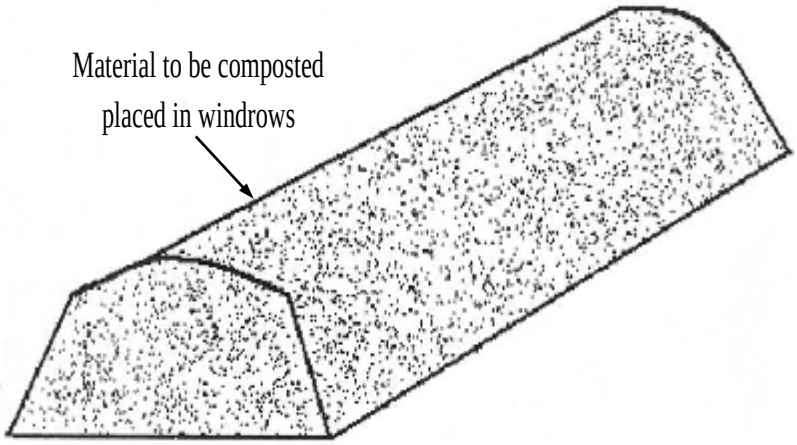
วิธีการหมักปุ๋ยแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ได้แก่ วิธีทั่วไปและวิธีฝังกลบประยุกต์ มีรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 **วิธีทั่วไป** (Tchobanoglous *et al.*, 1993)

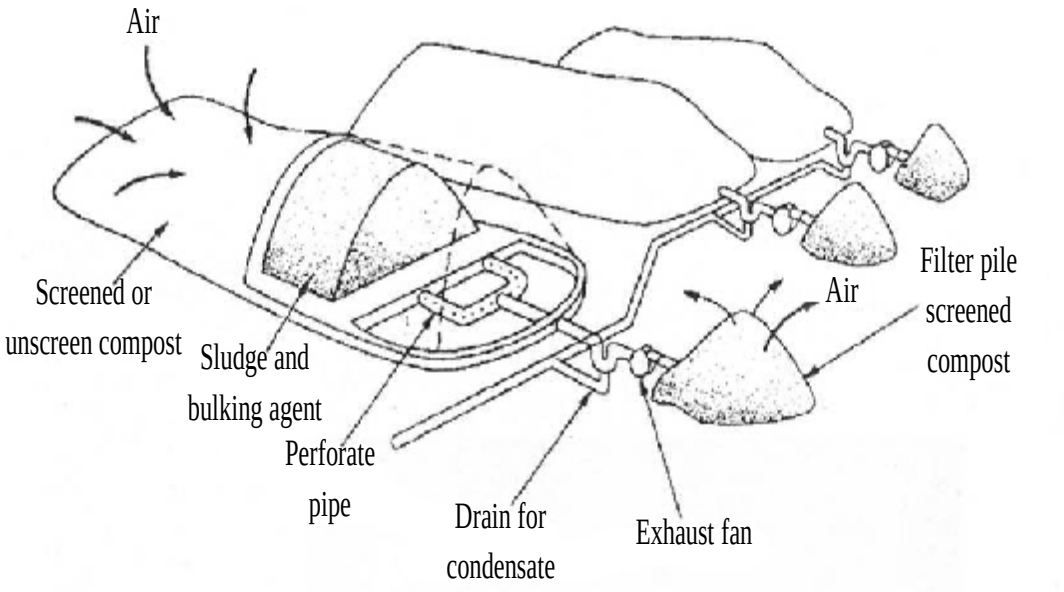
ก. Windrow เป็นรูปแบบที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อน เพียงแต่ผสมวัสดุหมักให้เข้ากันแล้ววางกองเป็นแนวยาว ดังแสดงในภาพที่ 3 ส่วนขนาดของความสูง ความกว้าง และรูปร่างของกองปุ๋ยหมักนั้นขึ้นกับสภาพของวัสดุหมักและอุปกรณ์ในการกลับกองปุ๋ยหมัก ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้เครื่องจักรในการกลับกองปุ๋ยหมักสามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่ได้ ซึ่งการหมักปุ๋ยด้วยวิธีการนี้สิ่งที่สำคัญ คือ ต้องมีการกลับกองปุ๋ยหมัก สำหรับการเติมอากาศจากเครื่องเติมอากาศมีหรือไม่มีก็ได้

ข. Static pile การหมักด้วยวิธีนี้ใช้กับวัสดุหมักที่มีลักษณะค่อนข้างเปียก เช่น กากตะกอนจากน้ำเสียมาผสมกับวัสดุอื่นๆ เช่น ขี้เลื่อย ฟางข้าว และเศษไม้ เป็นต้น เพื่อปรับโครงสร้างของวัสดุหมักให้มีความพรุนสูงขึ้น ทำให้เกิดการแพร่ผ่านของอากาศผ่านรูพรุน โดยที่ไม่มีการกลับ

กองปุ๋ยหมัก แต่มีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ การหมักด้วยวิธีนี้มีข้อควรระวัง คือ ขนาดของวัสดุหมักต้องมีขนาดเล็ก เพื่อให้การย่อยสม่ำเสมอทั้งกอง ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 การกองปุ๋ยหมักแบบ Windrow
ที่มา: Tchobanoglous และคณะ (1993)

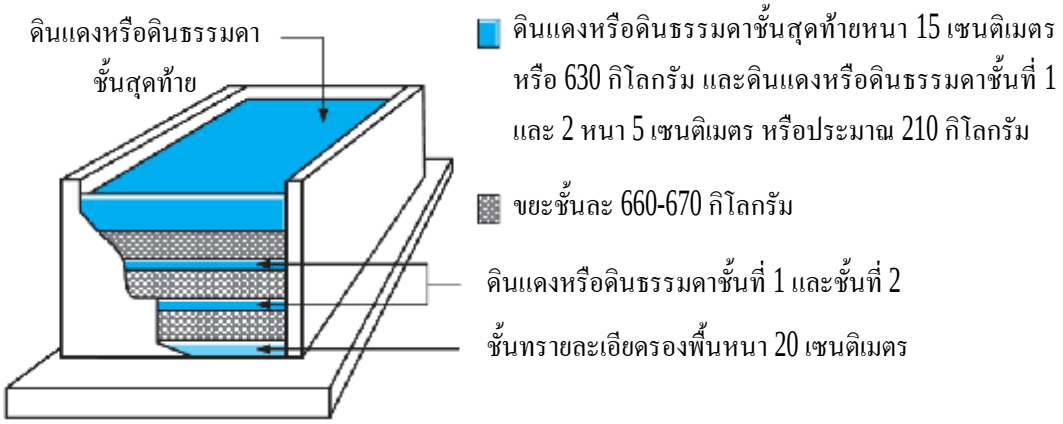


ภาพที่ 4 การกองปุ๋ยหมักแบบ Static pile
ที่มา: Tchobanoglous และคณะ (1993)

2.2.2 วิธีฝังกลบประยุกต์

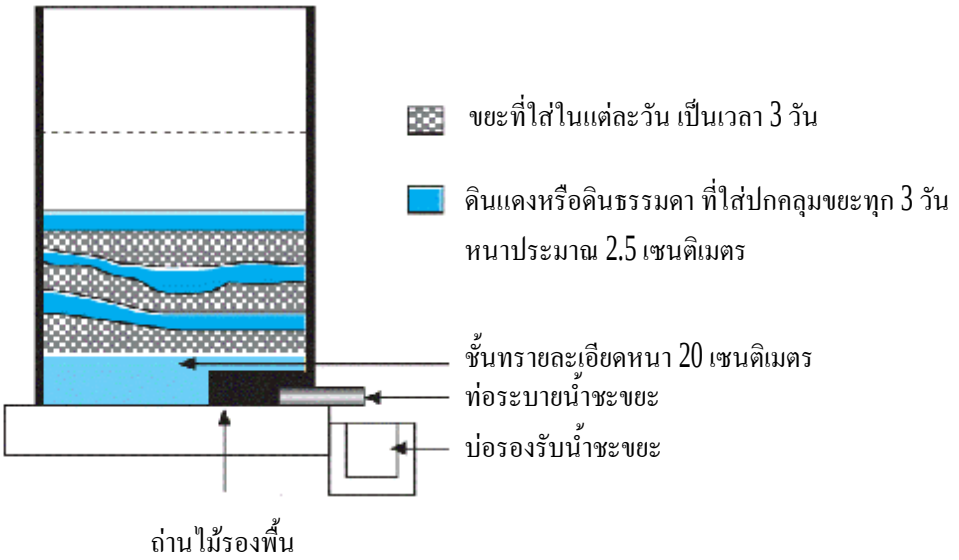
โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (2548) ได้แนะนำเทคโนโลยีในการจัดการมูลฝอยชุมชน โดยการทำปุ๋ยหมักด้วยการใช้กล่องหรือบ่อคอนกรีตทรงกลม เรียกว่าการฝังกลบประยุกต์มีหลักในการปฏิบัติ ดังนี้

- เป็นการหมักปุ๋ยโดยการใช้กล่องหรือบ่อคอนกรีตทรงกลม
- ทำการบรรจุมูลฝอยชุมชนใส่กล่องหรือบ่อคอนกรีตทรงกลมเป็นชั้นๆ สลับกับดินแดงหรือดินธรรมดา (ใช้ดินธรรมดากรณีในพื้นที่ไม่มีดินแดง แต่ดินแดงมีประสิทธิภาพเป็นตัวช่วยในกระบวนการหมักได้ดีกว่าดินธรรมดา เนื่องจากดินแดงมีเหล็กเป็นองค์ประกอบมากกว่าดินธรรมดา ซึ่งเหล็กเป็นตัวรับอิเล็กตรอนหลักสำหรับการหายใจแบบไร้อากาศ ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายดำเนินต่อไป) โดยใส่ดินทับหน้าชั้นมูลฝอยชุมชน แล้วเกลี่ยให้คลุมทั่วพื้นที่ผิวของกล่องหรือบ่อคอนกรีต จากนั้นอัดมูลฝอยในกล่องหรือบ่อหมักให้แน่นเล็กน้อย (ภาพที่ 5 และ 6)
- ทำการรดน้ำเพิ่มความชื้นทุก 7 วัน
- ทิ้งไว้โดยไม่ต้องกลับกองมูลฝอยเป็นระยะเวลา 90 วัน จึงได้ปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 5 ลักษณะการใส่มูลฝอยชุมชนและดินแดงหรือดินธรรมดาในการทำปุ๋ยหมักในกล่องคอนกรีตแบบฝังกลบประยุกต์

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (2548)



ภาพที่ 6 ลักษณะการใส่มูลฝอยชุมชนและดินแดงหรือดินธรรมดาในการทำปุ๋ยหมักในบ่อคอนกรีตทรงกลมแบบฝังกลบประยุกต์

ที่มา: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (2548)

2.3 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักปุ๋ย

กระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุ เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีกิจกรรมย่อยสลายในสภาพที่เหมาะสมของตัวเอง สามารถแบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

2.3.1 **แบคทีเรีย** (bacteria)

ในกองปุ๋ยหมักมีปริมาณแบคทีเรียมากกว่าเชื้อราและแอคติโนมัยซิส ซึ่งมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัสดุหมักและสภาพแวดล้อม แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน พีเอชค่อนข้างเป็นกลาง และมีความชื้น 50-75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปแบคทีเรียที่พบในกองปุ๋ยหมัก คือ *Pseudomonas* sp., *Achromobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococus* sp. และ *Bacillus* sp. โดยที่ *Bacillus* sp. พบมากกว่าชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะ *Bacillus* sp. ที่ชอบอุณหภูมิสูงๆ (50-55 องศาเซลเซียส) ได้แก่ *B. subtilis* และ *B. stearothermophilus* แบคทีเรียมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารประกอบโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต (สมศักดิ์ วังใน, 2528; กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

2.3.2 **เชื้อรา** (fungi)

เชื้อรามีลักษณะเป็นเส้นใยต่อกัน และมีสปอร์กระจัดกระจายอยู่ทั่วไปบริเวณผิวนอกกองปุ๋ยหมัก ในระยะแรกของการหมักภายในกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูง จึงพบ *Giotrichum candidum* และ *Aspergilus fumigatus* เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 45-55 องศาเซลเซียส พบ *Cladosporium* sp. และ *Mucor* sp. และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส พบ *Penicillium duponti* แต่เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 65 องศาเซลเซียส ไม่พบเชื้อราอยู่เลย อย่างไรก็ตามชนิดและปริมาณของเชื้อราที่พบแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัสดุหมัก เชื้อรามีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายเซลลูโลส ลิกนิน และสารคงทนในรูปอื่นๆ (สมศักดิ์ วังใน, 2528; กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) ดังกรณีการศึกษาของเกษม สร้อยทอง (2535) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายของเชื้อราที่มีสมบัติย่อยสลายเซลลูโลส ในการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้วัสดุหมัก คือ ฟางข้าว หญ้าขน และจอกแหน พบว่า *Chaetomium cuperum* และ *C. globosum* สามารถย่อยสลายฟางข้าวและจอกแหนได้ดี แต่ย่อยสลายหญ้าขนได้ในระดับปานกลาง

2.3.3 **แอคติโนมัยซิส** (actinomycetes)

แอคติโนมัยซิสมีลักษณะเป็นจุดสีขาว คล้ายผงปูนขาว กระจายอยู่บนผิววัสดุหมัก สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และเจริญเติบโตช้าลงหรือหยุดชะงักเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส หรือเมื่อมีการถ่ายเทอากาศไม่ดี ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของแอคติโนมัยซิสช้ากว่าแบคทีเรียและเชื้อรา แอคติโนมัยซิสที่พบได้บ่อยในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ *Thermoactinomycetes* sp. และ *Thermomonospora* sp. ซึ่งเป็นกลุ่มที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยสลายเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สมศักดิ์ วังใน, 2528; กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

จุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มนี้ สามารถแบ่งระยะการเจริญเติบโตตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก ออกเป็น 4 ระยะ (ภาพที่ 7) (Fogarty and Tuovinen, 1991; Day and Shaw, 2001) คือ

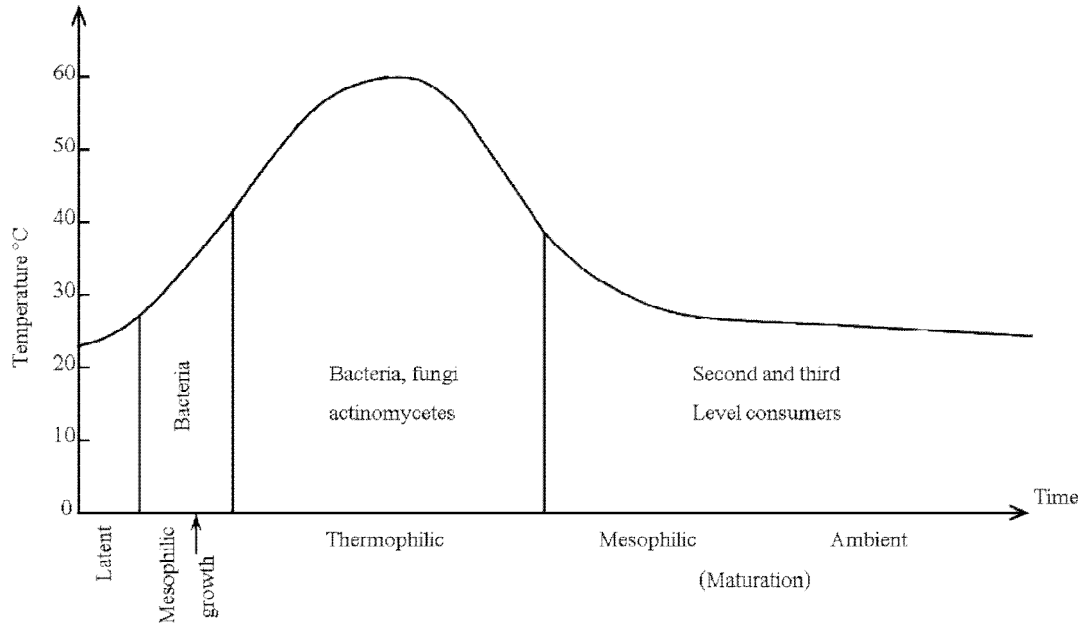
ระยะอุณหภูมิเริ่มต้น (latent phase) เป็นเวลาที่จุลินทรีย์ใช้ในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพสิ่งแวดล้อมใหม่ ซึ่งเป็นระยะแรกๆ ของการหมักซึ่งใช้เวลาไม่นานนัก และอุณหภูมิยังไม่เพิ่มสูงขึ้นมากนัก

ระยะอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic phase) ระยะนี้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้น คือ อยู่ในช่วง 25-45 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี และอัตราการย่อยสลายเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ

ระยะอุณหภูมิสูงสุด (thermophilic phase) ระยะนี้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงสุด คือ อยู่ในช่วง 45-65 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด จุลินทรีย์ที่พบ

ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซิส นอกจากนั้นหากกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิอยู่ในระยะนี้สามารถทำลายเชื้อโรคและพยาธิบางชนิดได้ ดังแสดงในตารางที่ 5

ระยะอุณหภูมิลดลง (maturation phase) อุณหภูมิในระยะนี้ค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับเดียวกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม บ่งชี้ว่า กระบวนการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ วัสดุหมักกลายเป็นฮิวมัสซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช



ภาพที่ 7 ระยะการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักตามช่วงอุณหภูมิต่างๆ ในกระบวนการหมัก

ที่มา: Polprasert (1996) อ้างโดย ชนกพร หนูหอม (2544)

ตารางที่ 5 อุณหภูมิและเวลาที่ต้องการในการกำจัดเชื้อโรคและพยาธิ

ชนิดของเชื้อโรคและพยาธิ	**อุณหภูมิและเวลาที่ต้องการ**
Salmonella typhosa	46 องศาเซลเซียส หยุดการเจริญเติบโต
	55-60 องศาเซลเซียส ตายภายใน 30 นาที
Salmonella sp.	55 องศาเซลเซียส ตายภายใน 1 ชั่วโมง
	60 องศาเซลเซียส ตายภายใน 15-20 นาที
Shigella sp.	55 องศาเซลเซียส ตายภายใน 1 ชั่วโมง
Escherichia coli	55 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่ตายภายใน 1 ชั่วโมง
	60 องศาเซลเซียส ตายภายใน 15-20 นาที
Entamoeba histolytica cysts	45-55 องศาเซลเซียส ตายภายใน 2-3 นาที
Taenia saginata	55 องศาเซลเซียส ตายภายใน 2-3 นาที
Trichinella spiralis larvae	50 องศาเซลเซียส ตายอย่างรวดเร็วภายใน 1 ชั่วโมง
	60 องศาเซลเซียส สามารถทำลายเชื้อโรคได้หมด
Necater americanus	45 องศาเซลเซียส ตายภายใน 50 นาที
Brucella abortus or *Br. suis*	62-63 องศาเซลเซียส ตายภายใน 3 นาที
	55 องศาเซลเซียส ตายภายใน 1 ชั่วโมง
Micrococcus pyogenes var. *aureus*	50 องศาเซลเซียส ตายภายใน 10 นาที
Streptococcus pyogenes	54 องศาเซลเซียส ตายภายใน 10 นาที
Mycobacterium tuberculosis	66 องศาเซลเซียส ตายภายใน 15-20 นาที หรือใช้เวลา
var. *hominis*	ไม่นานหลังจากให้ความร้อนจนถึง 67 องศาเซลเซียส
Corynebacterium diphtheriae	55 องศาเซลเซียส ตายภายใน 45 นาที
Ascaris lumbricoides eggs	50 องศาเซลเซียส ตายภายใน 1 ชั่วโมง

ที่มา: Tchobanoglous และคณะ (1993)

2.4 **ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก**

กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ดังนั้นสภาพแวดล้อมต่างๆ ภายในกองปุ๋ยหมัก จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ ส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายวัสดุหมัก ซึ่งปัจจัยของสภาพแวดล้อมดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.4.1 **ลักษณะวัสดุหมัก**

วัสดุที่สามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักมีอยู่มากมายหลายชนิด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) ได้แก่

- วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เศษวัสดุที่เหลือใช้จากไร่นา เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด ใบอ้อย ต้นปอ และต้นถั่วต่างๆ เป็นต้น
- วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น กากสับปะรด กากมันสำปะหลัง กากอ้อย แกลบ ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว เปลือกผลไม้ กากปลาจากโรงงานน้ำปลา ตลอดจนเศษเนื้อต่างๆ เป็นต้น
- วัสดุเหลือใช้จากบ้านเรือน โดยต้องทำการแยกวัสดุที่ปะปนจำพวกเศษแก้ว เศษโลหะ และเศษพลาสติกออกก่อน
- วัชพืช มีวัชพืชประเภทต่างๆ ทั้งวัชพืชบกและน้ำ ที่สามารถนำมาผลิตปุ๋ยหมักได้ เช่น ผักตบชวา จอก และแหน เป็นต้น

โดยธรรมชาติวัสดุหมักมีการย่อยสลายช้าหรือเร็วแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเนื้อของวัสดุหมักว่ามีส่วนที่จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นอาหารได้ยากหรือง่าย และมีธาตุอาหารอยู่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์หรือไม่ ดังนั้นจึงแบ่งวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักเป็น 2 ประเภท คือ วัสดุเหลือใช้ที่ย่อยสลายตัวได้ง่ายหรือมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่ำกว่า 100:1 เช่น ฟางข้าว ผักตบชวา หญ้าขน เปลือกมันสำปะหลัง เปลือกสับปะรด เปลือกทุเรียน และเปลือกถั่วลิสง เป็นต้น อีกประเภทหนึ่ง คือ วัสดุเหลือใช้ที่ย่อยสลายตัวได้ยาก หรือมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 100:1 เช่น ขี้เลื่อย แกลบ ใบอ้อย กากอ้อย ขุยมะพร้าว และเปลือกเมล็ดปาล์มบด เป็นต้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) ส่วนใหญ่การทำปุ๋ยหมักทำจากเศษพืช ดังนั้นลักษณะของวัสดุหมักจึงมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลาย ได้แก่ ขนาดของวัสดุหมัก และความสดของวัสดุหมัก

ก. ขนาดของวัสดุหมัก ถ้ามีขนาดเล็กการผสมคลุกเคล้าจะทั่วถึง และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จึงมีโอกาสถูกย่อยสลายมากกว่าวัสดุหมักที่มีขนาดใหญ่ แต่ถ้าขนาดมีความละเอียดมากเกินไป เช่น สลัดจ์ วัสดุหมักเหล่านี้เป็นตัวขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ภายในกองปุ๋ยหมัก (Cooperband, 2000) โดยเฉพาะในช่วงเทอร์โมฟิลิคที่มีความต้องการออกซิเจนสูง ส่งผลให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนภายในกองปุ๋ยหมัก ทำให้กองปุ๋ยหมักมีกลิ่นเหม็น สามารถแก้ไขโดยนำวัสดุผสม เช่น ใบไม้แห้ง ขี้เลื่อย และปุ๋ยผสม เป็นต้น ผสมลงไปในกองปุ๋ยหมัก เพื่อเป็นการปรับโครงสร้างของวัสดุหมักให้มีความพรุนสูงขึ้น ทำให้มีการถ่ายเทอากาศดีขึ้น นอกจากนั้นวัสดุผสมยังมีสมบัติดูดซับความชื้นได้ดี จึงเป็นตัวช่วยรักษาความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักอีกทางหนึ่ง (Tang and Katayama, 2005) ในทางกลับกันถ้าวัสดุหมักมีขนาดใหญ่เกินไป เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย และต้น

ข้าวโพด เป็นต้น เวลานำมากองทำให้เกิดช่องว่างภายในกองปุ๋ยหมักมาก กองปุ๋ยหมักจึงแห้งได้ง่าย ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักกระจายหายไปอย่างรวดเร็ว ทำให้กองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิไม่สูงเท่าที่ควร ส่งผลให้การย่อยสลายของวัสดุหมักจึงช้าลง ดังนั้นต้องทำการตัดหรือบดวัสดุหมักให้มีขนาดเล็กลง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งขนาดวัสดุหมักที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2.0-10.0 เซนติเมตร (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544; Neklyudov *et al*., 2008)

ข. ความสดของวัสดุหมัก โดยปกตินิยมทำปุ๋ยหมักจากวัสดุหมักที่แห้ง เนื่องจากสะดวกในการกอง การควบคุมปริมาณความชื้น และการระบายอากาศ ในกรณีที่ใช้พืชสดมาทำปุ๋ยหมัก ต้องระมัดระวังในเรื่องความชื้น ถ้าการระบายอากาศไม่ดี อาจเกิดกระบวนการเน่าเสียภายในกองปุ๋ยหมักจนเกิดกลิ่นเหม็นได้

2.4.2 **อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน** (C:N ratio) **ของวัสดุหมัก**

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นค่าที่ใช้กำหนดระดับการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ คือ ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20:1 (Charest *et al*., 2004) และยังเป็นค่าที่ใช้บอกความยากง่ายในการย่อยสลาย กล่าวคือ วัสดุหมักที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมากๆ มีอัตราการย่อยสลายต่ำ เนื่องจากความไม่สมดุลของคาร์บอนกับไนโตรเจน เพราะเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนจนกระทั่งได้โมเลกุลเล็กแล้วนำเข้าในเซลล์ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานและสร้างส่วนประกอบเซลล์ สำหรับสารประกอบไนโตรเจนก็ถูกย่อยสลายเช่นเดียวกัน แล้วจึงนำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน เพื่อสร้างส่วนประกอบเซลล์ เช่น โปรตีน และกรดนิวคลีอิค (Sharma *et al*., 1997) เพราะฉะนั้นหากมีปริมาณไนโตรเจนน้อย ถือว่าเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้กิจกรรมในการย่อยสลายเกิดช้า ดังนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน จึงเป็นตัวกำหนดอัตราการย่อยสลายในปุ๋ยหมัก (Tiquia and Tam, 2000a; Diaz *et al*., 2002) ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไป ทำให้ไนโตรเจนที่มีอยู่ในปริมาณมากเกิดการสูญเสียไป เนื่องจากกระบวนการระเหย (Tiquia and Tam, 2000b; Ruggieri *et al*., 2008) แต่ถ้ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมากๆ ต้องมีการเติมสารประกอบไนโตรเจนในรูปของปุ๋ยเคมีหรือสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เช่น ปุ๋ยยูเรีย มูลสัตว์ กากเลือดป่น และซากพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น เพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้สูงขึ้น ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำลง (Schuchardt *et al*., 2002) จากการศึกษาของ Hamoda และคณะ (1998) พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก เท่ากับ 30:1 สอดคล้องกับ Neklyudov และคณะ (2008) กล่าวว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายปุ๋ยหมักอยู่ในช่วง 20:1-40:1

2.4.3 ความชื้นในกองปุ๋ยหมัก

ความชื้นบ่งบอกถึงปริมาณน้ำ ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์บนผิววัสดุหมักใช้น้ำเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหารและก๊าซออกซิเจนจากวัสดุหมักไปยังจุลินทรีย์ (Ruggieri *et al.*, 2008) และยังเป็นตัวกลางส่งผ่านเอนไซม์จากจุลินทรีย์เข้าสู่กองปุ๋ยหมักเพื่อย่อยสลายวัสดุหมัก (Liang *et al.*, 2003) ดังนั้นจึงต้องเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักในปริมาณที่เหมาะสมไม่ทำให้ความชื้นมากหรือน้อยเกินไป ถ้าความชื้นในกองปุ๋ยหมักน้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อินทรียวัตถุย่อยสลายได้ช้า เนื่องจากมีน้ำในปริมาณน้อย แต่กรณีความชื้นมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราการย่อยสลายลดลง เนื่องจากสัดส่วนของช่องว่างอากาศต่อปริมาตรทั้งหมดของวัสดุหมักลดลง ทำให้การไหลผ่านของอากาศเป็นไปได้ยาก ทำให้เกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเกิดกลิ่นเหม็นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์ (H_2S) ดังนั้นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายอินทรีย์ของจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Hamoda *et al.*, 1998; Peigne and Girardin, 2004)

ความชื้นนอกจากมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์แล้ว ยังมีผลทางอ้อมต่อการระบายอากาศ กล่าวคือ ถ้าความชื้นมีมาก การแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักเกิดได้ยาก จนทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนและมีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Cooperband, 2000) นอกจากนั้นความชื้นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ คือ ในกรณีอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงทำให้น้ำระเหยสู่บรรยากาศ เกิดการสูญเสียความชื้นภายในกองปุ๋ยหมัก (Tiquia and Tam, 2000a; Hassen *et al.*, 2001)

2.4.4 การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมัก

การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมักเป็นการลดอุณหภูมิและเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก เพราะออกซิเจนมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน เพื่อใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ส่งถ่ายมาจากระบบ respiratory chain ในเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องระบายอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และย่อยสลายวัสดุหมัก อีกทั้งเป็นการถ่ายเทของเสียจากกองปุ๋ยหมัก คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (Shi *et al.*, 1999; Diaz *et al.*, 2002) การระบายอากาศสามารถทำได้โดยวิธีที่ไม่มีเครื่องมือทางกลช่วย เช่น การกลับกองปุ๋ยหมักเป็นระยะๆ ด้วยแรงคน หรือการใส่ท่อกลวง ซึ่งการกลับกองปุ๋ยหมักมีผลทางอ้อมให้วัสดุหมักผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Ogunmande *et al.*, 2008) ในทางตรงข้ามถ้าระบายอากาศมากเกินไป ทำให้มวลปุ๋ยหมักลดลง และบางครั้งอาจทำให้กองปุ๋ยหมักแห้ง ส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายได้ (Larney and Hao, 2007) และการระบายอากาศโดยวิธีที่มีเครื่องมือทางกลช่วย เช่น การเติมอากาศเข้าไปในกองปุ๋ยหมักโดยการปั๊มอากาศผ่านท่อเจาะรูผ่านเข้าไปในกองหมัก (Fogarty and Tuovinen, 1991) ดังกรณี

การศึกษาของ Suler และ Finstein (1977) ที่ทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักที่ระดับต่างๆ พบว่า การใช้อากาศที่มีออกซิเจน 18.0-20.0 เปอร์เซ็นต์ ไหลผ่านกองปุ๋ยหมักก็เพียงพอต่อปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด และยังพบว่าสภาวะการขาดออกซิเจนทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดช้าและยืดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมัก

2.4.5 **พีเอช**

ค่าพีเอชภายในกองปุ๋ยหมักมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คือ เชื้อราส่วนใหญ่ชอบสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด ซึ่งเจริญได้ดีที่พีเอช เท่ากับ 5.0 แอคติโนมัยซิสสามารถเจริญได้ที่พีเอชต่ำสุด คือ 5.5 แต่เจริญได้ดีที่พีเอช เท่ากับ 8.0 ส่วนแบคทีเรียสามารถเจริญได้ในช่วง 5.0-9.0 แต่เจริญได้ดีที่พีเอช เท่ากับ 7 (สุมาลี เหลืองสกุล และคณะ, 2544) สำหรับค่าพีเอชในระหว่างการหมักปุ๋ยมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา คือ ในช่วง 2-3 วันแรก มีค่าลดลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 5.0-5.5 หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีสภาวะเป็นด่าง (8.0-9.0) ต่อมาลดลงเล็กน้อยและท้ายที่สุดลดลงมาอยู่ในช่วง 7.0-8.0 ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมักค่าพีเอชไม่ควรสูงกว่า 8.5 เพราะทำให้สูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย (Tchobanoglous *et al.*, 1993) โดยทั่วไปวัสดุหมักมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.0-11.0 ก็สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 5.5-8.0 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

2.5 **สารเร่ง**

สารเร่ง คือ สารบางอย่างที่ใส่ลงไปในกองปุ๋ยหมัก เพื่อเร่งกระบวนการหมัก ให้เสร็จสมบูรณ์เร็วขึ้น พร้อมทั้งช่วยให้คุณภาพของปุ๋ยหมักดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้มีคุณค่าทางด้านแร่ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืชสูงขึ้น สารเร่งที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักสามารถใช้ร่วมกันทุกชนิด หรือร่วมกันเฉพาะบางชนิด หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง สารเร่งที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ย (หฤษฎี ภัทรดิลก, 2542) ได้แก่

2.5.1 **ปุ๋ยเคมี**

ปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็นสารเร่ง ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจน เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการธาตุไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ การเติมปุ๋ยเคมีไนโตรเจนเป็นการให้ธาตุอาหารกับจุลินทรีย์ในรูปที่จุลินทรีย์นำไปใช้ได้ทันที เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งที่ช่วยเร่งการหมักปุ๋ย สูตรที่ใช้ได้ผลดี เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 20 กิโลกรัม ใช้ควบคู่กับปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต 10 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต 10 กิโลกรัม ต่อเศษพืช 1,000 กิโลกรัม (หฤษฎี ภัทรดิลก, 2542) ดังกรณีการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยเปรียบเทียบระหว่างมีการเติมไนโตรเจน 2 กิโลกรัม ต่อ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1,000 กิโลกรัม และไม่เติมไนโตรเจน ซึ่งชุดที่มีการเติม

ไนโตรเจน 2 กิโลกรัม มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 20:1 เมื่อเวลาผ่านไป 35 วันหลังเริ่มต้นการหมัก ในขณะที่ชุดที่ไม่เติมไนโตรเจนต้องใช้เวลาถึง 70 วันหลังเริ่มต้นการหมัก (Schuchardt *et al*., 2002)

2.5.2 **ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก**

ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักจัดเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายวัสดุหมักในระยะแรกของการหมัก และในปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักมีจุลินทรีย์อยู่จำนวนมาก ดังนั้นจึงเป็นการให้อาหารและเติมจุลินทรีย์แก่กองปุ๋ยหมัก ซึ่งมีจุลินทรีย์อยู่แล้วแต่มีในปริมาณต่ำ (หฤษฎี ภัทรดิลก, 2542) นอกจากนั้นการเติมปุ๋ยคอกยังเป็นการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้กับกองปุ๋ยหมัก เพราะในปุ๋ยคอกบางชนิดมีปริมาณไนโตรเจนสูง ส่งผลให้วัสดุหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม วัสดุหมักจึงกลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วขึ้น ตัวอย่างปุ๋ยคอกที่สามารถนำมาผสมวัสดุหมัก ได้แก่ มูลไก่ มูลวัว มูลแพะ และมูลม้า เป็นต้น ดังกรณีการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ผสมกับมูลแพะ มูลวัว และมูลไก่ ในอัตราส่วนทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 90 กิโลกรัม ผสมกับมูลสัตว์ 25 กิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดการหมัก (60 วัน) พบว่า ชุดการทดลองที่ผสมมูลไก่ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยสุด (12:1) รองลงมา คือ มูลแพะ และมูลวัว (14:1 และ18:1 ตามลำดับ) ในขณะที่กองปุ๋ยหมักที่ใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพียงอย่างเดียว มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 20:1 ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นตลอดระยะเวลาการหมักชุดการทดลองที่เติมมูลวัวมีปริมาณเชื้อรา และแอคติโนมัยซิสสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมมูลสัตว์ และชุดการทดลองที่เติมมูลไก่มีปริมาณแอคติโนมัยซิสสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมมูลสัตว์ (Thambirajah *et al*., 1995) และการเปรียบเทียบการผลิตปุ๋ยหมักระหว่างระบบเปิดและระบบปิด ซึ่งระบบเปิดใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร และมูลไก่เป็นวัสดุหมัก ควบคุมปริมาณความชื้นให้อยู่ในระดับ 65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และกลับกองปุ๋ยหมักสม่ำเสมอ ส่วนระบบปิดใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และมูลไก่เป็นวัสดุหมัก คลุมกองปุ๋ยด้วยเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) และมีการให้อากาศ 250 ตัน/วัน/ลูกบาศก์เมตร ผ่านท่อด้านล่างของกองปุ๋ยหมักด้วยปั๊มอากาศไฟฟ้า พบว่า กองปุ๋ยหมักแบบระบบเปิด ใช้ระยะเวลาในการหมักเพียง 50 วัน ซึ่งน้อยกว่าปุ๋ยหมักแบบระบบปิด (83 วัน) ทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 16:1 และมีธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 2.34, 0.30 และ 0.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Suhaimi and Ong, 2001)

2.5.3 **กากตะกอนดีแคนเตอร์**

กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนสูง คือ 2.37 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ดังนั้นสามารถนำกากตะกอนดีแคนเตอร์มาเป็นสารเร่ง ดังกรณีการผลิตปุ๋ยหมักจากเส้นใยปาล์มกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ในอัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 5:1 โดยใช้หัวเชื้อพด.1 ปรับความชื้นให้ได้ 50-70 เปอร์เซ็นต์ และปรับพีเอชเป็น 7-8 โดยใช้ขี้เถ้าปาล์ม พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของเส้นใยปาล์มและกากตะกอนดีแคนเตอร์ เท่ากับ 1:1 ซึ่งใช้ระยะเวลาในการหมักน้อยที่สุด คือ 40-45 วัน โดยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 18:1 และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 2.26, 0.86 และ 1.85 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภานุพงศ์ บางรักษ์, 2548)

2.5.4 **ดิน หรือตะกอนดิน**

ในกรณีที่จัดหาปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักไม่ได้ สามารถใช้ดิน หรือตะกอนดินทดแทนได้ เพราะมีจุลินทรีย์และธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายเศษพืชเช่นกัน (หฤษฎี ภัทรดิลก, 2542) ซึ่งดินในสภาวะมีอากาศมี ferric oxide และ hydroxide เป็นองค์ประกอบหลักอยู่เสมอ เนื่องจากเปลือกโลกมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่มากเป็นอันดับ 4 รองจาก O, Si และ Al ในสภาวะมีอากาศออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน แต่ในสภาวะไร้อากาศไนเทรต (NO_3^-) ถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวแรก เพราะให้พลังงานมากรองจากออกซิเจน แต่ไนเทรตเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) เป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) อย่างรวดเร็วและหมดไปภายในไม่กี่ชั่วโมง แล้วยังมีอยู่น้อยมากในดิน หรือถ้ามีปริมาณมากก็หมดไปภายใน 2 วัน จากนั้น MnO_2 ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน แล้วจึงเป็น Fe_2O_3 หรือ $Fe(OH)_3$ และ SO_4^{-2} ตามลำดับ แต่เนื่องจากดินมักมี MnO_2 ไม่มากนัก ภาระการเป็นตัวรับอิเล็กตรอนหลักภายในดินจึงเป็น Fe (III) (ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา, 2546)

จากสมบัติของดินดังกล่าว ชาติ เจียมชัยศรี และอุบลวรรณ นนทพันธ์ (2543) ได้นำดินนามาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน เพื่อช่วยเร่งกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์และพิสูจน์ว่าหัวเชื้อปุ๋ยหมักไฮเทคมีคุณภาพ แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตหัวเชื้อ โดยทดลองเปรียบเทียบกับตัวเร่งการย่อยสลายที่หาได้ง่าย คือ มูลกระบือ และมูลคน ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง คือ

ชุดการทดลองที่ 1 มูลฝอยชุมชน 2 ตัน ผสมหัวเชื้อไฮเทค 3 ถุงๆ ละ 250 กรัม ปุ๋ยยูเรียและปุ๋ยหินฟอสเฟตผง อย่างละ 3 กิโลกรัม

ชุดการทดลองที่ 2 มูลฝอยชุมชน 2 ตัน ผสมกับมูลกระบือ 92.6 กิโลกรัม

ชุดการทดลองที่ 3 มูลฝอยชุมชน 2 ตัน ผสมกับมูลคน 92.6 กิโลกรัม

ชุดการทดลองที่ 4 มูลฝอยชุมชน 2 ตัน

โดยที่ทั้ง 4 ชุดการทดลอง กลบทับด้วยดินนา 693 กิโลกรัม พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้มูลกระบือกับดินนาการย่อยสลายดีที่สุด โดยเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในช่วง 3 เดือนได้ค่าพิสัย 62.1-79.6 เปอร์เซ็นต์ บ่งชี้ว่า จุลินทรีย์เกิดกระบวนการหายใจตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ดังนั้นดินนาที่ใส่ลงไปกลบทับกองปุ๋ยหมักจึงเป็นตัวรับอิเล็กตรอนหลักสำหรับการหายใจแบบไร้อากาศ เพราะการรดน้ำทำให้เศษดินก้อนเล็กๆ แทรกซึมลงไปสัมผัสกับขยะได้มากพอให้ถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้ แต่มีปัญหา คือ ชนิดของตัวรับอิเล็กตรอนว่าควรใช้ดินนาหรือดินแดง เพราะดินแดงมีเหล็กเป็นองค์ประกอบสูง (ตารางที่ 6) นอกจากนั้นยังมีลักษณะร่วนซุยและง่ายต่อการจัดการ ในขณะที่ดินนามีสภาวะเป็นดินเหนียวอยู่ในที่ลุ่มจึงต้องตากให้แห้ง และต้องเสียเวลาในการบดให้มีขนาดเล็กก่อนนำมาใช้ จึงมีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการใช้ดินนา ดินแดง และมูลกระบือ พบว่า เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยหมักอินทรีย์ที่ผลิตได้จากมูลฝอยชุมชนจากมากไปหาน้อยที่สุด คือ เมื่อใส่ดินแดง > ดินนา > ดินนาร่วมกับมูลกระบือ > มูลกระบือ > ดินแดงร่วมกับมูลกระบือ และได้สนับสนุนสมมุติฐานที่ว่าการมีเหล็กมากอย่างเด่นชัดในดินแดงเป็นตัวรับอิเล็กตรอนหลักของพวก anaerobes เพื่อให้พวก anaerobes ได้พลังงานจากการหายใจ

ตารางที่ 6 ตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีของดินแดง

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์	องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
SiO_2	59.10	MgO	1.50
Al_2O_3	19.05	Na_2O	1.50
$\sum(FeO+Fe_2O_3)$	6.35	K_2O	1.00
CaO	4.00	MnO	0.11
TiO_2	1.03	P_2O_5	0.02

ที่มา : Akyuz และคณะ (2000)

2.5.5 **หัวเชื้อจุลินทรีย์**

หัวเชื้อจุลินทรีย์ หมายถึง เชื้อจุลินทรีย์ที่คัดเลือกแล้วว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายวัสดุหมัก อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป สามารถนำมาใช้ได้สะดวก ปกติการหมักโดยไม่ใช้เชื้อเร่งใช้เวลาประมาณ 3 เดือน แต่ถ้าใช้เชื้อเร่งใช้เวลาเพียง 45 วัน และหากใช้เชื้อเร่งพร้อมกับกลับ

กองปุ๋ยหมักเป็นระยะและให้ความชื้นสม่ำเสมอ ทำให้วัสดุหมักสลายตัวเร็วขึ้น (หฤษฎี ภัทรดิลก, 2542) ตัวอย่างเชื้อเร่ง ได้แก่

ก. พด.1 (กรมพัฒนาที่ดิน หมายเลข 1) กรมพัฒนาที่ดินได้ศึกษาวิจัยคัดเลือกกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ เพื่อย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรได้เป็นอย่างดี จุลินทรีย์กลุ่มนี้อยู่ในลักษณะเชื้อผสม เรียกว่า ผลิตภัณฑ์สารเร่ง พด.1 ซึ่งในสารเร่ง พด.1 ใน 1 ซอง มีน้ำหนัก 100 กรัม สำหรับหมักวัสดุหมัก 1 ตัน ประกอบด้วย แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Bacillus* sp. เชื้อรา 4 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Scopulariopsis* sp., *Helicomyces* sp., *Chaetomium* sp. และ *Trichoderma* sp. และแอคติโนมัยซิส 2 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Streptomyces* sp. โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 10^{10} เซลล์ต่อกรัม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

สมบัติของจุลินทรีย์ใน พด.1

- เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อย่อยสลายเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักในเศษพืชได้ดี สามารถเจริญได้ดีในสภาพดินที่มีอินทรียวัตถุสูง มีความสามารถในการใช้อาหารจากอินทรียวัตถุ และเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ในดินได้ดีกว่า ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นโทษซึ่งมีอยู่ในดินไม่สามารถเจริญแข่งขันได้
- เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ และเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส
- เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์

ข. ซุปเปอร์ พด.1 กรมพัฒนาที่ดินได้ผลิตซุปเปอร์ พด.1 โดยคัดเลือกกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูง ในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่ย่อยสลายยาก เพื่อผลิตปุ๋ยหมักในเวลารวดเร็วและมีคุณภาพสูงขึ้น ซุปเปอร์ พด.1 ใน 1 ซอง มีน้ำหนัก 100 กรัม สำหรับหมักวัสดุ 1 ตัน ประกอบด้วย เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส 6 ชนิด (แอคติโนมัยซิส 2 สายพันธุ์ มีปริมาณ จุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่ต่ำกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัม และเชื้อรา 4 สายพันธุ์ มีปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่ต่ำกว่า 10^5 เซลล์ต่อกรัม) และจุลินทรีย์ย่อยสลายไขมัน 2 ชนิด (แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ มีปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่ต่ำกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัม) และปริมาณจุลินทรีย์รวมทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 10^{10} เซลล์ต่อซอง โดยมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (สุภาวดี บุญธรรม, 2550)

สมบัติของจุลินทรีย์ในซุปเปอร์ พด.1

- เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศในกระบวนการย่อยสลาย
- สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 45-65 องศาเซลเซียส
- ต้องการความชื้นในการเจริญเติบโตระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์
- สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอช 6-8

จุดเด่นของซุปเปอร์ พด.1

- มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารประกอบเซลลูโลสที่ย่อยสลายยาก
- สามารถย่อยสลายน้ำมัน และไขมันในวัสดุหมัก
- ผลิตปุ๋ยหมักในระยะเวลารวดเร็ว และมีคุณภาพ
- เป็นจุลินทรีย์ที่ทนต่ออุณหภูมิสูง
- เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสปอร์จึงเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นาน
- สามารถย่อยวัสดุเหลือใช้ได้หลากหลายและครอบคลุมมากขึ้น

ค. ซุปเปอร์ พด.2 เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีสมบัติในการย่อยสลายวัสดุการเกษตรในลักษณะสด อวบน้ำ หรือมีความชื้นสูง เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำ โดยดำเนินกิจกรรมทั้งในสภาพที่มีอากาศ และไม่มีอากาศ ประกอบด้วย จุลินทรีย์ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน และแบคทีเรียละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (สุภาวดี บุญธรรม, 2550)

สมบัติของจุลินทรีย์ในซุปเปอร์ พด.2

- เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ ได้แก่ ยีสต์ และจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก
- เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งที่มีอากาศ และไม่มีอากาศ ได้แก่ แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน และแบคทีเรียละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส
- เจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 30-35 องศาเซลเซียส
- เจริญเติบโตได้ดีที่พีเอช 4-6

จุดเด่นของซุปเปอร์ พด.2

- เป็นจุลินทรีย์ที่ผ่านการคัดเลือกซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม
- เป็นจุลินทรีย์ที่ทนกรด
- สามารถหมักและย่อยวัสดุได้หลายชนิดทั้งผัก ผลไม้ เปลือกไข่ หอยเชอรี่ กระดูก ก้างปลา โปรตีน และไขมัน
- ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ทำให้เก็บรักษาได้นาน
- ช่วยให้พืชแข็งแรง ต้านทานต่อการทำลายของโรคและแมลง
- สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในเวลาสั้นและได้คุณภาพ

ง. อีเอ็ม (Effective Microorganisms; EM) โดยมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์รวมกัน 5 กลุ่ม (สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์, 2547) ได้แก่

- **เชื้อรามีเส้นใย** (filamentous fungi) ทำหน้าที่ช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุให้มีอณูเล็กลง ทำให้พืชสามารถดูดเอาไปใช้เป็นอาหารได้ง่าย จุลินทรีย์กลุ่มนี้ทำงานได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจน ต้านทานความร้อนได้ดี ปกติใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตเหล้า ผลิตปุ๋ยหมัก และใช้หมักแอลกอฮอล์ จุลินทรีย์กลุ่มนี้ ประกอบด้วย *Pennicillum* spp., *Trichoderma* spp., *Fusarium* spp., *Mucor* spp. และ *Rhizopus* spp. เป็นต้น

- **จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง** (photosynthetic microorganisms) ทำหน้าที่สังเคราะห์สารอินทรีย์ให้แก่ดิน เช่น ธาตุไนโตรเจน กรดอะมิโน น้ำตาล วิตามิน ฮอร์โมน และอื่นๆ ช่วยสร้างความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันกับจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศในการสังเคราะห์ธาตุไนโตรเจนในดิน จุลินทรีย์กลุ่มนี้ ประกอบด้วย *Chorobium limicola* และ *Choroflexus auratiacus*

- **จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก** (zynogumic or ferment microorganisms) ทำหน้าที่เป็นตัวกระทำให้ดินเปลี่ยนจากสภาพดินต้านทานโรคเข้าสู่วงจรการย่อยสลายแบบหมักและหมักสังเคราะห์ ช่วยลดอัตราการพังทลายของดิน ป้องกันโรคและแมลง ช่วยบำบัดมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษต่างๆ และเป็นหัวเชื้อในการผลิตปุ๋ยหมัก จุลินทรีย์กลุ่มนี้ ประกอบด้วย *Streptomyces* spp. และ *Trichoderma* spp.

- **จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน** (nitrogen fixing microorganisms) ทำหน้าที่ตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศ เพื่อผลิตสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ แป้ง น้ำตาล กรดไขมัน ฮอร์โมน และวิตามิน จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีทั้งสาหร่ายและพวกแบคทีเรีย ได้แก่ *Azotobactor* spp., *Anabaena* spp. และ *Nostoc* spp. เป็นต้น

- **จุลินทรีย์สร้างกรดแลคติก** (lactic acids) สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยไม่ต้องการอากาศ มีประสิทธิภาพในการต่อต้านเชื้อรา เชื้อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดผลเสีย ทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพดินเน่าเปื่อยหรือดินที่ก่อให้เกิดโรคให้กลายเป็นดินต้านทานโรค โดยช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชต่างๆ ให้มีจำนวนน้อยลงหรือหมด จุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นพวกแลคโตบาซิลลัส เช่น *Lactobacillus casei*

ผลการศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและแกลบ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์จาก 3 แหล่ง คือ อีเอ็ม พด.1 และน้ำหมักมูลวัว พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ช่วยลดระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยหมัก (บุปผา คำวัน, 2545) สอดคล้องกับการศึกษาของสมศักดิ์ วังใน และคณะ (2539) ที่ผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าว พบว่า เชื้อจุลินทรีย์พด.1 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพในกองปุ๋ยหมักสูงสุด รองมา คือ มูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง ไฮเทค และอีเอ็ม ตามลำดับ

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เซลลูโลสจัดเป็นสารประกอบพวกโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่ง ที่มีมากในผนังเซลล์ของพืช มีโครงสร้างของ

โมเลกุลเป็นแบบไม่มีกิ่งก้านสาขา ประกอบด้วย หน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสหลายๆ หน่วยมาต่อกันเป็นเส้นยาว ด้วยพันธะแบบ β(1-4)-glycosidic bond ซึ่งเซลลูโลสไม่ละลายด้วยน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ หรือสารละลายด่างอ่อน แต่ละลายในกรดและด่างแก่ เมื่อถูกย่อยสลายโดยสมบูรณ์ด้วยกรดหรือเอนไซม์จะได้น้ำตาลกลูโคสอย่างเดียว แต่ถ้าการย่อยสลายตัวไม่สมบูรณ์จะได้เซลโลไบโอส (cellobiose) ซึ่งเป็นไดแซคคาไรด์ (disaccharide) และได้โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) (สมศักดิ์ วังใน, 2528)

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายเซลลูโลส แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ (สมศักดิ์ วังใน, 2528) คือ

ก. Aerobic mesophilic microflora กลุ่มที่ต้องการออกซิเจน เจริญได้ในอุณหภูมิระหว่าง 15-45 องศาเซลเซียส และเจริญได้ดีในอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส

ข. Anaerobic mesophilic microflora กลุ่มที่ไม่ต้องการออกซิเจน เจริญได้และเจริญได้ดีในขอบเขตของอุณหภูมิเช่นเดียวกับ aerobic mesophilic microflora

ค. Thermophilic microflora กลุ่มที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิระหว่าง 45-65 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นแบคทีเรียใน species *Clostridium thermocellum* และ *C. thermocelluaseum* ซึ่งเป็นกลุ่มไม่ต้องการออกซิเจน สำหรับแอคติโนมัยซิส ได้แก่ *Thermoactinomyces* sp. และเชื้อรา ได้แก่ *Trichoderma reesei* ซึ่งเป็นกลุ่มต้องการออกซิเจน ปกติใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตปุ๋ยหมัก

ตัวอย่างชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลส

Fungi	Bacteria	Actinomyces
Alternaria tennis	*Achromobacter* sp.	*Micromonaspora valgaris*
Aspergillus amstelodami	*Angiococcus* sp.	*Nocardia brasilensis*
Cephalosporium sp.	*Bacillus subtitis*	*Streptomyces thermofuscus*
Cladosporium herbarum	*B. stearothermophilus*	*Streptomyces thermophilus*
Coprinus cinereus	*Cellfalcicula* sp.	*Streptomyces thermoviolaceus*
Geotrichum candidum	*Cellulomonas* sp.	*Streptomyces thermovulgaris*
Paecilomyces	*Cellvibrio* sp.	*S. violacesus-ruber*
Popyporus versicolor	*Clostridium* sp.	*Termoactinomyces valgaris*
Scopulariopsis brevicantis	*Myxococcus virescens*	*Thermomonosphora curvarta*
Trichoderma viridae	*Myxococcus fulvus*	*Thermomonosphora fusca*
Aspergillus fumigatus	*Polyangium* sp.	*Thermopolyspora polyspora*
Chetomium thermophilum	*Pseudomonas* sp.	*Streptosporangium* sp.
Humicola insolens	*Sorangium* sp.	
Humicola lanuginose	*Sporocytophaya* sp.	
Mucor pusillus	*Thiolobacillus thiooxidans*	
Penicillium duponti	*Thiolobacillus denitrificans*	
Sporotrichum thermophile		
Talaromyces thermophile		

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2540)

ยังมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายวัสดุหมักต่างๆ ให้เป็นปุ๋ยหมัก ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้รวมทั้ง พด.1 ไฮเทค และอีเอ็ม มีสมบัติในการผลิตเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ เอนไซม์เหล่านี้ ได้แก่ protease, cellulase และ acid phosphatase เป็นต้น ซึ่งเอนไซม์ที่ได้มีการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ เพื่อหาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์มากที่สุด คือ เอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในจุลินทรีย์หลายชนิด จัดเป็นกลุ่มของเอนไซม์ (multiple enzymes) ที่ประกอบด้วยเอนไซม์ 4 ชนิด (Fan and Lee, 1983) ได้แก่

ก. Endo-b-1, 4-glucan glucanohydrolase (EC.3.2.1.4) หรือ Endo-β-1, 4-glucanase ทำหน้าที่ย่อยโมเลกุลของเซลลูโลสทั้งในรูปที่เป็นระเบียบ (crystalline) และไม่เป็นระเบียบ (amorphous) รวมทั้งโมเลกุลของ cellooligomer ที่ตำแหน่งพันธะ β-1, 4 แบบสุ่มทำให้ได้ oligomer และเซลโลไบโอส

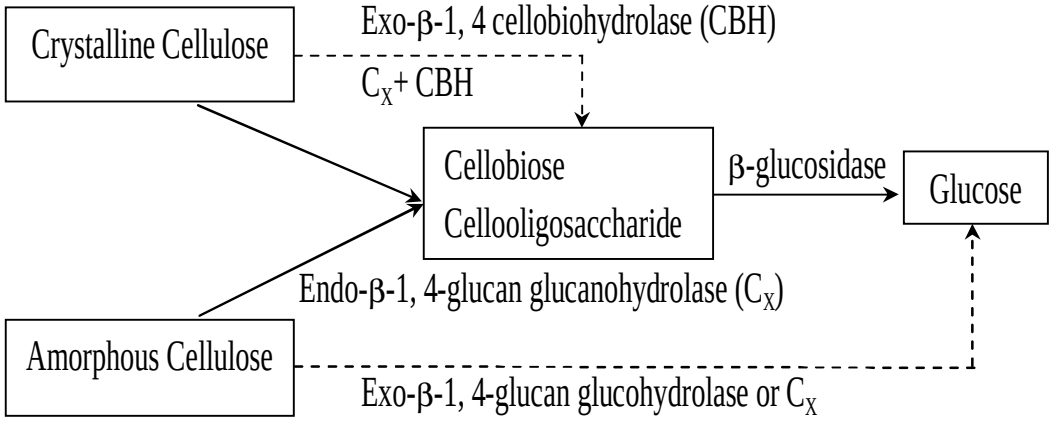
ข. Exo-b-1, 4-glucan cellobiohydrolase (EC.3.2.1.91) หรือ Exo-β-1, 4 cellobiohydrolase ทำหน้าที่ร่วมกับเอนไซม์ Endo-β-1, 4-glucan glucanohydrolase ในการย่อยโมเลกุลของเซลลูโลส โดยย่อยจากปลายด้าน non-reducing ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายส่วนใหญ่ คือ เซลโลไบโอส

ค. b-glucosidase (EC.3.2.21) ทำหน้าที่ย่อยโมเลกุลของ cellooligosaccharide และ cellobiose ทำให้ได้กลูโคส

ง. Exo-b-1, 4-glucan glucohydrolase (EC.3.2.1.7.4) หรือ Exo-β-1, 4-glucosidase ทำหน้าที่แยกหน่วยกลูโคสออกจากปลายด้าน non-reducing ของเซลลูโลส กลายเป็นกลูโคสโดยตรงโดยไม่เกิดเซลโลไบโอส เอนไซม์นี้พบในจุลินทรีย์เพียงไม่กี่สายพันธุ์ เช่น *Trichoderma reesei.*

ซึ่งกลไกการย่อยสลายโมเลกุลเซลลูโลสทั้งในรูปที่เรียงตัวเป็นระเบียบ และไม่เป็นระเบียบได้น้ำตาลกลูโคส ดังแสดงในภาพที่ 8

จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส เช่น *Chetomium* sp. และ *Trichoderma* sp. เช่นในการศึกษาการใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งคาร์บอน โดยใช้แหล่งไนโตรเจน 4 แหล่งที่ต่างกัน คือ $(NH_4)_2SO_4$, KNO_3, yeast extract และ peptone มาผลิตเอนไซม์เซลลูเลส โดยใช้เชื้อ *Chetomium globosum* (strain 414) พบว่า ชนิดเอนไซม์ที่ผลิตได้มากที่สุด คือ β-glucosidase โดยมี peptone เป็นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสม (Umikalsom *et al.*, 1997) นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการย่อยฟางข้าวด้วยสลัดจ์ของเสียโรงพยาบาล พบว่า เมื่อใส่เชื้อ *Trichoderma* spp. ทำให้อัตราการย่อยสลายฟางข้าวเพิ่มสูงขึ้นกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ (Sancom *et al.*, 2006)



หมายเหตุ: ⟶ = ปฏิกิริยาหลัก ⇢ = ปฏิกิริยารอง

ภาพที่ 8 ลำดับการย่อยสลายเซลลูโลสด้วยเอนไซม์
ที่มา: Fan และ Lee (1983)

2.6 **หลักในการพิจารณากองปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว**

เมื่อปุ๋ยหมักเสร็จสมบูรณ์แล้ว มีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก ทั้งที่มองเห็นได้และไม่ได้ ที่มองเห็นได้ คือ ชิ้นส่วนของวัสดุหมักมีขนาดเล็กลงและยุบตัวลงกว่าเมื่อต้นเริ่มหมัก สีของวัสดุหมักเปลี่ยนไป เกิดความร้อนและควันขึ้นบนกองปุ๋ยหมัก ส่วนที่มองเห็นไม่ได้ คือ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายวัสดุหมักให้มีขนาดเล็กลงจนกลายเป็นปุ๋ยหมัก ข้อสังเกตว่าปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้วก่อนนำไปใช้ มีดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

ก. สีของกองปุ๋ยหมักเข้มขึ้นกว่าเมื่อเริ่มต้นหมัก โดยอาจมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ

ข. อุณหภูมิภายในและภายนอกกองปุ๋ยหมักใกล้เคียงกัน หรือแตกต่างกันน้อยมาก

ค. เมื่อใช้นิ้วมือบี้ตัวอย่างปุ๋ยหมัก พบว่า วัสดุหมักยุ่ย มีลักษณะขาดออกจากกันได้ง่าย และไม่แข็งกระด้าง

ง. พบต้นพืชที่มีระบบรากลึกขึ้นบนกองปุ๋ยหมัก บ่งชี้ว่า ปุ๋ยหมักสลายตัวดีแล้ว

จ. วัสดุหมักเมื่อสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักมีการยุบตัวลงเหลือประมาณ 1/3-1/4 ของปริมาตรเดิม

ฉ. กลิ่นของปุ๋ยหมัก ถ้าเป็นปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์ มีกลิ่นคล้ายดินธรรมชาติ แต่ถ้ามีกลิ่นฉุนหรือกลิ่นฟาง บ่งชี้ว่า กระบวนการย่อยสลายยังดำเนินการไม่เสร็จสมบูรณ์

ช. วิเคราะห์การหาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20:1 บ่งชี้ว่า เป็นปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์

2.7 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

ด้วยปัจจุบันมีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ตลอดจนมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มคุณค่าของธาตุอาหารพืช ทำให้มีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร กรมวิชาการเกษตรจึงได้กำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 8 (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ตารางที่ 8 รายละเอียดกำหนดมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

ลำดับที่	ลักษณะ	เกณฑ์กำหนด	การวิเคราะห์
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร	Dry Screen Analysis ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดรูเปิด 12.5x12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	Gravimetric Method
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	Wet Screen Analysis ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดรูเปิด 5 มิลลิเมตร
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี	วิธีตรวจพินิจ
5	ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter; OM)	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	ประยุกต์วิธี Walkley and Black
6	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5	1/10 (sample/water extract), pH meter
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)	ไม่เกิน 20:1	เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน/เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด
8	ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร	Conductivity meter

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะ	เกณฑ์กำหนด	การวิเคราะห์
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก		
	ไนโตรเจนทั้งหมด (total N)	ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	Kjeldahl Method
	ฟอสฟอรัส (total P_2O_5)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	ประยุกต์วิธี Spectrophotometric Molybdovanadophosphate Method
	โพแทสเซียม (total K_2O)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	Flame Photometer Method
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์	การทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination Index)
11	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Hydride Vapor Generator และ Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES
	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES
	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะ	เกณฑ์กำหนด	การวิเคราะห์
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Cold Vapor Mercury Analyzer Flameless Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2548)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางกายภาพ เคมี และชีวเคมีของกองปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีการเติมแหล่งไนโตรเจนต่างกัน คือ มูลไก่หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ และการเติมดินแดง ในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักและการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหมักโดยพิจารณาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และระยะเวลาการหมักของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีการเติมแหล่งไนโตรเจนต่างกัน คือ มูลไก่หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ และการเติมดินแดง ในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักและการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

3. เพื่อเปรียบเทียบธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีการเติมแหล่งไนโตรเจนต่างกัน คือ มูลไก่หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ และการเติมดินแดง ในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักและการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลที่ได้เป็นแนวทางในการจัดการวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม คือ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์ โดยวิธีการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยต่อไป

2. ทำให้ทราบถึงสมบัติของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เพื่อใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยต่อไป

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

1. วัสดุ และอุปกรณ์การวิจัย

1.1 วัสดุ

1.1.1 วัสดุหมัก

1) ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (ตัดให้มีขนาด 2-5 เซนติเมตร) (ภาพที่ 9) ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เลขที่ 99/9 หมู่ 2 ถนนสิเกา-ควนกุน ตำบลกะลาเส อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง

2) มูลไก่อบแห้งอัดเม็ด (บดละเอียด) (ภาพที่ 10) ตราไก่ ผลิตโดยสุรชัยฟาร์ม จำกัด เลขที่ 35/8 หมู่ 3 ตำบลบ้านบึง อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี

3) กากตะกอนดีแคนเตอร์ (ภาพที่ 11) ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เลขที่ 99/9 หมู่ 2 ถนนสิเกา-ควนกุน ตำบลกะลาเส อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง

4) ดินแดง (บดละเอียด) (ภาพที่ 12) เก็บตัวอย่างจากบ้านเขาสอยดาว อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา

1.1.2 **จุลินทรีย์** (สุภาวดี บุญธรรม, 2550)

1) สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 ประกอบด้วย เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส 6 ชนิด (แอคติโนมัยซิส 2 สายพันธุ์ มีปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่ต่ำกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัม และเชื้อรา 4 สายพันธุ์ มีปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่ต่ำกว่า 10^5 เซลล์ต่อกรัม) และจุลินทรีย์ย่อยสลายไขมัน 2 ชนิด (แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ มีปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่ต่ำกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัม)

2) สารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ประกอบด้วย จุลินทรีย์ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน และแบคทีเรียละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 และสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาที่ดิน เขต 12 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดสงขลา กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยเชื้อจุลินทรีย์สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 และสารเร่งซุปเปอร์ พด.2 บรรจุในซองฟอล์ย เคลือบพลาสติกชนิดหนา และผนึกสนิททั้งสี่ด้าน ไม่มีรอยรั่ว อากาศถ่ายเทไม่ได้ สามารถป้องกันน้ำและความชื้น

ได้อย่างดี สะดวกในการนำมาใช้และเก็บรักษา พร้อมทั้งแจ้งวันผลิตและวันหมดอายุภายใน 1 ปี และระบุว่าห้ามซื้อขายบนซองที่บรรจุ ซึ่งการทดลองครั้งนี้ได้แจ้งวันที่ผลิต (MFG) ตรงกับวันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2550 และแจ้งวันหมดอายุ (EXP) ตรงกับวันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2551 โดยทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปทดลอง

ภาพที่ 9 ลักษณะของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (ตัดให้มีขนาด 2-5 เซนติเมตร)

ภาพที่ 10 ลักษณะของมูลไก่ (บดละเอียด)

ภาพที่ 11 ลักษณะของกากตะกอนดีแคนเตอร์

ภาพที่ 12 ลักษณะของดินแดง (บดละเอียด)

1.1.3 **สารเคมี**

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์อินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และเอนไซม์เซลลูเลส

1.1.4 **อาหารเลี้ยงเชื้อ**

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อ สำหรับนับปริมาณจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมัก ได้แก่ nutrient agar (NA), potato dextrose agar (PDA), yeast extract agar (YA) และ yeast-malt extract agar (YMA) ซึ่งอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นอาหารสำเร็จรูปของบริษัท Merck มีขั้นตอนการเตรียม คือ นำอาหารเลี้ยงเชื้อในปริมาณที่ระบุไว้ตามฉลากข้างกระป๋องมาละลายกับน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตร.นิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

1.2 **อุปกรณ์**

1.2.1 **อุปกรณ์สำหรับทำปุ๋ยหมัก**

1) ถังพลาสติกทรงกลมสีดำ ขนาดความจุ 20 แกลลอน (ภาพที่ 13)
2) พลั่วสำหรับการผสมวัสดุหมักและกลับกองปุ๋ยหมัก
3) บัวรดน้ำและถังน้ำ

1.2.2 **อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก**

1) ถุงพลาสติก
2) ถาดอะลูมิเนียม
3) ตาชั่ง
4) ถุงมือ

1.2.3 **อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์วัสดุหมักและตัวอย่างปุ๋ยหมัก**

1) เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
2) เครื่อง UV-visible spectrophotometer ผลิตภัณฑ์ Shimadzu รุ่น UV 1601
3) เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่างแบบดิจิตอล ผลิตภัณฑ์ Russell รุ่น RL 150
4) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity meter) ผลิตภัณฑ์ WTW รุ่น LF 323
5) เครื่องชั่งความละเอียด 3 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ Mettler Toledo รุ่น PB 303-S
6) เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ Mettler Toledo รุ่น AB 204
7) เครื่องกวนสาร (magnetic stirrer) ผลิตภัณฑ์ Framo รุ่น M 21/1
8) แท่งกวน (magnetic bar)
9) เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) Sorvall รุ่น RT 7, USA

10) ตู้ดูดความชื้น (desiccator) ผลิตภัณฑ์ Electoronic hygrostat

11) เครื่องปั่นตัวอย่าง (blender) ผลิตภัณฑ์ Panasonic รุ่น MX-795N

12) ตู้อบความร้อน (hot air oven) ผลิตภัณฑ์ Memmert รุ่น UM 600

13) ตู้บ่มเชื้อ (incubator) ผลิตภัณฑ์ Memmert รุ่น BM 700

14) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ผลิตภัณฑ์ Memmert รุ่น W 760

15) เตาไมโครเวฟ (microwave) ผลิตภัณฑ์ Sharp รุ่น R-311

16) เครื่องตีบดตัวอย่าง (stomacher)

17) เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (shaking water bath) ผลิตภัณฑ์ Heto รุ่น SBD 50 BIO-1

18) หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ผลิตภัณฑ์ Tomy รุ่น SS-325

19) เครื่องเขย่าผสมสารละลาย (vortex mixer) ผลิตภัณฑ์ Fisher scientific รุ่น 231

20) ตู้ดูดควัน (hood) ผลิตภัณฑ์ Major supper flow fume cupboard

21) ชุดอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด และโพแทสเซียม เช่น เครื่องกลั่นของเคลดาล (Kjeldahl digestion apparatus)

22) เครื่องแก้วชนิดต่างๆ ได้แก่ หลอดทดลอง ขวดรูปชมพู่ บิวเรตต์ บีกเกอร์ และขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) เป็นต้น

2. สถานที่ศึกษาวิจัย

ดำเนินการหมักปุ๋ยบริเวณพื้นที่ว่างชั้น 1 คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม และตรวจวิเคราะห์วัสดุหมักและตัวอย่างปุ๋ยหมัก ณ ห้องปฏิบัติการ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

การหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

การหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

ภาพที่ 13 ลักษณะของถังพลาสติกทรงกลมสีดำ ขนาดความจุ 20 แกลลอน

3. **การดำเนินการวิจัย**

3.1 **การหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน**

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design; CRD) ประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 **การหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก** ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ

ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

โดยมีอัตราส่วนวัสดุหมักดังแสดงในตารางที่ 9 ทำการหมักในถังพลาสติกทรงกลมสีดำ ขนาดความจุ 20 แกลลอน ซึ่งเจาะรูบริเวณรอบถัง ใน 1 ถัง มี 10 แถว โดยมีระยะห่างระหว่างแถว เท่ากับ 11 เซนติเมตร ซึ่งในแต่ละแถวมี 7 รู โดยแต่ละรูมีเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ 1.5

เซนติเมตร และมีระยะห่างระหว่างรู เท่ากับ 6 เซนติเมตร เพื่อเป็นช่องทางให้อากาศถ่ายเทเข้าไปทำปฏิกิริยากับวัสดุหมัก และเติมหัวเชื้อปุ๋ยหมักซุปเปอร์ พด.1 (100 กรัม/น้ำ 20 ลิตร/วัสดุหมัก 1 ตัน) ระหว่างการหมักควบคุมปริมาณความชื้นให้อยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้น้ำธรรมดา วิธีการตรวจสอบปริมาณความชื้นอย่างง่ายๆ คือ การสอดมือเข้าไปในกองปุ๋ยหมักให้ลึกและหยิบวัสดุหมักภายในกองปุ๋ยหมักมาบีบดู ถ้ามีน้ำติดฝ่ามือหรือมีน้ำไหลออกมาตามนิ้วมือแสดงว่าไม่ต้องปรับความชื้นอีก แต่ถ้าไม่มีน้ำติดฝ่ามือ และวัสดุหมักแยกออกจากกันได้ง่าย แสดงว่าน้ำน้อยเกินไป (หฤษฎี ภัทรดิลก, 2542) และกลับกองปุ๋ยหมักทุก 7 วัน ด้วยพลั่ว ตลอดระยะเวลาการหมัก 90 วัน (ยกเว้น สัปดาห์แรกกลับกองปุ๋ยหมักในวันที่ 3 และ 7 หลังเริ่มต้นการหมัก)

การทดลองที่ 2 การหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ

ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

An 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

โดยมีอัตราส่วนวัสดุหมักดังแสดงในตารางที่ 9 ทำการหมักในถังพลาสติกทรงกลมสีดำ ขนาดความจุ 20 แกลลอน และเติมหัวเชื้อปุ๋ยหมักซุปเปอร์ พด.2 (25 กรัม/น้ำ 10 ลิตร/วัสดุหมัก 50 กิโลกรัม) ไม่กลับกองปุ๋ยหมัก และระหว่างการหมักควบคุมให้มีความชื้นสูง ตลอดระยะเวลาการหมัก 90 วัน

นอกจากนั้นทั้ง 2 การทดลอง ได้กำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 35:1-40:1 (ยกเว้นชุดควบคุม) ซึ่งคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นตามวิธีของ Tchobanoglous และคณะ (1993) (ภาคผนวก ก.)

ตารางที่ 9 อัตราส่วนวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก และไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการหมัก	อัตราส่วนวัสดุหมัก (กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)			
	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	มูลไก่	กากตะกอนดีแคนเตอร์	ดินแดง
กลับกองปุ๋ยหมัก				
ชุดควบคุม	4.78	-	-	-
Ae 1	4.78	3.89	-	-
Ae 2	4.78	3.89	-	3.17
Ae 3	4.78	-	4.62	-
Ae 4	4.78	-	4.62	5.18
ไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
ชุดควบคุม	4.78	-	-	-
An 1	4.78	3.89	-	-
An 2	4.78	3.89	-	3.17
An 3	4.78	-	4.62	-
An 4	4.78	-	4.62	5.18

หมายเหตุ: อัตราส่วนวัสดุหมัก 3 ส่วน: ดินแดง 1 ส่วน (น้ำหนักเปียกต่อน้ำหนักเปียก) (โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี, 2548)

3.2 การเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก

การเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักประยุกต์วิธีของ Thambirajah และคณะ (1995) โดยเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักตลอดระดับความลึกจากด้านบนวัสดุหมักลงไป จำนวน 4 จุดๆ ละ 100 กรัม แล้วนำมาคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นแบ่งตัวอย่างปุ๋ยหมักออกเป็น 4 ส่วน เลือก 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกัน นำมาคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำซ้ำอีกจนกระทั่งเหลือตัวอย่างปุ๋ยหมักประมาณ 100 กรัม โดยแบ่งตัวอย่างปุ๋ยหมักออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 สำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้น พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณจุลินทรีย์ และเอนไซม์เซลลูเลส สำหรับส่วนที่ 2 นำไปอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่อไป

4. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

4.1 วัสดุหมัก

4.1.1 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก

วัสดุหมักที่ใช้ในการหมักปุ๋ย ประกอบด้วย ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดง ก่อนทำการทดลองนำวัสดุหมักมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์วัสดุหมักที่ใช้ในการหมักปุ๋ย

พารามิเตอร์	**วิธีวิเคราะห์**
ความชื้น (%)	Gravimetric Method (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
พีเอช	1/10 (sample/water extract), pH meter (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	Conductivity meter (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
อินทรีย์คาร์บอน (%)	ประยุกต์วิธี Walkley and Black (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
อินทรียวัตถุ (%)	ประยุกต์วิธี Walkley and Black (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	Kjeldahl Method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)
ฟอสฟอรัส (%)	ประยุกต์วิธี Spectrophotometric Molybdovanadophosphate Method (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
โพแทสเซียม (%)	Atomic absorption spectrophotometer (AOAC, 1990)
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน/เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

4.2 ปุ๋ยหมัก

4.2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ในแต่ละวันทำการวัดอุณหภูมิในเวลา 9.30 น. โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เสียบบริเวณกึ่งกลางของกองปุ๋ยหมัก พร้อมทั้งสังเกตกลิ่น สี ลักษณะเส้นใยทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และการยุบตัวของกองปุ๋ยหมัก ทั้งในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก และไม่กลับกองปุ๋ยหมัก นอกจากนั้นในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักได้วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นทุก 7 วัน โดยใช้วิธี Gravimetric Method (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

4.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

การหมักปุ๋ยแบบกลับกองปุ๋ยหมัก และไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 พารามิเตอร์ ความถี่ และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยหมัก

พารามิเตอร์	**ความถี่วิเคราะห์**	**วิธีวิเคราะห์**
พีเอช	3 วัน/ครั้ง (60 วันหลังเริ่มต้นการหมัก) 5 วัน/ครั้ง (61-90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก)	1/10 (sample/water extract), pH meter (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	3 วัน/ครั้ง (60 วันหลังเริ่มต้นการหมัก) 5 วัน/ครั้ง (61-90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก)	Conductivity Meter (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
อินทรีย์คาร์บอน (%)[1]	0, 3, 6, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก	ประยุกต์วิธี Walkley and Black (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
อินทรียวัตถุ (%)[1]	0, 3, 6, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก	ประยุกต์วิธี Walkley and Black (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)[1]	0, 3, 6, 15, 30, 60 และ 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก	Kjeldahl Method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)
ฟอสฟอรัส (%)[1]	0 และ 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก	ประยุกต์วิธี Spectrophotometric Molybdovanadophosphate Method (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
โพแทสเซียม (%)[1]	0 และ 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก	Atomic absorption spectrophotometer (AOAC, 1990)

ตารางที่ 11 (ต่อ)

พารามิเตอร์	**ความถี่วิเคราะห์**	**วิธีวิเคราะห์**
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน[1]	0, 3, 6, 15, 30, 60 และ 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก	เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน/เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

หมายเหตุ: 1 = สำหรับชุดควบคุม ได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังกล่าว เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน)

4.2.3 **การวิเคราะห์สมบัติทางชีวเคมี**

การหมักปุ๋ยแบบกลับกองปุ๋ยหมัก และไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางชีวเคมี (ยกเว้นชุดควบคุม) คือ

ก. ปริมาณจุลินทรีย์ (Microbial counts) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ คือ นำตัวอย่างปุ๋ยหมัก 10 กรัม ละลายกับน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตร.นิ้ว เป็นเวลา 15 นาที ในปริมาณ 90 มิลลิลิตร จากนั้นทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องตีบดตัวอย่าง (stomacher) เป็นเวลา 2 นาที นำตัวอย่างที่ได้มาทำการเจือจาง และวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์โดยวิธี pour plate ซึ่งจุลินทรีย์ในแต่ละชนิดทำการเลี้ยงในอาหารและสภาวะบ่มที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 12 (ธงชัย คัมภีร์ และคณะ, 2539; Thambirajah *et al*., 1995)

ตารางที่ 12 อาหารเลี้ยงเชื้อและสภาวะบ่มในแต่ละชนิดของจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์	**อาหารเลี้ยงเชื้อ**	**สภาวะบ่ม**
Mesophilic bacteria	Nutrient agar (NA)	35°C 48 hr
Thermophilic bacteria	Nutrient agar (NA)	45°C 48 hr
Mesophilic fungi	Potato dextrose agar (PDA)	30°C 72 hr
Thermophilic fungi	Yeast extract agar (YA)	45°C 72 hr
Thermophilic actinomycetes	Yeast-malt extract agar (YMA)	45°C 72 hr

หมายเหตุ: ความถี่ในการวิเคราะห์ คือ 0, 3, 6, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก

ข. การวิเคราะห์หากิจกรรมเอนไซม์ carboxymethyl cellulase (CMCase) โดยประยุกต์วิธีของ Mandels และ Weber (1969) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ คือ นำตัวอย่างปุ๋ยหมัก 0.5 กรัม เติม citrate buffer (pH = 4.8) 0.5 มิลลิลิตร (blank ใช้ citrate buffer 0.5 มิลลิลิตร) เติม 1 เปอร์เซ็นต์ carboxymethyl cellulase (CMC) 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันก่อนนำไปบ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวิเคราะห์หาน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) โดยวิธี DNS method ตามวิธีการของ Miller (1959) (ภาคผนวก ข.) โดยเติม dinitrosalicylic acid reagent (DNS reagent) 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันก่อนนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำให้เย็นทันทีโดยใช้น้ำประปา เติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันก่อนนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนใสไปทำการเจือจาง 10 เท่า เขย่าให้เข้ากันก่อนนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบหาปริมาณของกลูโคสจากกราฟมาตรฐาน (ภาคผนวก ข.)

ในการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์มีชุดควบคุม ซึ่งเติมสารละลายต่างๆ เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว แต่ไม่ทำการบ่มที่ 50 องศาเซลเซียส โดยนำไปวิเคราะห์หาน้ำตาลรีดิวส์ทันที หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมไปหักออกจากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากชุดการทดลอง ก่อนนำมาคำนวณหาค่ากิจกรรมเอนไซม์

1 ยูนิต หมายถึง ปริมาณเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาย่อยสลายสับสเตรทให้เป็นกลูโคส 1 ไมโครโมล ในเวลา 1 นาที ภายใต้สภาวะที่ทดลอง

วิธีการคำนวณค่ากิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสให้มีหน่วยเป็น ยูนิต/กรัม โดยใช้สูตร

$$\text{ยูนิต/กรัม} = \frac{\text{มิลลิกรัมของกลูโคส} \times 1{,}000 \times \text{จำนวนเท่าของการเจือจางสารละลายเอนไซม์}}{\underset{\text{(กรัม/โมล)}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลกลูโคส}} \times \underset{\text{(นาที)}}{\text{ระยะเวลาการบ่ม}} \times \underset{\text{(กรัม)}}{\text{ปริมาณตัวอย่าง}}}$$

หมายเหตุ: ความถี่ในการวิเคราะห์ คือ 0, 3, 6, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก

5. **การวิเคราะห์ข้อมูล**

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows versions 15.0 (Statistical Package for the Social Science for Windows) (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548) สถิติที่ใช้ในการวิจัย คือ

5.1 **สถิติเชิงพรรณนา**

ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.2 **สถิติเชิงวิเคราะห์**

วิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรหลายตัว (Multivariate Analysis of Variance; MANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งได้ปรับค่าข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่มีการกระจายแบบปกติ และมีความแปรปรวนของชุดข้อมูลแต่ละชุดเท่ากัน

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก

จากการวิเคราะห์สมบัติของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดง ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก พบว่า ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีปริมาณคาร์บอนสูงสุด เท่ากับ 52.36 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง เพราะทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลส (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ (Thambirajah *et al*., 1995) รองลงมา คือ กากตะกอนดีแคนเตอร์ มูลไก่ และดินแดง เท่ากับ 45.01, 14.71 และ 0.84 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 13 ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า กากตะกอนดีแคนเตอร์ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 2.18 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือ มูลไก่ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และดินแดง เท่ากับ 1.51, 0.56 และ 0.12 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากสมบัติของวัสดุหมักที่กล่าวมาแล้ว ส่งผลให้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 93.50:1 ซึ่งเป็นค่าที่สูงและหากนำไปใช้เป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ เนื่องจากจุลินทรีย์ดึงธาตุไนโตรเจนในดินไปใช้ในการเจริญเติบโต เพื่อย่อยสลายทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ทำให้เกิดการแข่งขันการดูดธาตุไนโตรเจนระหว่างจุลินทรีย์และพืช ส่งผลให้พืชเจริญเติบไม่เต็มที่ นอกจากนั้นในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำให้เกิดความร้อน ส่งผลให้น้ำบริเวณผิวหน้าดินระเหยกลายเป็นไอ (Butler *et al*., 2001) ดังนั้นก่อนนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันไปใช้ควรผ่านกระบวนการหมัก ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่เหมาะสมในกระบวนการหมักมีค่าอยู่ระหว่าง 20-40:1 (Neklyudov *et al*., 2008) ซึ่งการทดลองนี้จึงผสมมูลไก่ หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ เพื่อปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในช่วงดังกล่าว เนื่องจากมูลไก่และกากตะกอนดีแคนเตอร์มีปริมาณไนโตรเจนสูง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับเป็นแหล่งไนโตรเจน

ตารางที่ 13 ลักษณะสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ลักษณะสมบัติ	วัสดุหมัก			
	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	มูลไก่	กากตะกอนดีแคนเตอร์	ดินแดง
ความชื้น (%)	20.28 ± 1.26	9.35 ± 0.12	57.25 ± 1.95	7.47 ± 0.29
พีเอช	8.19 ± 0.06	8.00 ± 0.09	7.61 ± 0.17	7.55 ± 0.08
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	2.93 ± 0.11	9.65 ± 0.08	2.78 ± 0.18	0.11 ± 0.01
อินทรีย์คาร์บอน (%)[1]	52.36 ± 0.26	14.71 ± 0.76	45.01 ± 0.45	0.84 ± 0.07
อินทรียวัตถุ (%)[1]	90.27 ± 1.99	25.36 ± 1.30	77.60 ± 0.78	1.45 ± 0.12
ไนโตรเจน (total N) (%)[1]	0.56 ± 0.06	1.51 ± 0.04	2.18 ± 0.05	0.12 ± 0.02
ฟอสฟอรัส (total P_2O_5) (%)[1]	0.95 ± 0.10	2.90 ± 0.15	1.40 ± 0.07	0.95 ± 0.07
โพแทสเซียม (total K_2O) (%)[1]	1.73 ± 0.04	2.46 ± 0.09	2.55 ± 0.14	0.75 ± 0.09
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน[1]	93.50 ± 8.95	9.74 ± 0.26	20.65 ± 0.63	7.11 ± 1.06

หมายเหตุ: 1 = ฐานมวลแห้ง (dry basis)

2. ผลของแหล่งไนโตรเจน คือ มูลไก่หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ และการเติมดินแดง ต่อการเปลี่ยนแปลงปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

2.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ

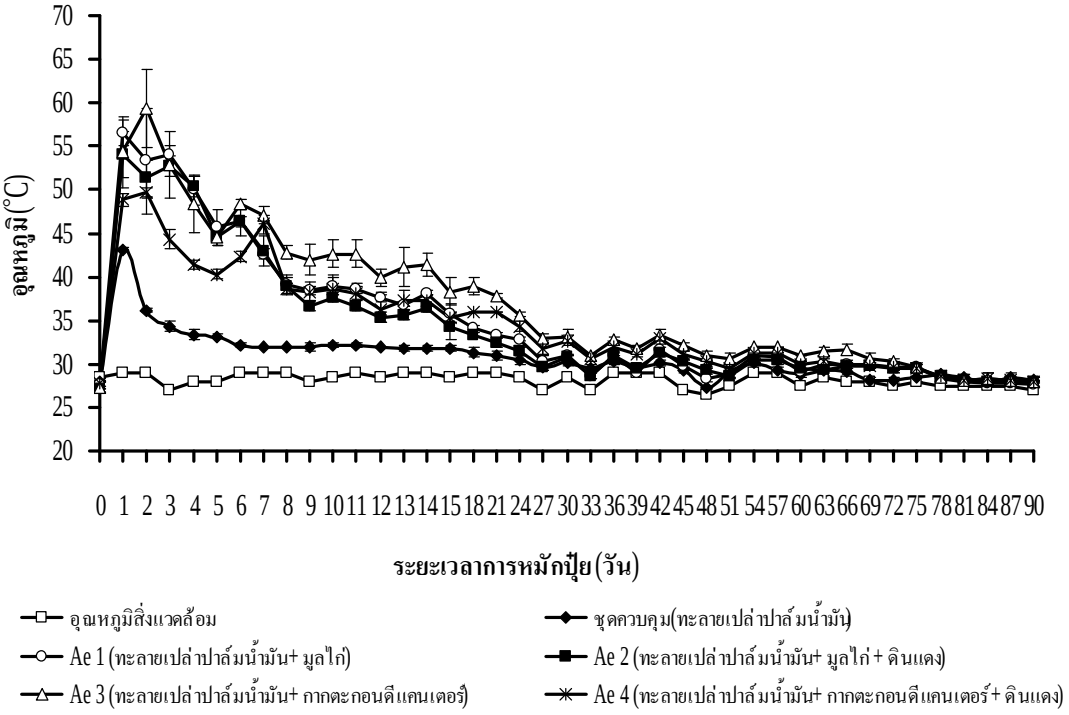
2.1.1 อุณหภูมิ

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่) Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง) Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์) และ Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง) เมื่อเริ่มต้นการหมักมีอุณหภูมิ เท่ากับ 28.0, 27.7, 27.2, 27.3 และ 27.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งชุดควบคุม, Ae 1 และ Ae 2 มีอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 43.2, 56.5 และ 54.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ภายใน 24 ชั่วโมง หลังเริ่มต้นการหมัก ส่วน Ae 3 และ Ae 4 มีอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 59.3 และ 49.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ภายใน 48 ชั่วโมง หลังเริ่มต้นการหมัก จากนั้นอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักทั้ง 5 ชุดการทดลอง มี

แนวโน้มค่อยๆ ลดต่ำลงตามระยะเวลาการหมัก โดยที่ชุดควบคุม เมื่อวัสดุหมักเข้าสู่วันที่ 60 ของการหมัก อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก เท่ากับ 28.8 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (27.5 องศาเซลเซียส) สำหรับชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อวัสดุหมักเข้าสู่วันที่ 75 ของการหมัก อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักใกล้เคียงกัน คือ 29.7, 29.5, 29.7 และ 29.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (28 องศาเซลเซียส) ดังแสดงในภาพที่ 14 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 1 ภาคผนวก ค.) การที่อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม บ่งชี้ว่า กระบวนการหมักได้สิ้นสุดลง โดยที่วัสดุหมักค่อนข้างคงตัว และมีความเสถียรต่อการนำไปใช้งาน เช่นเดียวกับการผลิตปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยผสมมูลสุกร เมื่อสิ้นสุดการหมัก (91 วัน) อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปใช้ได้ (Tiquia *et al.*, 1998) อย่างไรก็ตามก่อนนำไปใช้ต้องพิจารณาร่วมกับสมบัติอื่นของปุ๋ยหมักด้วย เช่น ลักษณะของวัสดุหมัก และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

นอกจากนั้นตลอดระยะเวลาการหมักอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม โดยที่อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 อยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิค คือ 45.0-65.0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ซึ่งเป็นระดับที่สามารถทำลายเชื้อโรคและไข่พยาธิบางชนิดที่เป็นอันตรายได้ (Tchobanoglous *et al.*, 1993; Day and Shaw, 2001) ซึ่งอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 ได้อยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิคเช่นเดียวกับที่ใช้ขี้เลื่อยผสมมูลไก่เป็นวัสดุหมัก (Ogunmande *et al.*, 2008) การที่ชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นผลมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ไม่ถูกจำกัด เพราะในช่วงเริ่มต้นของการหมักมีปริมาณสารอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ประกอบกับมีขนาดวัสดุหมัก (2-5 เซนติเมตร) และปริมาณความชื้น (50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม นอกจากนั้นได้มีการกลับกองปุ๋ยหมักทุก 7 วัน ช่วยส่งเสริมให้มวลของวัสดุหมักทั้งหมดได้สัมผัสกับอากาศอย่างทั่วถึง พร้อมทั้งเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับกองปุ๋ยหมัก เนื่องจากออกซิเจนมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน เพื่อใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ส่งถ่ายมาจากระบบ respiratory chain ในเซลล์ของจุลินทรีย์ จึงทำให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายขึ้นได้ดี ส่งผลให้มีความร้อนเกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมัก (Charest and Beauchamp, 2002; Diaz *et al.*, 2002; Kulcu and Yaldiz, 2004) สำหรับชุดควบคุม ซึ่งมีอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักต่ำ เนื่องจากวัสดุหมัก คือ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพียงอย่างเดียว มีปริมาณคาร์บอนสูง แต่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำ ซึ่งจุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปใช้ในเซลล์ 30 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย เพื่อเป็นแหล่ง

พลังงานและเจริญเติบโต เมื่อไนโตรเจนถูกจำกัดไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ส่งผลให้เกิดกระบวนการย่อยสลายต่ำ และมีความร้อนเกิดขึ้นน้อย (Sharma *et al.*, 1997)

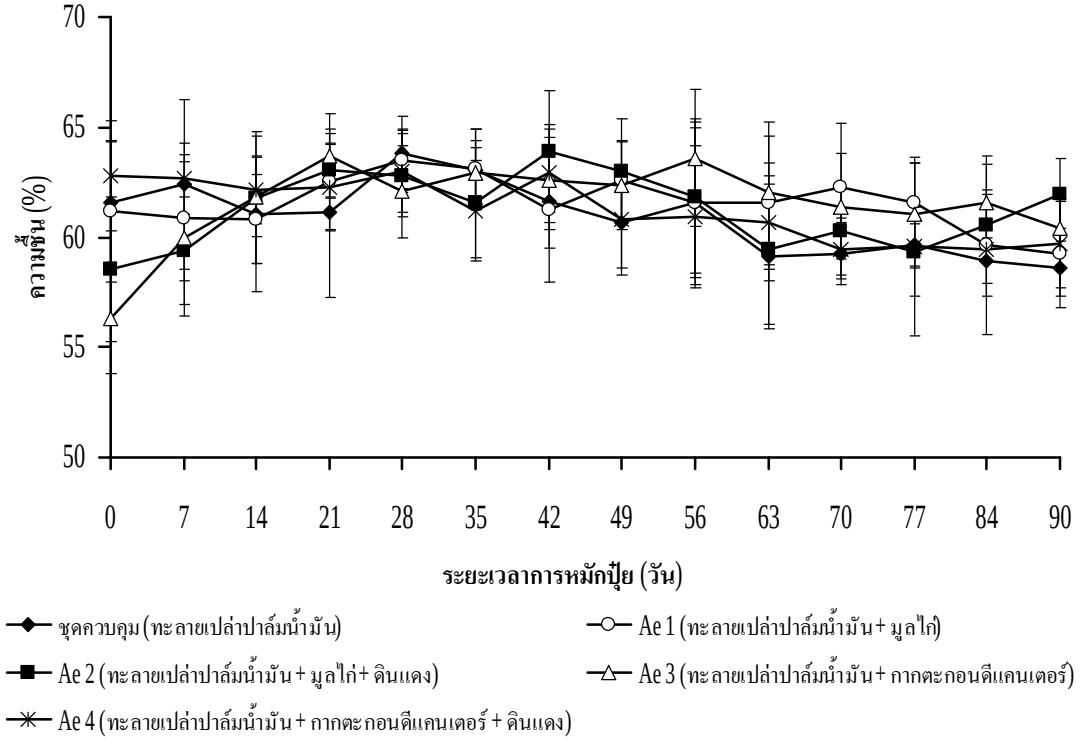


ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

2.1.2 ความชื้น

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีความชื้น เท่ากับ 61.59, 61.21, 58.55, 56.27 และ 62.78 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 15 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 2 ภาคผนวก ค.) ซึ่งอยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ (Peigne and Girardin, 2004) จากนั้นความชื้นในกองปุ๋ยหมักลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการหมัก เนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนของจุลินทรีย์ ต้องการน้ำในการเคลื่อนย้ายสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ เพื่อสร้างเซลล์ใหม่และเพิ่มจำนวนเซลล์ (Hamoda *et al.*, 1998) โดยกิจกรรมการย่อยสลายทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในกองปุ๋ยหมัก ตรวจสอบได้จากที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น (Liang *et al.*, 2003) สอดคล้อง

กับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก ดังแสดงในภาพที่ 14 บ่งชี้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้มีการสูญเสียความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการรดน้ำเพื่อรักษาความชื้นให้อยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อวัสดุหมักเข้าสู่วันที่ 60 หลังเริ่มต้นการหมัก ความชื้นในกองปุ๋ยหมักลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากวัสดุหมักถูกย่อยสลายเกือบสมบูรณ์ ทำให้กิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ลดลง (Tiquia and Tam, 2000a) ส่งผลให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักค่อนข้างคงที่ (28.0-32.0 องศาเซลเซียส) จึงทำให้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ และการระเหยของน้ำสู่บรรยากาศลดลงด้วย (Kulcu and Yaldiz, 2004) เมื่อสิ้นสุดการหมักชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีความชื้น เท่ากับ 58.59, 59.25, 61.97, 60.44 และ 59.71 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีความชื้นมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งต้องไม่เกิน 35-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ต้องทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เพื่อให้ความชื้นลดลงจะได้สะดวกในการเคลื่อนย้ายและนำไปใช้งานต่อไป



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

นอกจากนั้นยังมีการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพโดยสังเกตจากกลิ่น สี ลักษณะเส้นใยปาล์มน้ำมัน และการยุบตัวของกองปุ๋ยหมัก พบว่า ในช่วงแรกของการหมักวัสดุหมักของทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีกลิ่นเหม็น โดยที่ชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีกลิ่นเหม็นมากกว่าชุดควบคุม ซึ่งวัสดุหมักมีกลิ่นเหม็นเล็กน้อยในช่วง 1-3 วันหลังเริ่มต้นการหมัก ในแต่ละแหล่งไนโตรเจนชุดการทดลองที่เติมดินแดงมีกลิ่นเหม็นน้อยกว่าไม่เติมดินแดง จากนั้นกลิ่นเหม็นเริ่มลดลงตามระยะเวลาการหมัก จนกระทั่งวัสดุหมักเข้าสู่วันที่ 45 ของการหมัก เริ่มมีกลิ่นคล้ายกลิ่นดิน และเมื่อสิ้นสุดการหมัก วัสดุหมักไม่มีกลิ่น กลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการหมักนั้น เป็นผลมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่เกิดอย่างรวดเร็ว เพราะมีสารอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ทำให้กองปุ๋ยหมักเกิดสภาวะขาดออกซิเจน จึงส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนเจริญเติบโต เมื่อมีการการย่อยสลายสารอินทรีย์จะปลดปล่อยก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น เช่น แอมโมเนีย (NH_3) (Hoyos *et al.*, 2002) เมื่อเวลาผ่านไปวัสดุหมักได้ถูกย่อยสลายไป ประกอบกับได้มีการกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับกองปุ๋ยหมัก จึงทำให้กองปุ๋ยหมักมีกลิ่นลดลงตามระยะเวลาการหมัก

สำหรับสีและลักษณะเส้นใยปาล์มน้ำมัน เมื่อเริ่มต้นการหมักวัสดุหมักของทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีสีน้ำตาลและมองเห็นเส้นใยปาล์มน้ำมันชัดเจน (ภาพที่ 16-20) จากนั้นสีของวัสดุหมักในชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการหมัก พร้อมทั้งขนาดของเส้นใยปาล์มน้ำมันเริ่มมีขนาดเล็กลงจนกระทั่งร่วนซุย และเมื่อสิ้นสุดการหมักใช้นิ้วมือบี้ตัวอย่างวัสดุหมัก พบว่า วัสดุหมักมีลักษณะยุ่ย ขาดออกจากกันได้ง่าย และไม่แข็งกระด้าง ซึ่งชุดการทดลอง Ae 4 มีลักษณะร่วนซุยมากกว่า Ae 3, Ae 1 และ Ae 2 ตามลำดับ สำหรับชุดควบคุม สิ้นสุดการหมักเส้นใยปาล์มน้ำมันมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นเล็กน้อย และยังมีลักษณะเป็นเส้นใยมองเห็นชัดเจน เมื่อใช้นิ้วมือบี้ตัวอย่างวัสดุหมัก พบว่า วัสดุหมักมีความแข็งกระด้างและไม่ร่วนซุย จากเหตุผลดังกล่าว ประกอบกับสารประกอบอินทรีย์บางชนิดถูกย่อยสลายให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สมศักดิ์ วังใน และคณะ, 2539; Mondini *et al.*, 1996) จึงทำให้กองปุ๋ยหมักยุบตัวลงตามระยะเวลาการหมัก โดยที่เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดการทดลองที่เติมดินแดง (Ae 2 และ Ae 4) กองปุ๋ยหมักยุบตัวลงเหลือประมาณ 1/2 ของปริมาตรเดิม สำหรับชุดการทดลองที่ไม่เติมดินแดง (Ae 1 และ Ae 3) กองปุ๋ยหมักยุบตัวลงเหลือประมาณ 1/3 ของปริมาตรเดิม ซึ่งชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 กองปุ๋ยหมักยุบตัวลงมากกว่าชุดควบคุม ซึ่งกองปุ๋ยหมักยุบตัวลงในปริมาณเล็กน้อย

ผลของการเปลี่ยนแปลงสี ลักษณะเส้นใยปาล์มน้ำมัน และการยุบตัวของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 สอดคล้องกับการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดย

ใช้น้ำทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์มปรับความชื้น ซึ่งสีของเส้นใยปาล์มน้ำมันเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นเรื่อยๆ และลักษณะเส้นใยปาล์มน้ำมันเริ่มอ่อนนุ่มตามระยะเวลาการหมัก จนกระทั่งร่วนซุยเมื่อเข้าสู่วันที่ 56 ของการหมัก นอกจากนั้นเมื่อเข้าสู่วันที่ 70 ของการหมัก กองปุ๋ยหมักยุบตัวลงเหลือประมาณ 1/2 ของปริมาตรเดิม (Schuchardt *et al.*, 2002)

0 วัน

90 วัน

ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักของชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

0 วัน

90 วัน

ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

0 วัน

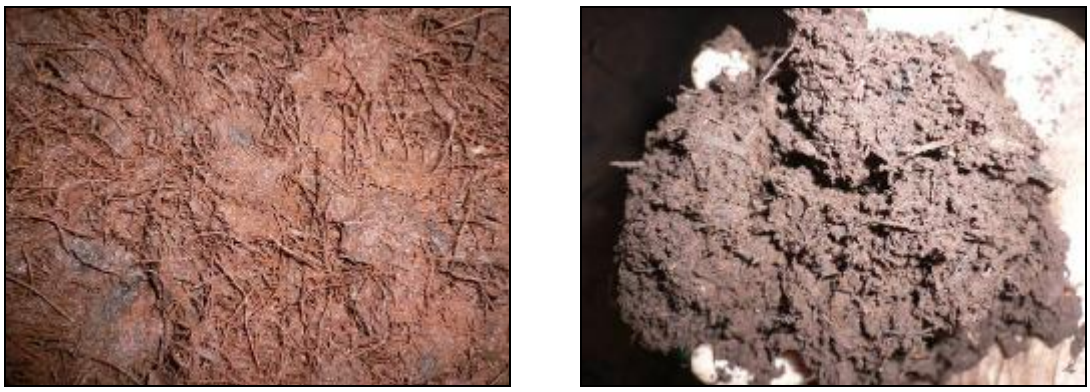
90 วัน

ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

0 วัน

90 วัน

ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)



0 วัน 90 วัน

ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

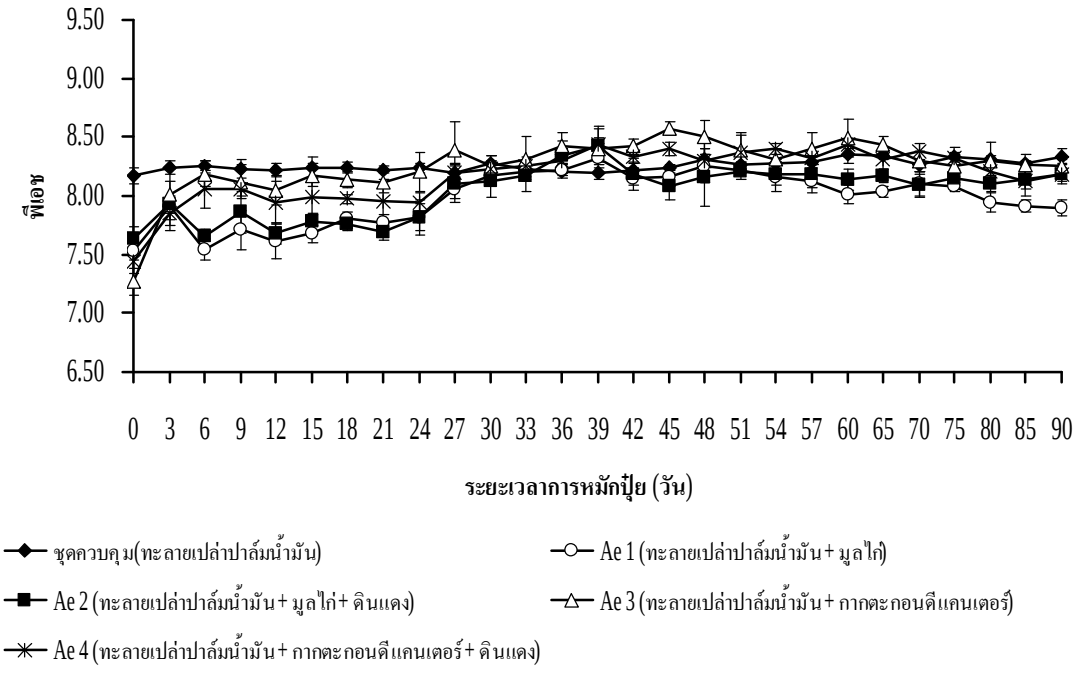
2.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี

2.2.1 พีเอช

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักค่าพีเอช เท่ากับ 8.18, 7.53, 7.64, 7.27 และ 7.43 ตามลำดับ จากนั้นพีเอชของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ Ae 1, Ae 2 และ Ae 4 มีค่าพีเอชสูงสุดในวันที่ 39 หลังเริ่มต้นการหมัก เท่ากับ 8.32, 8.42 และ 8.44 ตามลำดับ ส่วน Ae 3 มีค่าพีเอชสูงสุดในวันที่ 45 หลังเริ่มต้นการหมัก เท่ากับ 8.57 ดังแสดงในภาพที่ 21 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 3 ภาคผนวก ค.) การเพิ่มขึ้นของพีเอชในปุ๋ยหมัก เป็นผลมาจากแบคทีเรียย่อยสลายโปรตีนกลายเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโน จากนั้นกรดอะมิโนถูกย่อยสลายต่อกลายเป็นกรดไขมันและแอมโมเนีย (NH_3) หรือแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) โดยกระบวนแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) (Mahimaraja *et al.*, 1995; Delaune *et al.*, 2004) จากนั้นพีเอชในปุ๋ยหมักทั้ง 4 ชุดการทดลอง ค่อยๆ ลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) แปรสภาพแอมโมเนีย หรือแอมโมเนียมอิออน ไปเป็นไนไทรต์ (NO_2^-) และไนเทรต (NO_3^-) ตามลำดับ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) และมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออน (H^+) ออกมาซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด (Eklind and Kirchmann, 2000) นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซม์ (CO_2) ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายวัสดุหมักมีผลทำให้พีเอชลดลงอีกด้วย เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซม์ที่ปล่อยออกมาเป็นตัวนำให้เกิดสภาวะกรด (Peigne and Girardin, 2004) ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมักพีเอชของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีการเปลี่ยนแปลง

อยู่ในช่วง 7.50-8.60 ซึ่งเป็นช่วงที่การย่อยสลายอินทรียวัตถุเกิดขึ้นได้มาก (Kulcu and Yaldiz, 2004) นอกจากนั้นชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 พีเอชมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมัก พีเอชมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย คือ อยู่ในช่วง 8.18-8.36 เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีพีเอช เท่ากับ 8.33, 7.90, 8.19, 8.25 และ 8.18 ตามลำดับ เมื่อนำค่าพีเอชของปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้พีเอชอยู่ในช่วง 5.50-8.50 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) พบว่า ปุ๋ยหมักจากทั้ง 5 ชุดการทดลอง ค่าพีเอชผ่านมาตรฐาน แต่ชุดควบคุม เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่นของปุ๋ยหมัก เช่น ลักษณะของวัสดุหมัก และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

ผลของการเปลี่ยนแปลงพีเอชของการทดลองครั้งนี้ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงพีเอชในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันผสมมูลสัตว์ต่างๆ ซึ่งพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 21 หลังเริ่มต้นการหมัก จากนั้นจึงเริ่มลดลง จนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก (60 วัน) มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.50-8.80 (Thambirajah *et al.*, 1995) รวมทั้งการผลิตปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยผสมมูลสุกร ซึ่งพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 21 หลังเริ่มต้นการหมัก จากนั้นค่อยๆ ลดลง จนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก (63 วัน) มีค่าพีเอช เท่ากับ 7.6 (Huang *et al.*, 2004)

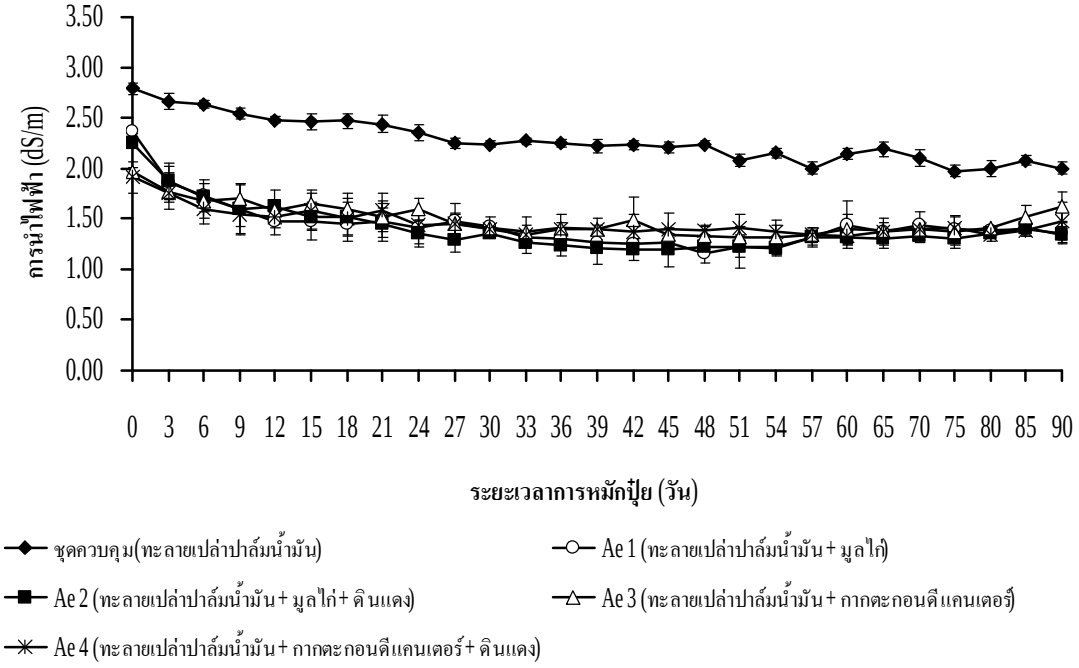


ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงพีเอชในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

2.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 2.79, 2.37, 2.25, 1.96 และ 1.91 dS/m ตามลำดับ จากนั้นค่าการนำไฟฟ้าของทั้ง 5 ชุดการทดลองเริ่มลดลง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1.16-2.66 dS/m โดยที่ชุดควบคุม มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 1.97 ในวันที่ 75 หลังเริ่มต้นการหมัก Ae 1 มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด เท่ากับ 1.16 ในวันที่ 48 หลังเริ่มต้นการหมัก Ae 2 มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด เท่ากับ 1.19 ในวันที่ 45 หลังเริ่มต้นการหมัก Ae 3 มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด เท่ากับ 1.32 ในวันที่ 54 หลังเริ่มต้นการหมัก และ Ae 4 มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด เท่ากับ 1.33 ในวันที่ 60 หลังเริ่มต้นการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 22 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 4 ภาคผนวก ค.) การที่ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าเกิดจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ (Petric and Selimbasic, 2008) เมื่อเวลาผ่านไปอินทรียวัตถุถูกย่อยสลายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลง เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 2.00, 1.36, 1.35, 1.62 และ 1.48 dS/m ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 6 dS/m (กรมวิชาการเกษตร, 2548) พบว่า ปุ๋ยหมักจากทั้ง 5 ชุดการทดลอง ค่าการนำไฟฟ้าผ่านมาตรฐาน เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ไม่ส่งผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดิน และการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าเป็นสมบัติที่แสดงถึงความเค็มของปุ๋ยหมัก ซึ่งขึ้นกับปริมาณและชนิดของเกลือที่ละลายน้ำได้ หากปุ๋ยหมักมีความเค็มมาก เมื่อนำไปใช้ส่งผลให้รากพืชไม่สามารถดูดน้ำและอาหารได้ หรือได้น้อยลง จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชต่อไป (Petric and Selimbasic, 2008) อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักที่ได้จากชุดควบคุม เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่นของปุ๋ยหมัก เช่น ลักษณะของวัสดุหมัก และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

ค่าการนำไฟฟ้าเมื่อสิ้นสุดการหมักของการทดลองครั้งนี้ใกล้เคียงกับการผลิตปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยผสมมูลสุกร เมื่อสิ้นสุดการหมัก (63 วัน) มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 1.50 dS/m (Huang *et al.*, 2004) และการผลิตปุ๋ยหมักจากใบไม้หรือหญ้า เมื่อสิ้นสุดการหมัก (160 วัน) มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 2.00 dS/m (Gazi *et al.*, 2007)



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

2.2.3 **อินทรีย์คาร์บอน**

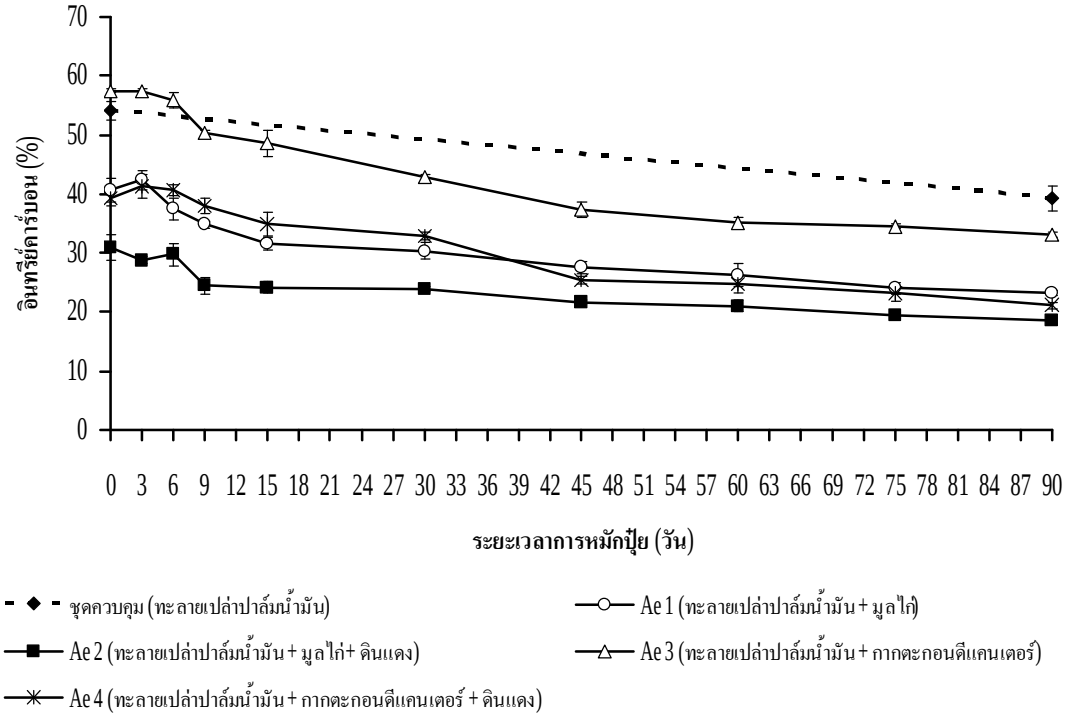
จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 54.13, 40.67, 30.90, 57.48 และ 39.35 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากนั้นชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 6-45 วัน หลังเริ่มต้นการหมัก โดยในวันที่ 45 หลังเริ่มต้นการหมัก ชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ เท่ากับ 27.52, 21.74, 37.33 และ 25.40 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากนั้นจึงลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 45-90 หลังเริ่มต้นการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 23 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 5 ภาคผนวก ค.) การที่อินทรีย์คาร์บอนมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง และนำเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ นอกจากนั้นอินทรีย์คาร์บอนบางส่วนแปรสภาพไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Hellmann *et al.*, 1997; Pare *et al.*, 1998; Negro *et al.*, 1999) เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดควบคุมมีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ เท่ากับ 39.23 ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 ที่มีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ เท่ากับ 23.17, 18.53, 33.10 และ 21.13 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมัก ชุดการทดลองที่ใช้กาก

ตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน (Ae 3) มีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่สูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน (Ae 1) เพราะสมบัติของกากตะกอนดีแคนเตอร์มีอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่ามูลไก่ (ตารางที่ 13) นอกจากนั้นในแต่ละแหล่งไนโตรเจนชุดการทดลองที่เติมดินแดงมีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมดินแดง เนื่องจากเนื้อดินแดงกระจายผสมกับวัสดุหมัก และดินแดงยังมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณต่ำ (ตารางที่ 13)

จากการทดลองครั้งนี้เมื่อสิ้นสุดการหมักอินทรีย์คาร์บอนที่เหลืออยู่ของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 ใกล้เคียงกับการผลิตปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยผสมสลัดจ์สิ่งปฏิกูลและขี้เลื่อยผสมสลัดจ์สิ่งปฏิกูลและมูลสุกร เมื่อเวลาผ่านไป 100 วันหลังเริ่มต้นการหมัก มีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ เท่ากับ 31.09 และ 28.53 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากอินทรีย์คาร์บอนเริ่มต้น เท่ากับ 34.91 และ 33.58 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การที่อินทรีย์คาร์บอนของขี้เลื่อยผสมสลัดจ์สิ่งปฏิกูลและมูลสุกรมีแนวโน้มลดลงสูงกว่าขี้เลื่อยผสมสลัดจ์สิ่งปฏิกูล เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนจากมูลสุกร (Guoxue *et al.*, 2001) และการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันโดยใช้น้ำทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์มปรับความชื้น เมื่อเวลาผ่านไป 70 วันหลังเริ่มต้นการหมัก มีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ เท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง จากอินทรีย์คาร์บอนเริ่มต้นการหมัก เท่ากับ 42 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง (Schuchardt *et al.*, 2002) รวมทั้งการผลิตปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยผสมมูลสุกร ในอัตราส่วน 2:3 และ 1:4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 47 และ 46 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากนั้นอินทรีย์คาร์บอนมีแนวโน้มลดลง เมื่อสิ้นสุดการหมัก (63 วัน) มีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ เท่ากับ 34 และ 30 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การที่อินทรีย์คาร์บอนของขี้เลื่อยผสมมูลสุกร ในอัตราส่วน 1:4 ลดลงสูงกว่า 2:3 เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนจากมูลสุกรสูงกว่า (Huang *et al.*, 2004)

สำหรับอินทรีย์คาร์บอนที่เหลืออยู่เมื่อสิ้นสุดการหมักของชุดควบคุม ใกล้เคียงกับการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันผสมมูลวัว มูลแพะ และชุดควบคุม เมื่อเวลาผ่านไป 60 วันหลังเริ่มต้นการหมัก มีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ 38, 40 และ 43 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Thambirajah *et al.*, 1995) รวมทั้งการผลิตปุ๋ยหมักในระบบเปิด ซึ่งใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร และมูลไก่เป็นวัสดุหมัก ควบคุมปริมาณความชื้นให้อยู่ในระดับ 65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และกลับกองปุ๋ยหมักสม่ำเสมอ เมื่อเวลาผ่านไป 52 วันหลังเริ่มต้นการหมัก มีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ เท่ากับ 37.08 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง และระบบปิด ซึ่งใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และมูลไก่เป็นวัสดุหมัก ให้อากาศผ่านท่อด้านล่าง และคลุมกองปุ๋ยด้วยเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) เมื่อเวลาผ่านไป 85 วัน

หลังเริ่มต้นการหมัก มีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ เท่ากับ 39.70 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง (Suhaimi and Ong, 2001)



หมายเหตุ: ชุดควบคุม วิเคราะห์เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน)

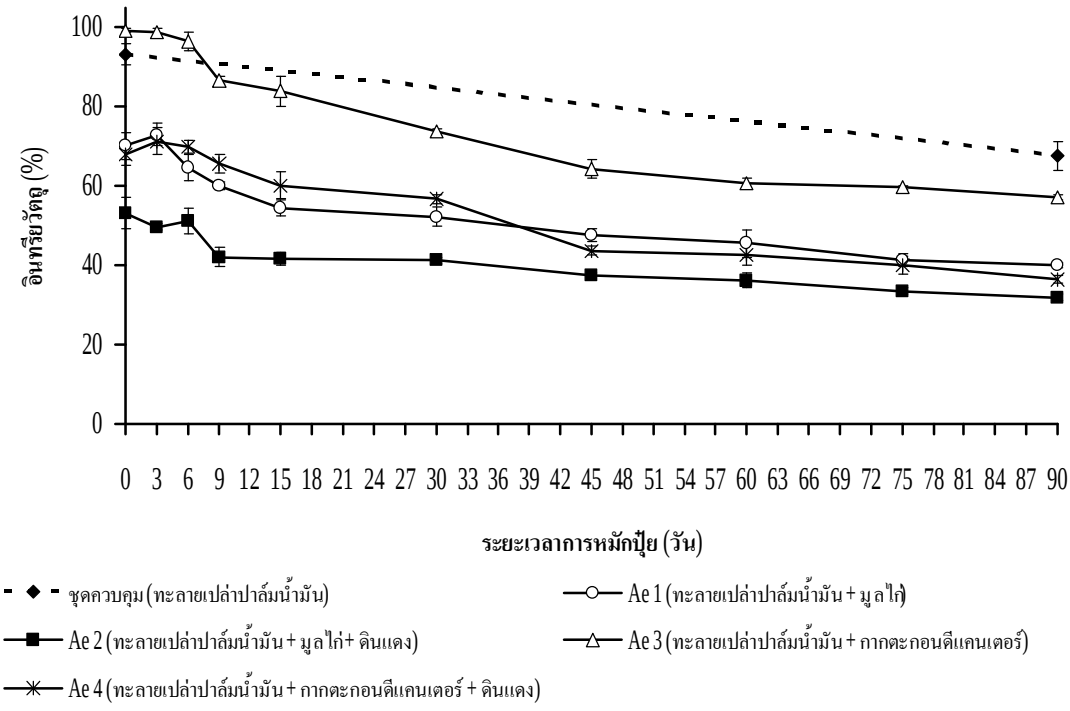
ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

2.2.4 อินทรียวัตถุ

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 93.32, 70.12, 53.27, 99.11 และ 67.85 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 24 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 6 ภาคผนวก ค.) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุมีความสัมพันธ์กับอินทรีย์คาร์บอน เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนเป็นส่วนหนึ่งของอินทรียวัตถุ (Fang *et al.*, 1999) กล่าวคือ อินทรียวัตถุมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมักเช่นเดียวกับการลดลงของอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งสอดคล้องกับค่าอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักที่ได้ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมัก (Kulcu and Yaldiz, 2004) เมื่อสิ้นสุดการหมักชุดควบคุม มีอินทรียวัตถุเหลืออยู่ เท่ากับ 67.64 ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 ที่มี

อินทรียวัตถุเหลืออยู่ เท่ากับ 39.95, 31.95, 57.06 และ 36.43 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักทั้ง 5 ชุดการทดลอง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) พบว่า มีค่าอินทรียวัตถุผ่านมาตรฐาน จัดเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพเหมาะในการนำไปใช้งาน ยกเว้นชุดควบคุม เพราะเมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่น เช่น ลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

สำหรับการเติมแหล่งไนโตรเจน (มูลไก่หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์) และการเติมดินแดง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุ กล่าวคือ เมื่อใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน มีอินทรียวัตถุเหลืออยู่สูงกว่าใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน เพราะสมบัติของกากตะกอนดีแคนเตอร์มีอินทรียวัตถุสูงมูลไก่ (ตารางที่ 13) แต่ในแต่ละแหล่งไนโตรเจนเมื่อมีการเติมดินแดง ทำให้อินทรียวัตถุเหลืออยู่ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมดินแดง เนื่องจากเนื้อดินกระจายผสมกับวัสดุหมัก และดินแดงยังมีอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณต่ำ (ตารางที่ 13)



หมายเหตุ: ชุดควบคุม วิเคราะห์เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน)

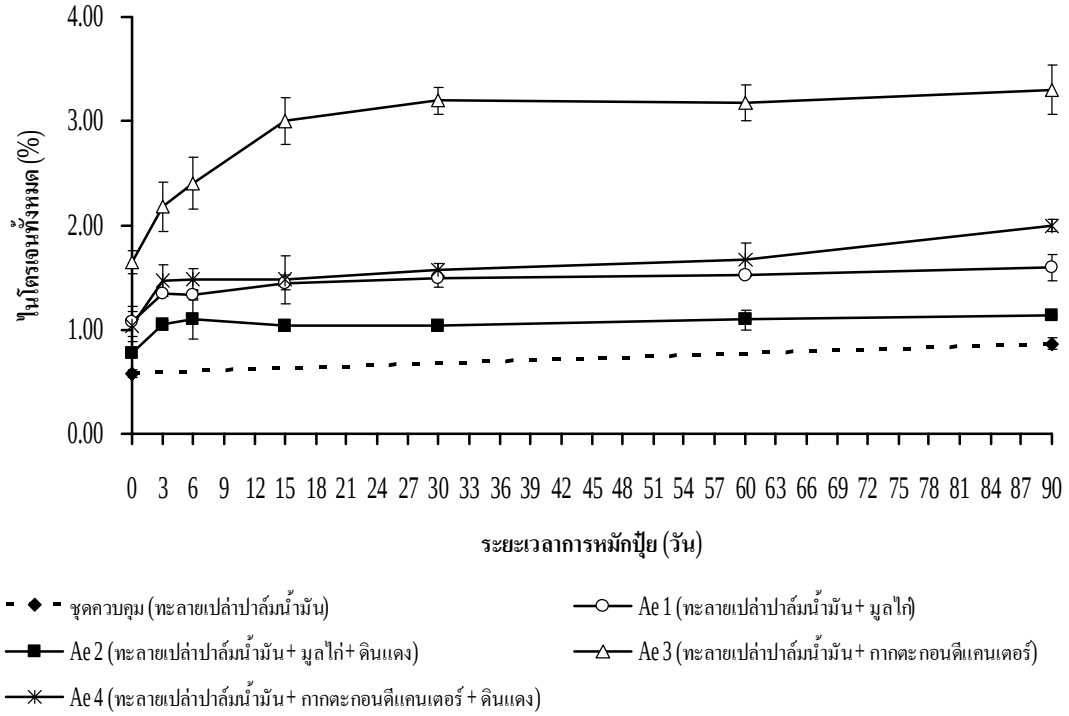
ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

2.2.5 **ไนโตรเจนทั้งหมด**

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.57, 1.08, 0.78, 1.64 และ 1.03 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากนั้นไนโตรเจนทั้งหมดของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 15 วัน หลังเริ่มต้นการหมัก โดยในวันที่ 15 หลังเริ่มต้นการหมัก Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.45, 1.04, 3.00 และ 1.48 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ หลังจากนั้นไนโตรเจนทั้งหมดของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก จนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมัก Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.60, 1.14, 3.30 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการหมักมีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.86 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 25 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 7 ภาคผนวก ค.) นอกจากนั้นตลอดระยะเวลาการหมักชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน (Ae 3 และ Ae 4) มีไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน (Ae 1 และ Ae 2) เพราะกากตะกอนดีแคนเตอร์มีไนโตรเจนทั้งหมดเป็นองค์ประกอบสูงกว่ามูลไก่ (ตารางที่ 13) ส่วนชุดการทดลองที่ไม่เติมดินแดง มีไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดการทดลองที่เติมดินแดงในแต่ละแหล่งไนโตรเจน

จากการทดลองครั้งนี้เมื่อสิ้นสุดการหมักชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีไนโตรเจนทั้งหมดใกล้เคียงกับปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยใช้น้ำทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์มปรับความชื้น โดยมีการเติมไนโตรเจน 2 กิโลกรัม ต่อทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1,000 กิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 1.6 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง เป็น 2.3 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง เมื่อเวลาผ่านไป 70 วันหลังเริ่มต้นการหมัก (Schuchardt *et al.*, 2002) และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันผสมแหล่งไนโตรเจนต่างกัน คือ มูลไก่ มูลวัว และมูลแพะ เมื่อสิ้นสุดการหมัก (60 วัน) มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 2.2, 2.0 และ 2.6 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Thambirajah *et al.*, 1995) รวมทั้งปุ๋ยหมักในระบบเปิด (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร + มูลไก่) เมื่อสิ้นสุดการหมัก (52 วัน) มีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 2.34 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง และระบบปิด (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม + มูลไก่) เมื่อสิ้นสุดการหมัก (85 วัน) มีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 2.43 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง (Suhaimi and Ong 2001) สำหรับชุดควบคุม เมื่อสิ้นสุดการหมักมีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.86 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ต่ำกว่าผลการศึกษาของ

Thambirajah และคณะ (1995) ที่ผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพียงอย่างเดียว เมื่อสิ้นสุดการหมัก (60 วัน) มีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 1.9 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง



หมายเหตุ: ชุดควบคุม วิเคราะห์เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน)

ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

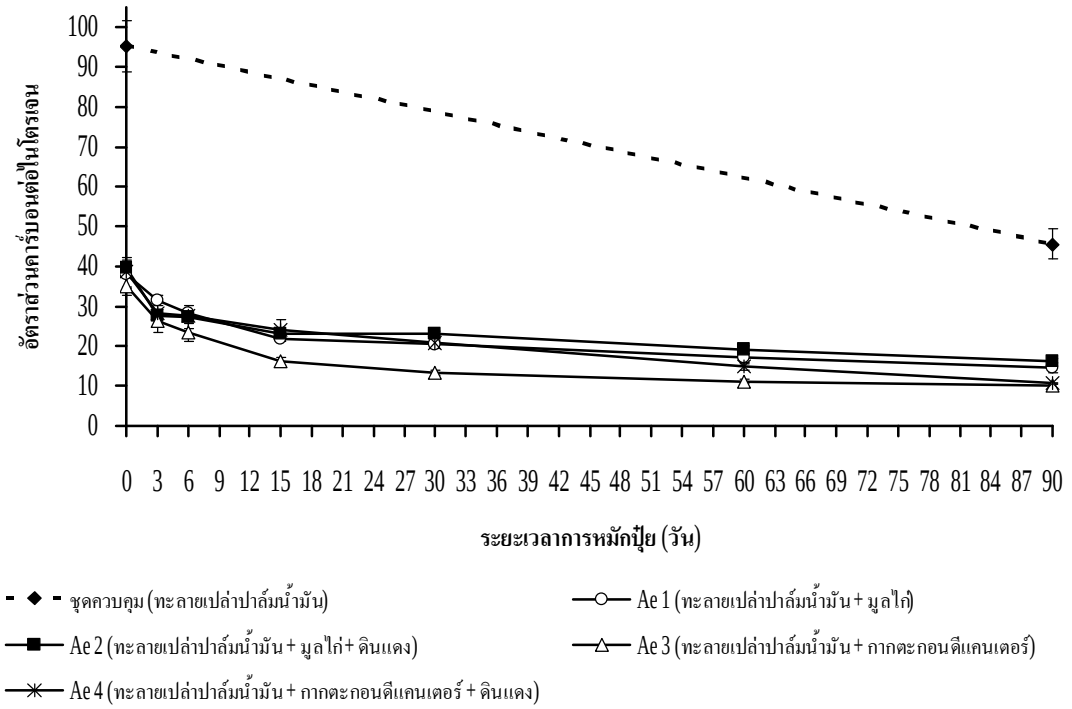
2.2.6 **อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน**

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 95:1, 38:1, 40:1, 35:1 และ 39:1 ตามลำดับ จากนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 15 วันหลังเริ่มต้นการหมัก โดยในวันที่ 15 หลังเริ่มต้นการหมัก Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 22:1, 23:1, 16:1 และ 24:1 ตามลำดับ การที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ กล่าวคือ ในช่วงแรกของการหมัก จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายวัสดุหมักอย่างรวดเร็ว ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น อุณหภูมิจึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว

นอกจากนั้นกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ยังทำให้เกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น การลดลงของอินทรีย์คาร์บอน และการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนทั้งหมด หลังจากนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมักจนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมัก มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 15:1, 16:1, 10:1 และ 11:1 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม คือ เมื่อสิ้นสุดการหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 46:1 ดังแสดงในภาพที่ 26 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 8 ภาคผนวก ค.) เมื่อพิจารณาการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ โดยที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20:1 (Samudro and Hermana, 2007) พบว่า Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เป็นปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ในขณะที่ชุดควบคุม มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 20:1 บ่งชี้ว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ สอดคล้องกับลักษณะสมบัติอื่น เช่น ยังมีลักษณะเป็นเส้นใยมองเห็นชัดเจน เมื่อใช้นิ้วมือบี้ตัวอย่างวัสดุหมัก พบว่า วัสดุหมักมีความแข็งกระด้างและไม่ร่วนซุย จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน การที่ชุดควบคุมมีการย่อยสลายช้าเนื่องจากวัสดุหมักมีอินทรีย์คาร์บอนสูงแต่มีไนโตรเจนต่ำ ซึ่งจุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปใช้ในเซลล์ 30 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย เพื่อเป็นแหล่งพลังงานและเจริญเติบโต เมื่อไนโตรเจนถูกจำกัดไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ การเจริญเติบโตจึงต่ำ ส่งผลให้เกิดกระบวนการย่อยสลายต่ำ (Sharma *et al.*, 1997)

จากการทดลองครั้งนี้การลดลงอย่างรวดเร็วของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในช่วง 15 วันหลังเริ่มต้นการหมักของชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เช่นเดียวกับการหมักปุ๋ยจากขี้เลื่อยผสมมูลสุกร ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 14 วันหลังเริ่มต้นการหมัก (Huang *et al.*, 2004) นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจากการทดลองครั้งนี้ สอดคล้องกับปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันผสมแหล่งไนโตรเจนต่างกัน คือ มูลไก่ มูลวัว และมูลแพะ ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมัก และเมื่อสิ้นสุดการหมัก (60 วัน) ชุดการทดลองที่เติมมูลไก่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยสุด เท่ากับ 12:1 รองลงมา คือ มูลแพะและมูลวัว มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 14:1 และ18:1 ตามลำดับ (Thambirajah *et al.*, 1995) และการผลิตปุ๋ยหมักระหว่างระบบเปิด (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร + มูลไก่) และระบบปิด (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม + มูลไก่) ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยที่ระบบเปิดมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 20:1 เมื่อเวลาผ่านไป 52 วันหลังเริ่มต้นการหมัก ในขณะที่ระบบปิดต้องใช้เวลาถึง 85 วันหลังเริ่มต้นการหมัก (Suhaimi and Ong, 2001) รวมทั้งปุ๋ยหมักที่

ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยเปรียบเทียบระหว่างมีการเติมไนโตรเจน 2 กิโลกรัม ต่อทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1,000 กิโลกรัม และไม่เติมไนโตรเจน ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยชุดการทดลองที่มีการเติมไนโตรเจนมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 20:1 เมื่อเวลาผ่านไป 35 วันหลังเริ่มต้นการหมัก ในขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่เติมไนโตรเจนต้องใช้เวลาถึง 70 วันหลังเริ่มต้นการหมัก (Schuchardt *et al.*, 2002)



หมายเหตุ: ชุดควบคุม วิเคราะห์เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน)

ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

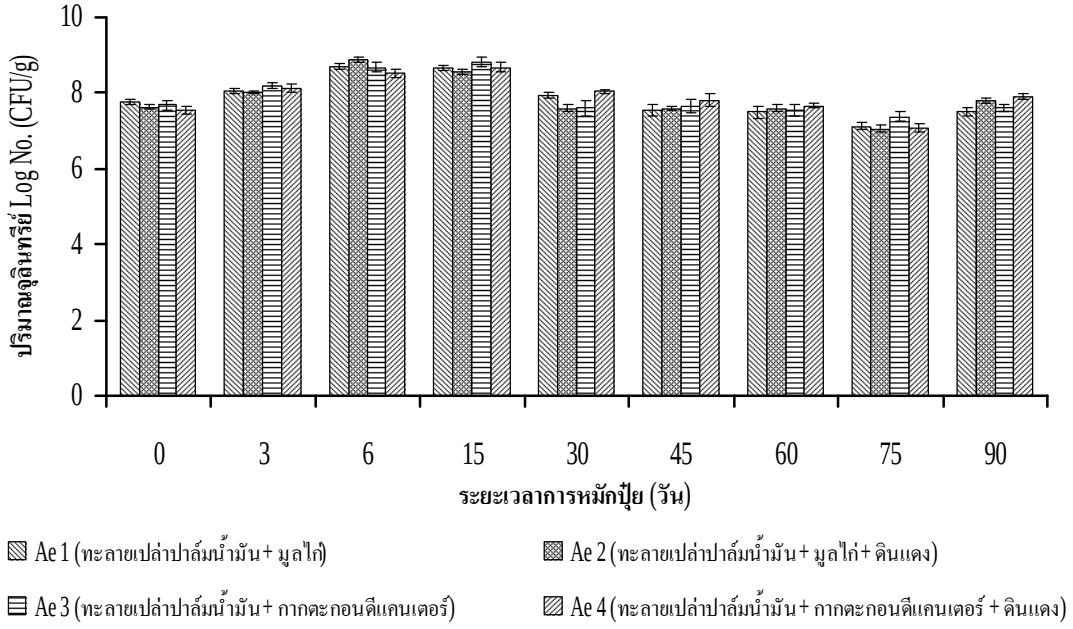
2.3 **การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีวเคมี**

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซิส ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 27-31 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 9-13 ภาคผนวก ค.) เนื่องจากทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากซุปเปอร์พด.1 ในสัดส่วนระหว่างวัสดุหมักต่อหัวเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่เท่ากัน

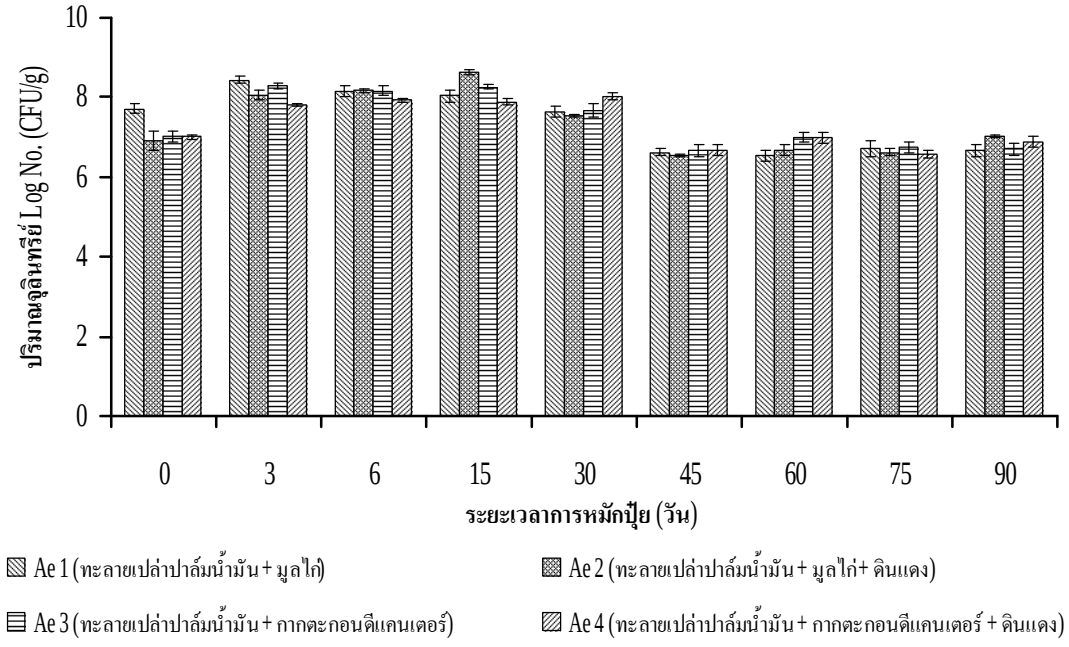
เชื้อแบคทีเรียของทั้ง 4 ชุดการทดลอง เจริญเติบโตได้ดีในช่วงแรก (ภาพที่ 27 และ 28) โดยใช้สารอาหารจากมูลไก่ และชั้นที่เกาะบนผิวของเส้นทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เพื่อย่อยสลายแหล่งอาหารเป็นโมเลกุลสายสั้น จากนั้นเชื้อราสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต เพื่อย่อยสลายเซลลูโลส และลิกนิน นอกจากนั้นตลอดระยะเวลาการหมักทุกชุดการทดลองมีปริมาณ mesophilic bacteria มากกว่า thermophilic bacteria ส่วนเชื้อราทุกชุดการทดลองในวันที่ 3 หลังเริ่มต้นการหมักมีปริมาณลดลงจากวันเริ่มต้นการหมัก (ภาพที่ 29 และ 30) เป็นผลมาจากเชื้อราต้องอาศัยการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป ประกอบกับอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อราช้ากว่าแบคทีเรีย แต่เมื่อเข้าสู่วันที่ 6 ของการหมัก เชื้อรามีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 30 หลังเริ่มต้นการหมัก แล้วจึงค่อยลดลง และในช่วง 6-60 วันหลังเริ่มต้นการหมัก มีปริมาณ thermophilic fungi มากกว่า mesophilic fungi ซึ่งเชื้อรามีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายเซลลูโลส ส่งผลให้ทั้ง 4 ชุดการทดลองมีกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูงในช่วง 15 วันหลังเริ่มต้นการหมัก ซึ่ง Ae 1 มีกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูงสุด เท่ากับ 0.39 ยูนิต/กรัม ในวันที่ 6 หลังเริ่มต้นการหมัก ส่วน Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูงสุด เท่ากับ 0.38, 0.42 และ 0.38 ยูนิต/กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 32 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 14 ภาคผนวก ค.) การที่ทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูงในช่วงแรกของการหมัก นอกจากมีปริมาณเชื้อราเพิ่มสูงขึ้น ยังมีผลมาจากภายในกองปุ๋ยหมักมีปริมาณออกซิเจนจากการกลับกองปุ๋ยหมักหรือรูที่เจาะบริเวณรอบถังหมัก ซึ่งในสภาวะออกซิเจนสูงทำให้เอนไซม์ β-glucosidase ทำงานได้ดีกว่าในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ (Umikalsom *et al.*, 1998) นอกจากนั้นในช่วง 15 วันหลังเริ่มต้นการหมัก อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักของทั้ง 4 ชุดการทดลอง อยู่ในช่วง 33-60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมในการย่อยสลายเซลลูโลส ส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูง (Gomes *et al.*, 1992; Vuorinen and Saharinen, 1997) นอกจากเชื้อราที่มีบทบาทในการย่อยสลายเซลลูโลส ยังมีแอคติโนมัยซิสที่มีบทบาทในการย่อยสลายเซลลูโลส ซึ่ง thermophilic actinomycetes ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปริมาณเล็กน้อย (ภาพที่ 31) ส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูง

อย่างไรก็ตามเมื่อวัสดุหมักผ่านไป 45 วันหลังเริ่มต้นการหมัก กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีแนวโน้มลดลง ถึงแม้ว่ามีปริมาณเชื้อราและแอคติโนมัยซิสในปริมาณที่สูง เนื่องจากวัสดุหมักได้ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เกือบสมบูรณ์ (Kulcu and Yaldiz, 2004)

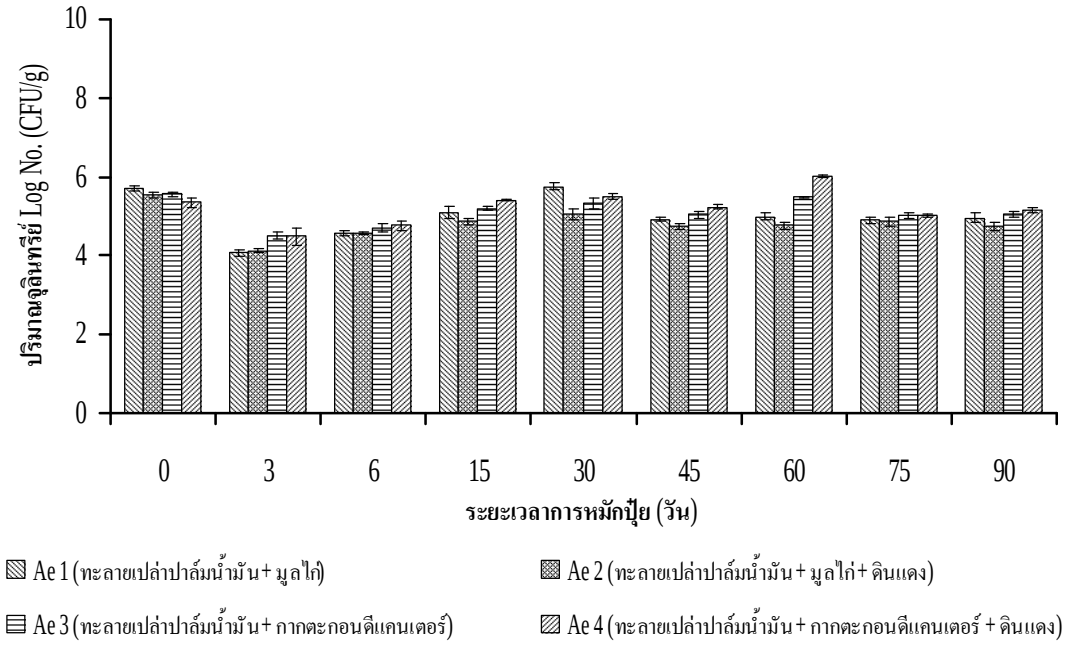
จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในแต่ละชนิดดังที่กล่าวมาแล้ว บ่งชี้ว่าว่า เมื่อมีการเติมแหล่งไนโตรเจนต่างกัน คือ มูลไก่หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ และการเติมดินแดงไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในแต่ละชนิด เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถใช้ไนโตรเจนทั้งจากมูลไก่และกากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนได้



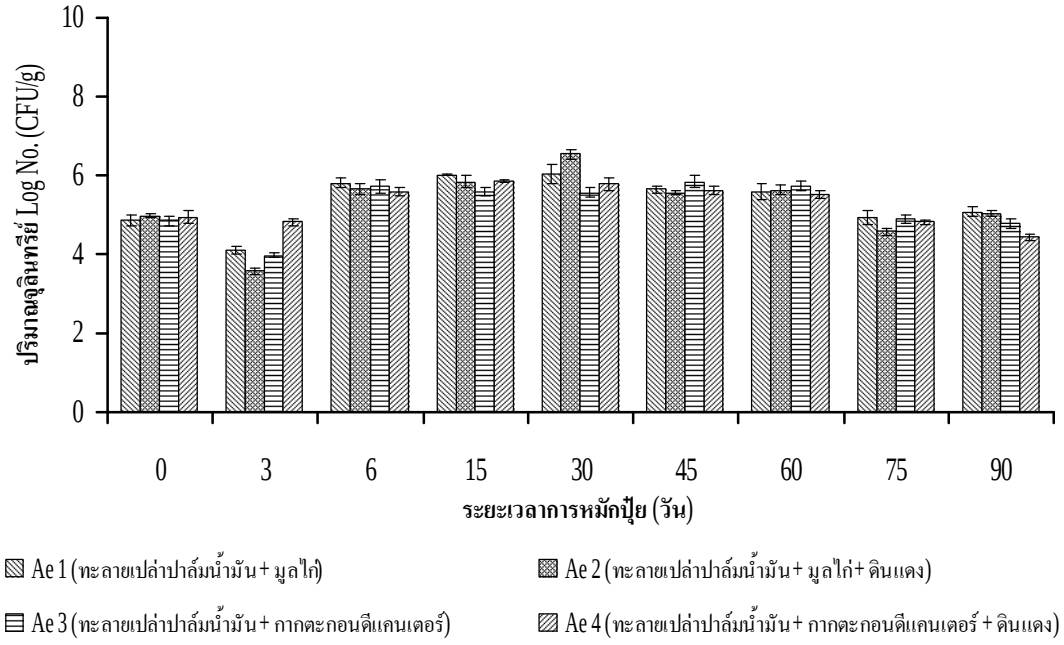
ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ mesophilic bacteria ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก



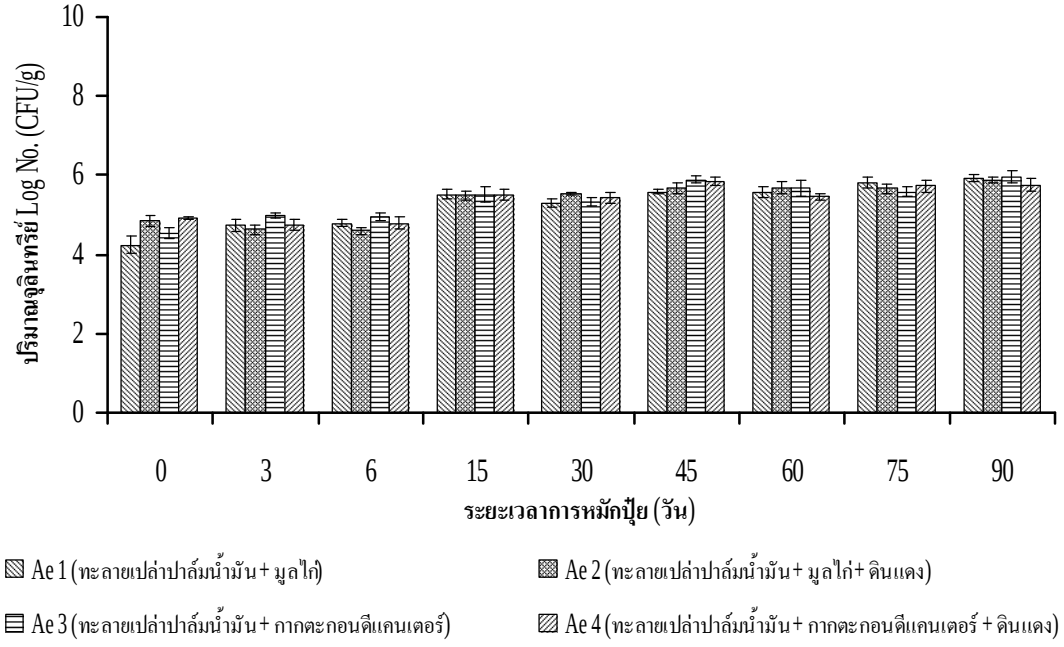
ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic bacteria ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก



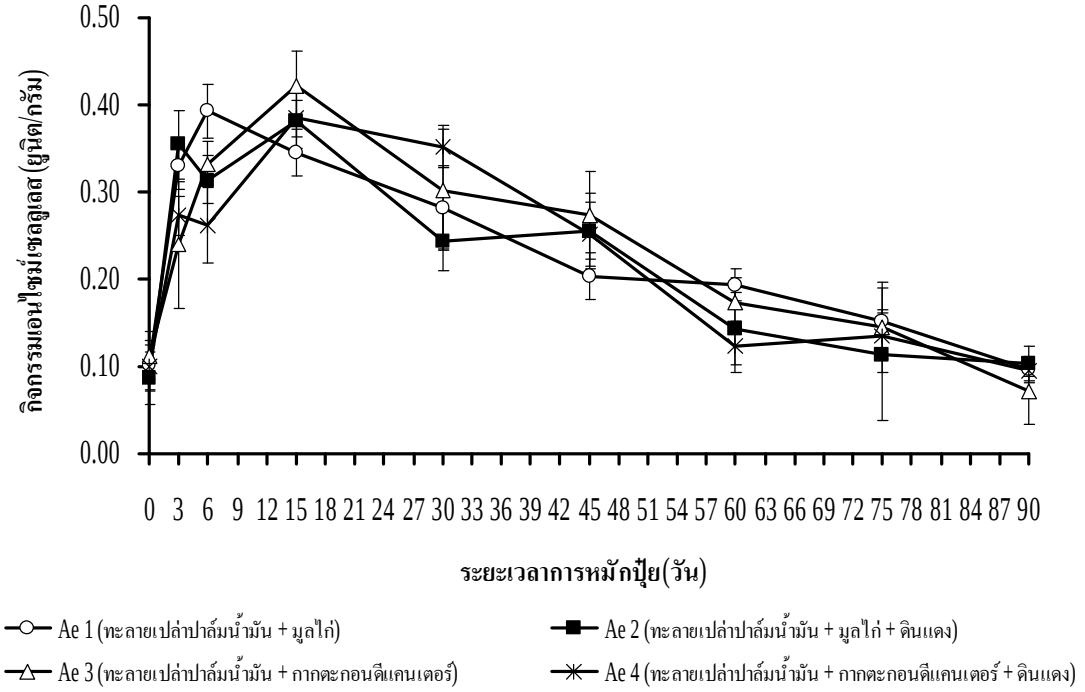
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ mesophilic fungi ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic fungi ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic actinomycetes ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

3. เปรียบเทียบระยะเวลาการหมักปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ในชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเข้าสู่วันที่ 60 ของการหมัก วัสดุหมักเริ่มมีลักษณะยุ่ย ขาดออกจากกันได้ง่าย มีสีน้ำตาลปนดำ ไม่มีกลิ่น และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 17:1, 19:1, 11:1 และ 15:1 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 14 ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทั้ง 4 ชุดการทดลอง ต่ำกว่า 20:1 บ่งชี้ว่า การย่อยสลายได้เสร็จสมบูรณ์ นอกจากนั้นชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 ยังมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าชุดควบคุม ถึงแม้ว่าเวลาผ่านไป 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก วัสดุหมักยังมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 20:1 และวัสดุหมักยังแข็งกระด้าง ไม่ร่วนซุย มองเห็นเป็นเส้นใยชัดเจน บ่งชี้ว่าวัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์

ดังนั้นการเติมแหล่งไนโตรเจนทำให้วัสดุหมักกลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วกว่าไม่เติมแหล่งไนโตรเจน โดยที่เมื่อใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน วัสดุหมักกลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วกว่าใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน[1]	
	60 วัน	90 วัน
ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)	-	46:1c
Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)	17:1c	15:1b
Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)	19:1d	16:1b
Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)	11:1a	10:1a
Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)	15:1b	11:1a

หมายเหตุ: 1 = ฐานมวลแห้ง (dry basis)

ในแนวตั้ง ค่าที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. **เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก**

4.1 **ไนโตรเจนทั้งหมด** (total N)

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.57, 1.08, 0.78, 1.64 และ 1.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 0.86, 1.60, 1.14, 3.30 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 15 ซึ่งพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดของชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 33.72, 32.50, 31.58, 50.30 และ 48.50 เปอร์เซ็นต์ บ่งชี้ว่าเมื่อใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน ทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจนและไม่เติมแหล่งไนโตรเจน

4.2 **ฟอสฟอรัส** (total P_2O_5)

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.98, 2.16, 1.70, 1.29 และ 1.27 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 1.07, 2.57, 2.18, 1.59 และ 1.37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งฟอสฟอรัสในชุดการทดลอง Ae 1 สูงกว่า Ae 2, Ae 3, Ae 4 และชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ฟอสฟอรัสในชุดการทดลอง Ae 3 และ Ae 4 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 15 ซึ่งพบว่าฟอสฟอรัสของชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 8.41, 15.95, 22.02, 18.87 และ 7.30 เปอร์เซ็นต์ บ่งชี้ว่า เมื่อใช้มูลไก่และกากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนทำให้ฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าไม่เติมแหล่งไนโตรเจน

4.3 **โพแทสเซียม** (total K_2O)

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีโพแทสเซียม เท่ากับ 1.74, 1.62, 1.69, 2.25 และ 1.39 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 1.77, 1.85, 1.81, 2.75 และ 1.51 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งโพแทสเซียมในชุดการทดลอง Ae 3 สูงกว่า Ae 1, Ae 2, ชุดควบคุม และ Ae 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่โพแทสเซียมในชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2 และ ชุดควบคุม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 15 ซึ่งพบว่าโพแทสเซียมของชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.69, 12.43, 6.63, 18.18 และ 7.95 เปอร์เซ็นต์ บ่งชี้ว่า เมื่อใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์และมูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน ส่งผลให้มีโพแทสเซียมเพิ่มสูงกว่าไม่เติมแหล่งไนโตรเจน

เมื่อนำค่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากชุดควบคุม, Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจนทั้งหมด ไม่ต่ำกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัส ไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และโพแทสเซียม ไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2548) พบว่า ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีธาตุอาหารหลักผ่านมาตรฐาน จัดเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพเหมาะสมในการนำไปใช้งานต่อไป ยกเว้นชุดควบคุม ซึ่งไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่ามาตรฐานและเมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่น เช่น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 15 ปริมาณธาตุอาหารหลักในการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชุดการทดลอง	ธาตุอาหารหลัก					
	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)[1]		ฟอสฟอรัส (%)[1]		โพแทสเซียม (%)[1]	
	0 วัน	90 วัน	0 วัน	90 วัน	0 วัน	90 วัน
ชุดควบคุม	0.57 ± 0.04	0.86 ± 0.06 a	0.98 ± 0.07	1.07 ± 0.13 a	1.74 ± 0.10	1.77 ± 0.04 b
Ae 1	1.08 ± 0.14	1.60 ± 0.13 c	2.16 ± 0.16	2.57 ± 0.14 d	1.62 ± 0.14	1.85 ± 0.08 b
Ae 2	0.78 ± 0.05	1.14 ± 0.02 b	1.70 ± 0.03	2.18 ± 0.15 c	1.69 ± 0.13	1.81 ± 0.09 b
Ae 3	1.64 ± 0.11	3.30 ± 0.24 e	1.29 ± 0.07	1.59 ± 0.13 b	2.25 ± 0.15	2.75 ± 0.23 c
Ae 4	1.03 ± 0.14	2.00 ± 0.06 d	1.27 ± 0.10	1.37 ± 0.03 b	1.39 ± 0.12	1.51 ± 0.07 a

หมายเหตุ: 1 = ฐานมวลแห้ง (dry basis)

ในแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

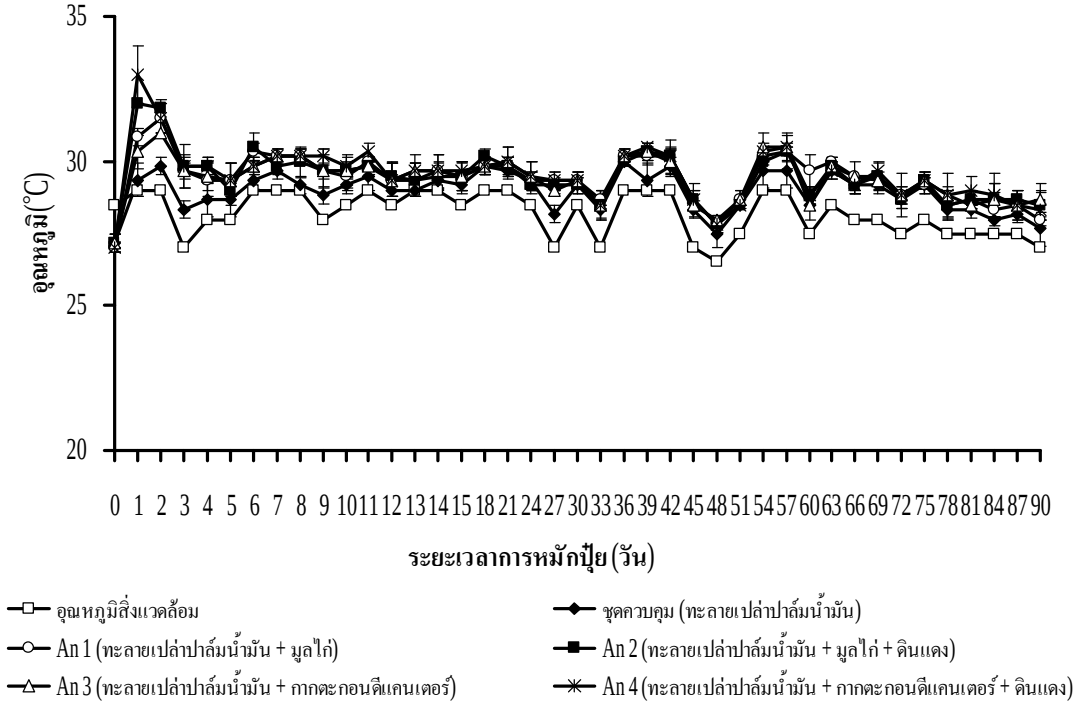
5. ผลของแหล่งไนโตรเจน คือ มูลไก่หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ และการเติมดินแดง ต่อการเปลี่ยนแปลงปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

5.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ

5.1.1 อุณหภูมิ

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่) An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง) An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์) และ An 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง) เมื่อเริ่มต้นการหมักมีอุณหภูมิ เท่ากับ 27.2, 27.0, 27.2, 27.2 และ 27.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วง 1-2 วันหลังเริ่มต้นการหมัก ซึ่งชุดควบคุม, An 1 และ An 3 มีอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 29.8, 31.5 และ 31.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับภายใน 48 ชั่วโมง หลังเริ่มต้นการหมัก ส่วน An 2 และ An 4 มีอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 32.0 และ

33.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ภายใน 24 ชั่วโมง หลังเริ่มต้นการหมัก จากนั้นอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักทั้ง 5 ชุดการทดลองมีแนวโน้มต่ำลง ดังแสดงในภาพที่ 33 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 1 ภาคผนวก ง.) การที่อุณหภูมิของทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงต่ำ (28.0-33.0 องศาเซลเซียส) เพราะการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักมีปริมาณความชื้นสูงตลอดระยะเวลาการหมัก ทำให้ภายในกองปุ๋ยหมักมีช่องว่างน้อย ออกซิเจนจึงแพร่กระจายเข้าไปได้ยาก ประกอบกับไม่มีการกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งการกลับกองปุ๋ยหมักเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก เพราะออกซิเจนมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน เพื่อใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ส่งถ่ายมาจากระบบ respiratory chain ในเซลล์ของจุลินทรีย์ เมื่อออกซิเจนถูกใช้หมดไปทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจน ส่งผลให้เกิดกระบวนการย่อยสลายต่ำ และมีความร้อนเกิดขึ้นน้อย (Cooperband, 2000; Thomsen, 2000) จากผลการทดลองครั้งนี้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงต่ำ เช่นเดียวกับการหมักปุ๋ยจากฟางข้าวผสมมูลสัตว์เคี้ยวเอื้องในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมัก (86 วัน) อุณหภูมิได้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 18.0-25.0 องศาเซลเซียส (Thomsen, 2000)



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

5.1.2 **ความชื้น**

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 ได้มีการปรับให้มีปริมาณความชื้นสูงอยู่ตลอดระยะเวลาการหมัก ส่งผลให้ภายในกองปุ๋ยหมักมีพื้นที่ว่างน้อย ออกซิเจนจึงแพร่ลงไปภายในกองปุ๋ยหมักได้น้อย ประกอบกับไม่มีการกลับกองปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายวัสดุหมักทำงานได้น้อยลง เมื่อออกซิเจนถูกใช้หมดไปทำให้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนเจริญเติบโตแทนที่ และเมื่อมีการย่อยสลายวัสดุหมักเกิดการปลดปล่อยก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์ (H_2S) (Hamoda *et al.*, 1998) สอดคล้องกับที่พบว่า ในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักมีกลิ่นเหม็นตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย

จากการสังเกตจากกลิ่น สี ลักษณะเส้นใยปาล์มน้ำมัน และการยุบตัวของกองปุ๋ยหมัก พบว่า เมื่อเริ่มต้นการหมักวัสดุหมักของทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีสีน้ำตาลและมองเห็นเส้นใยปาล์มน้ำมันชัดเจน เมื่อสิ้นสุดการหมักวัสดุหมักมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นเล็กน้อย และยังมีลักษณะเป็นเส้นใยมองเห็นชัดเจน (ภาพที่ 34-38) เมื่อใช้นิ้วมือบี้ตัวอย่างวัสดุหมัก พบว่า วัสดุหมักมีความแข็งกระด้างและไม่ร่วนซุย โดยที่กองปุ๋ยหมักทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีการยุบตัวลงในปริมาณเล็กน้อย นอกจากนั้นชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีกลิ่นเหม็นมากตลอดระยะเวลาการหมัก เป็นผลมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งปลดปล่อยก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์ (H_2S) และแอมโมเนีย (NH_3) (Mahimairaja *et al.*, 1995; Hoyos *et al.*, 2002) สำหรับชุดควบคุม มีกลิ่นเหม็นในช่วงแรกของการหมัก ซึ่งมีกลิ่นเหม็นน้อยกว่าชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4

0 วัน

90 วัน

ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักของชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

0 วัน

90 วัน

ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

0 วัน

90 วัน

ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

0 วัน

90 วัน

ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

0 วัน

90 วัน

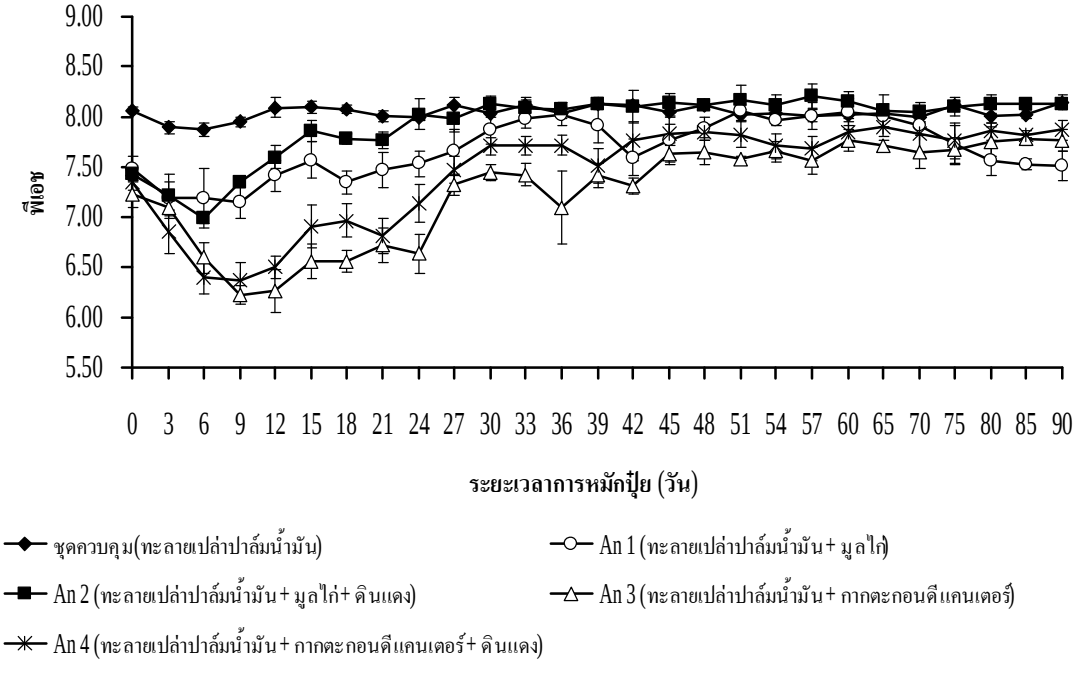
ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักของชุดการทดลอง An 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

5.2. การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี

5.2.1 พีเอช

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าพีเอช เท่ากับ 8.07, 7.49, 7.44, 7.23 และ 7.35 ตามลำดับ จากนั้นพีเอชของชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกของการหมัก ซึ่งพีเอชของ An 1, An 3 และ An 4 มีค่าลดต่ำสุดในวันที่ 9 หลังเริ่มต้นการหมัก มีค่าเท่ากับ 7.15, 6.22 และ 6.37 ตามลำดับ ส่วน An 2 มีค่าพีเอชต่ำสุดใน

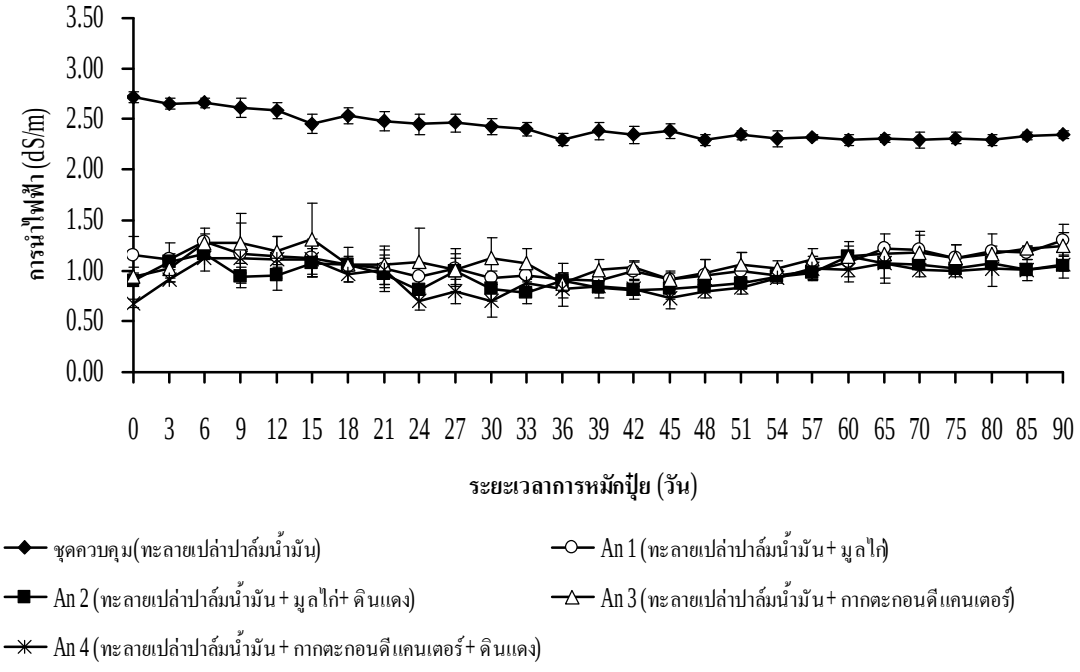
วันที่ 6 หลังเริ่มต้นการหมัก มีค่าเท่ากับ 6.98 จากนั้นพีเอชของชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.26-8.21 ซึ่งชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 พีเอชมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมัก พีเอชมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย คือ อยู่ในช่วง 7.90-8.15 เมื่อสิ้นสุดการหมักชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีค่าพีเอช เท่ากับ 8.15, 7.51, 8.12, 7.77 และ 7.87 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 39 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 2 ภาคผนวก ง.) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพีเอช (5.50-8.50) พบว่า ปุ๋ยหมักจากทั้ง 5 ชุดการทดลอง ค่าพีเอชผ่านมาตรฐาน แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่นของปุ๋ยหมัก เช่น ลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมัก พีเอชของชุดการทดลองที่ใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน (An 1 และ An 2) มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน (An 3 และ An 4) ยกเว้น ในช่วง 70-90 วันหลังเริ่มต้นการหมักที่ An 1 มีค่าต่ำกว่า An 3 และ An 4 นอกจากนั้นในแต่ละแหล่งไนโตรเจน ชุดการทดลองที่เติมดินแดง มีค่าพีเอชสูงกว่าไม่เติมดินแดง



ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงพีเอชในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

5.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า

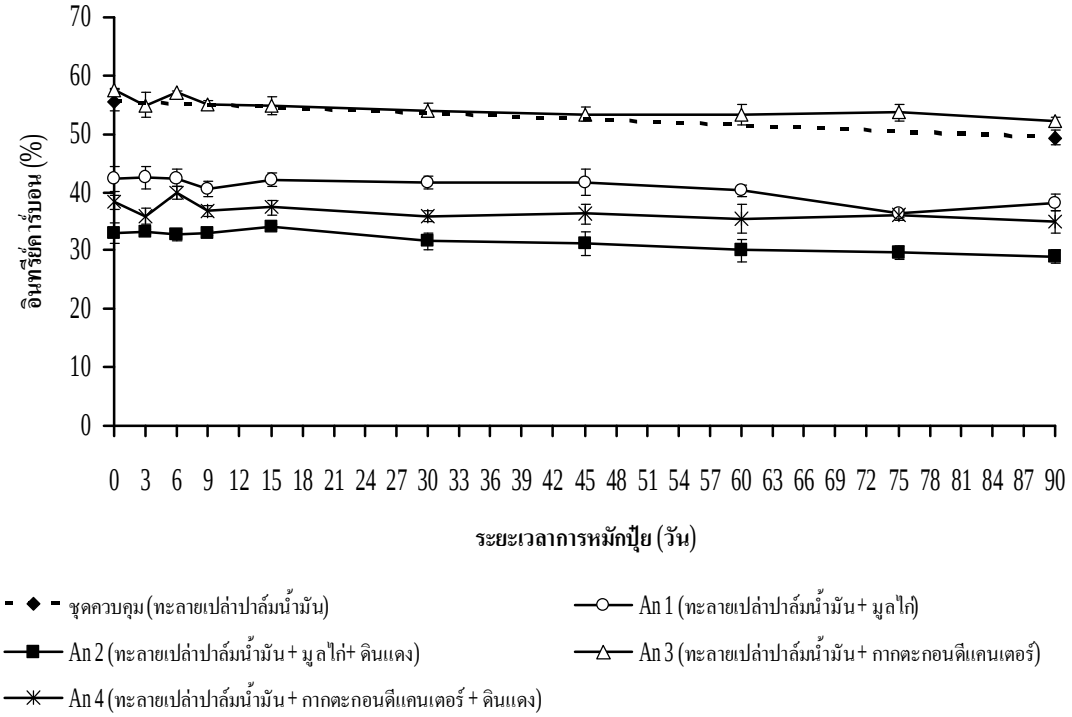
จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 2.72, 1.16, 0.90, 0.94 และ 0.68 dS/m ตามลำดับ จากนั้นค่าการนำไฟฟ้าของทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.70-2.66 dS/m เมื่อสิ้นสุดการหมักชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 2.35, 1.30, 1.04, 1.24 และ 1.05 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 40 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 3 ภาคผนวก ง.) ซึ่งปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีค่าการนำไฟฟ้าผ่านมาตรฐาน (ไม่เกิน 6 dS/m) แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่นของปุ๋ยหมัก เช่น ลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

5.2.3 อินทรีย์คาร์บอน

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 55.40, 42.25, 33.02, 57.59 และ 38.26 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีการลดลงในปริมาณน้อย เมื่อสิ้นสุดการหมักชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ เท่ากับ 49.31, 38.15, 28.98, 52.06 และ 34.91 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 41 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 4 ภาคผนวก ง.) ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมักชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน (An 3) มีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่สูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน (An 1) เพราะสมบัติของกากตะกอนดีแคนเตอร์มีอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่ามูลไก่ (ตารางที่ 13) นอกจากนั้นในแต่ละแหล่งไนโตรเจนชุดการทดลองที่เติมดินแดงมีอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมดินแดง เนื่องจากเนื้อดินแดงกระจายผสมกับวัสดุหมัก และดินแดงยังมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณต่ำ (ตารางที่ 13)

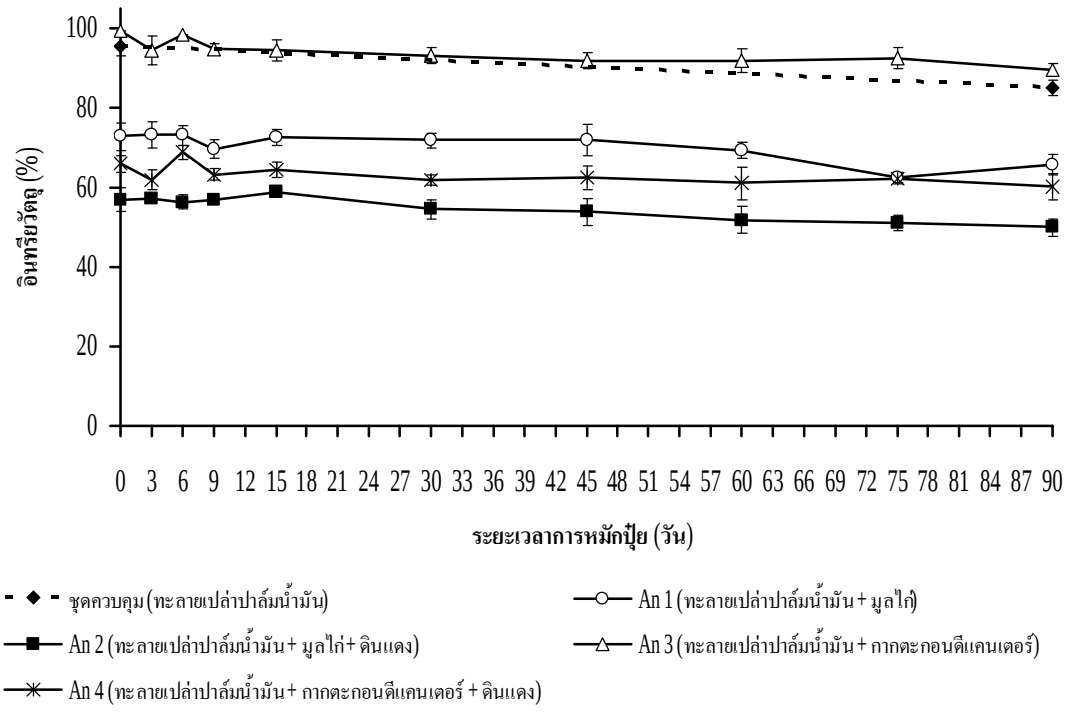


หมายเหตุ: ชุดควบคุม วิเคราะห์เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน)

ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

5.2.4 อินทรียวัตถุ

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 95.52, 72.85, 56.92, 99.30 และ 65.97 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากนั้นปริมาณอินทรียวัตถุของชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีการลดลงในปริมาณน้อย เมื่อสิ้นสุดการหมักชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีอินทรียวัตถุเหลืออยู่ เท่ากับ 85.01, 65.78, 49.97, 89.76 และ 60.20 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 42 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 5 ภาคผนวก ง.) ซึ่งปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ย มีค่าอินทรียวัตถุที่เหลืออยู่สูงกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่น เช่น ลักษณะของเส้นใย ปาล์มน้ำมัน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

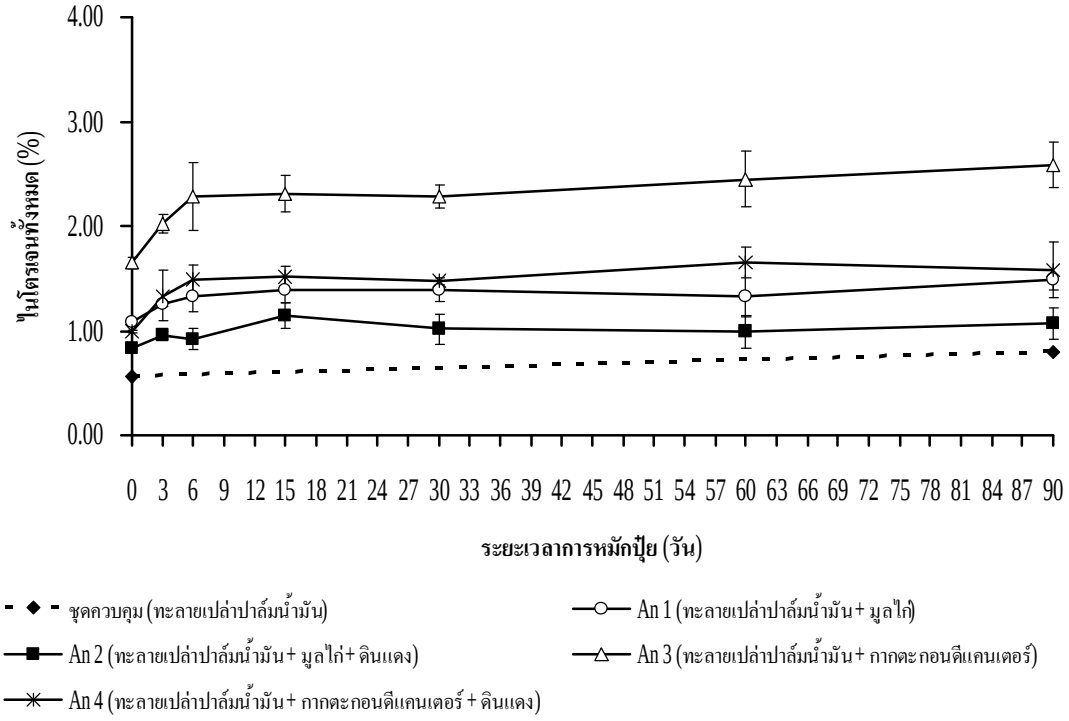


หมายเหตุ: ชุดควบคุม วิเคราะห์เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน)

ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

5.2.5 ไนโตรเจนทั้งหมด

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.56, 1.09, 0.83, 1.65 และ 0.99 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากนั้นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาการหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมักชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.79, 1.50, 1.07, 2.59 และ 1.58 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 43 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 6 ภาคผนวก ง.) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2548) พบว่า ปุ๋ยหมักของชุดควบคุมมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่ผ่านมาตรฐาน ส่วนชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดผ่านมาตรฐาน แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่น เช่น ลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมัน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งตลอดระยะเวลาการหมักชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน (An 3 และ An 4) มีไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน (An 1 และ An 2) เพราะกากตะกอนดีแคนเตอร์มีไนโตรเจนทั้งหมดเป็นองค์ประกอบสูงกว่ามูลไก่ (ตารางที่ 13) ส่วนชุดการทดลองที่ไม่เติมดินแดง มีไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชุดการทดลองที่เติมดินแดงในแต่ละแหล่งไนโตรเจน



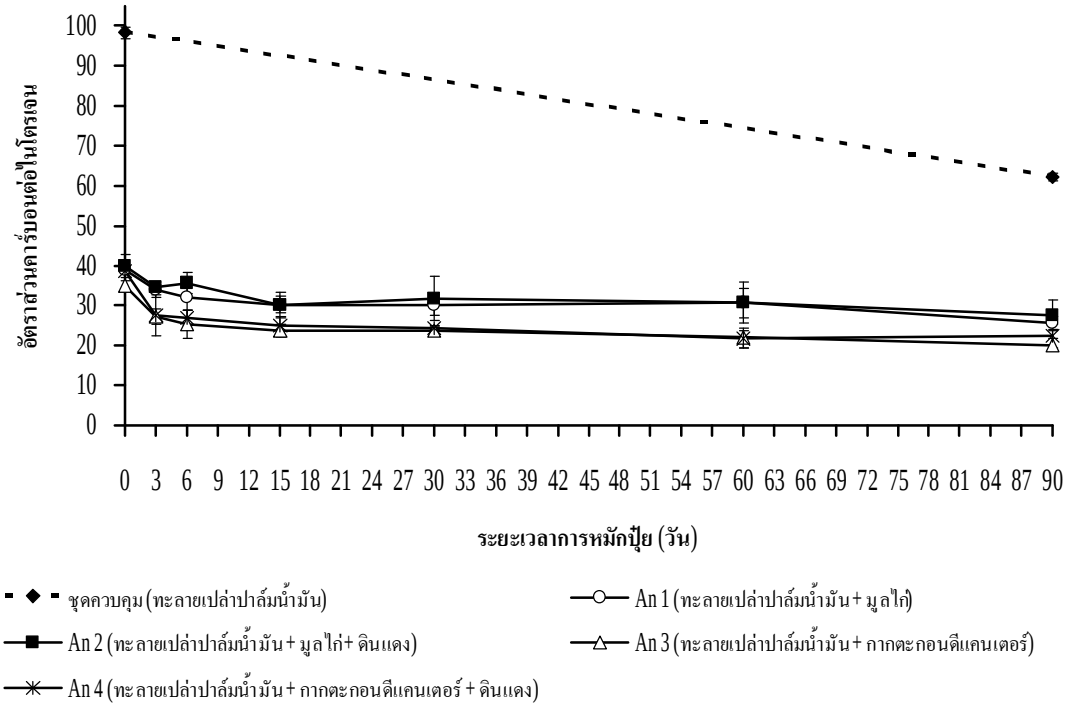
หมายเหตุ: ชุดควบคุม วิเคราะห์เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน)

ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

5.2.6 **อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน**

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 98:1, 39:1, 40:1, 35:1 และ 39:1 ตามลำดับ จากนั้นอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันหลังเริ่มต้นการหมัก โดยที่ชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 34:1, 35:1, 27:1 และ 28:1 ตามลำดับ หลังจากนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาการหมัก จนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการหมัก มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 26:1, 28:1, 20:1 และ 22:1 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม เมื่อสิ้นสุดการหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 62:1 ดังแสดงในภาพที่ 44 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 7 ภาคผนวก ง.) ซึ่งปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20:1 (Charest *et al.*, 2004) ดังนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของชุดควบคุม, An 1,

An 2 และ An 4 มีค่าสูงกว่า 20:1 บ่งชี้ว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน สอดคล้องกับลักษณะสมบัติอื่น เช่น ลักษณะทางกายภาพโดยสังเกตจากลักษณะเส้นใยปาล์มน้ำมัน เมื่อสิ้นสุดการหมักยังมีลักษณะเป็นเส้นใยมองเห็นชัดเจน เมื่อใช้นิ้วมือบี้ตัวอย่างวัสดุหมัก วัสดุหมักมีความแข็งกระด้างและไม่ร่วนซุย สำหรับชุดการทดลอง An 3 ถึงแม้ว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 20:1 แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่น เช่น ลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ เช่นเดียวกับชุดควบคุม, An 1, An 2 และ An 4



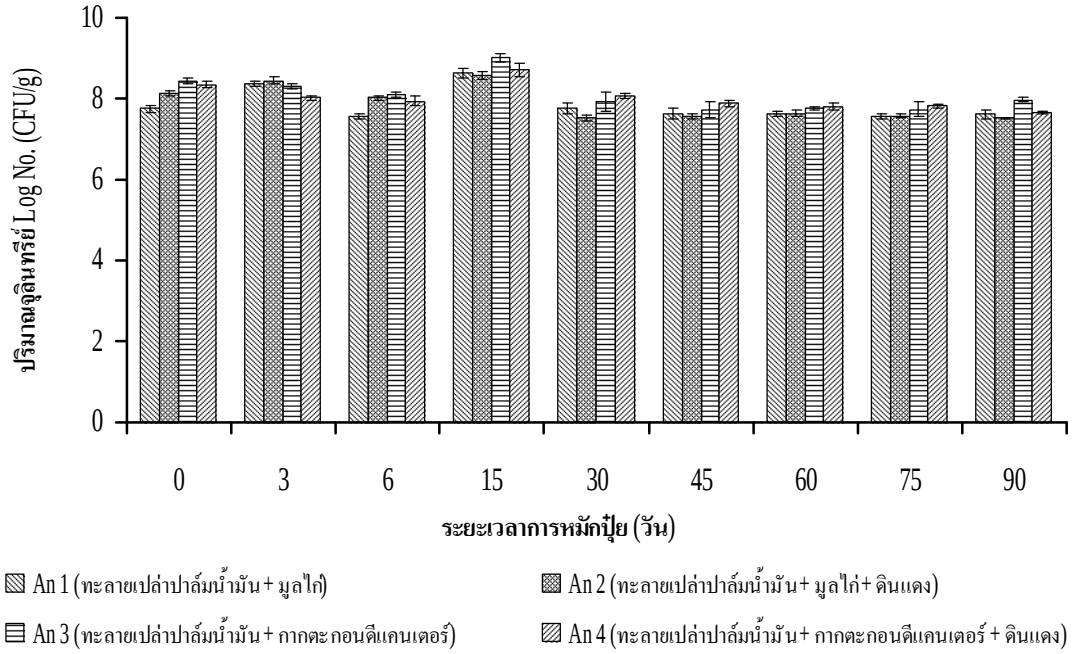
หมายเหตุ: ชุดควบคุม วิเคราะห์เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน)

ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

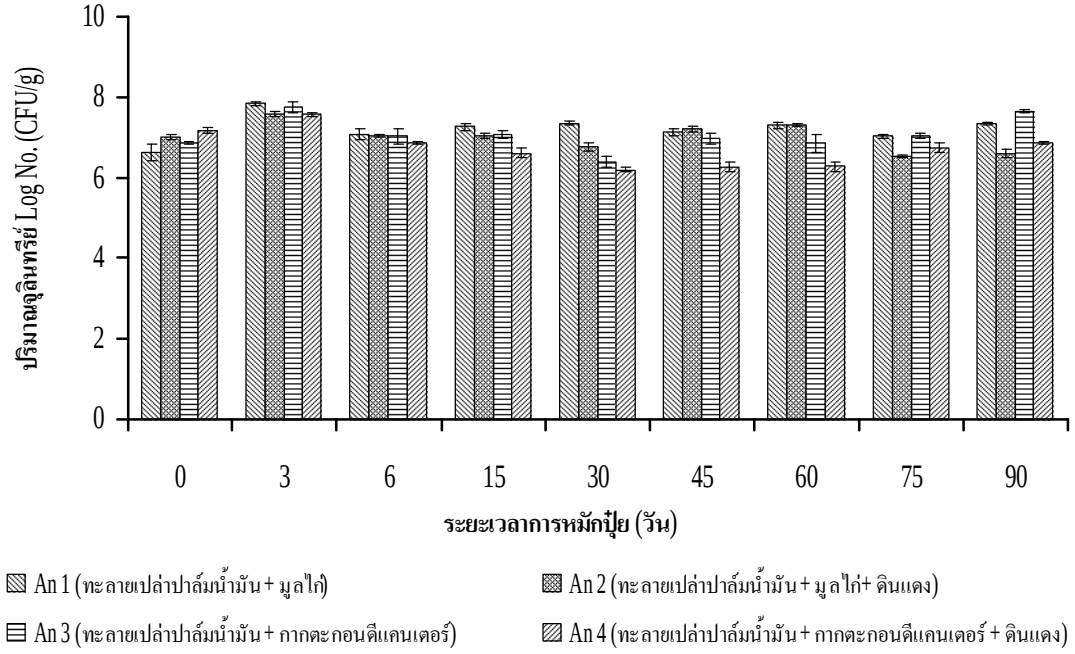
5.3. **การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีวเคมี**

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ชุดการทดลอง An 1, An 2, An 3 และ An 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซิส ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 45-49 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 8-12 ภาคผนวก ง.) เนื่องจากทุกชุดการทดลองมีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากซุปเปอร์ พด.2 ในสัดส่วนระหว่างวัสดุหมักต่อจุลินทรีย์ในปริมาณที่เท่ากัน จากนั้นปริมาณแบคทีเรียลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาการหมัก สำหรับเชื้อราและแอคติโนมัยซิส มีปริมาณลดลงตามระยะเวลาการหมักอย่างชัดเจน เนื่องจากในกองปุ๋ยหมักมีความชื้นมากทำให้องค์ประกอบของวัสดุหมักไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา และแอคติโนมัยซิส (Tiquia *et al.*, 1996) ซึ่งการเติมแหล่งไนโตรเจนต่างกัน คือ มูลไก่หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ และการเติมดินแดง ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในแต่ละชนิด

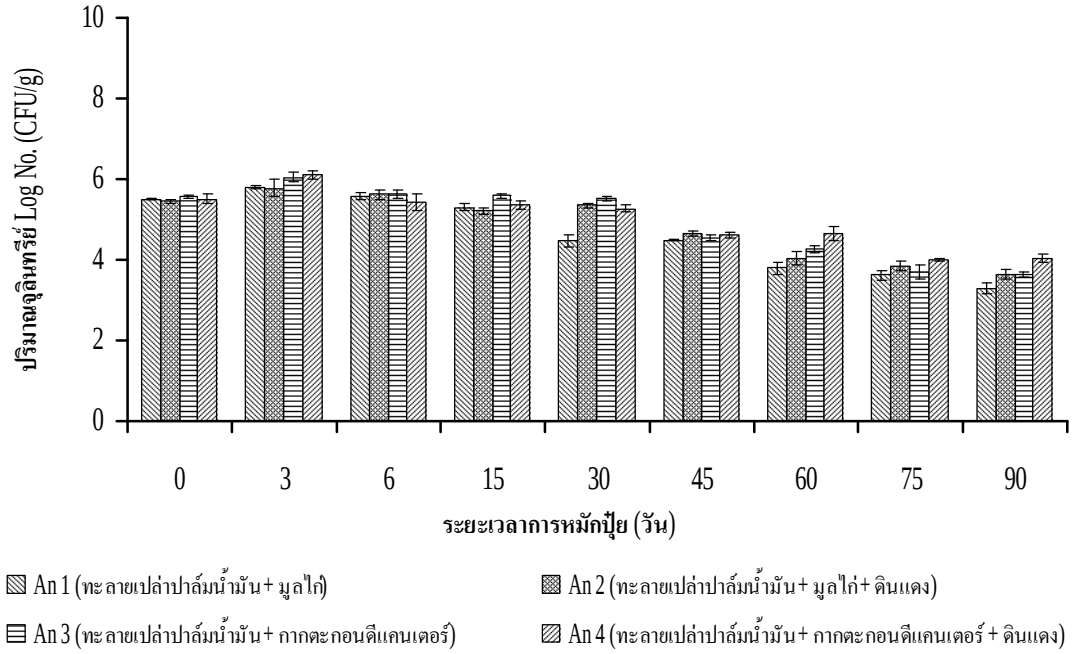
จากการที่ปริมาณเชื้อราและแอคติโนมัยซิสมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเชื้อราและแอคติโนมัยซิสมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายเซลลูโลส ส่งผลให้ปริมาณกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสของทั้ง 4 ชุดการทดลอง เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งชุดการทดลองที่ใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน คือ An 1 และ An 2 มีกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 6 หลังเริ่มต้นการหมัก โดยที่ An 1 และ An 2 มีกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูงสุด เท่ากับ 0.19 ยูนิต/กรัม จากนั้นกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมัก สำหรับชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน คือ An 3 และ An 4 มีกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 15 หลังเริ่มต้นการหมัก โดยที่ An 3 และ An 4 มีกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสสูงสุด เท่ากับ 0.19 และ 0.22 ยูนิต/กรัม ตามลำดับ จากนั้นกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 50 (โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงในตารางที่ 13 ภาคผนวก ง.) เพราะการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักมีปริมาณความชื้นสูงตลอดระยะเวลาการหมัก ทำให้ภายในกองปุ๋ยหมักมีช่องว่างน้อย ออกซิเจนจึงแพร่กระจายเข้าไปได้ยาก ประกอบกับไม่มีการกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งการกลับกองปุ๋ยหมักเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก เพราะออกซิเจนมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน เพื่อใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ส่งถ่ายมาจากระบบ respiratory chain ในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Cooperband, 2000) เมื่อกองปุ๋ยหมักมีปริมาณออกซิเจนต่ำส่งผลให้กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสต่ำ เนื่องจากเอนไซม์ที่ย่อยสลายเซลลูเลสบางชนิด เช่น β-glucosidase ทำงานได้ต่ำลง (Umikalsom *et al.*, 1998)



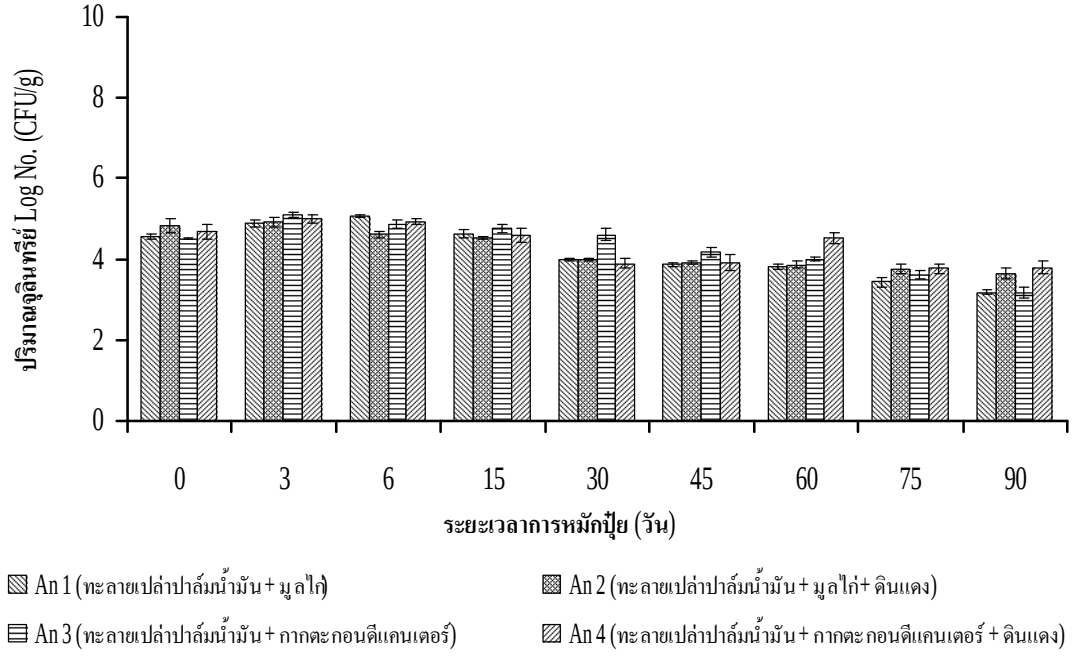
ภาพที่ 45 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ mesophilic bacteria ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก



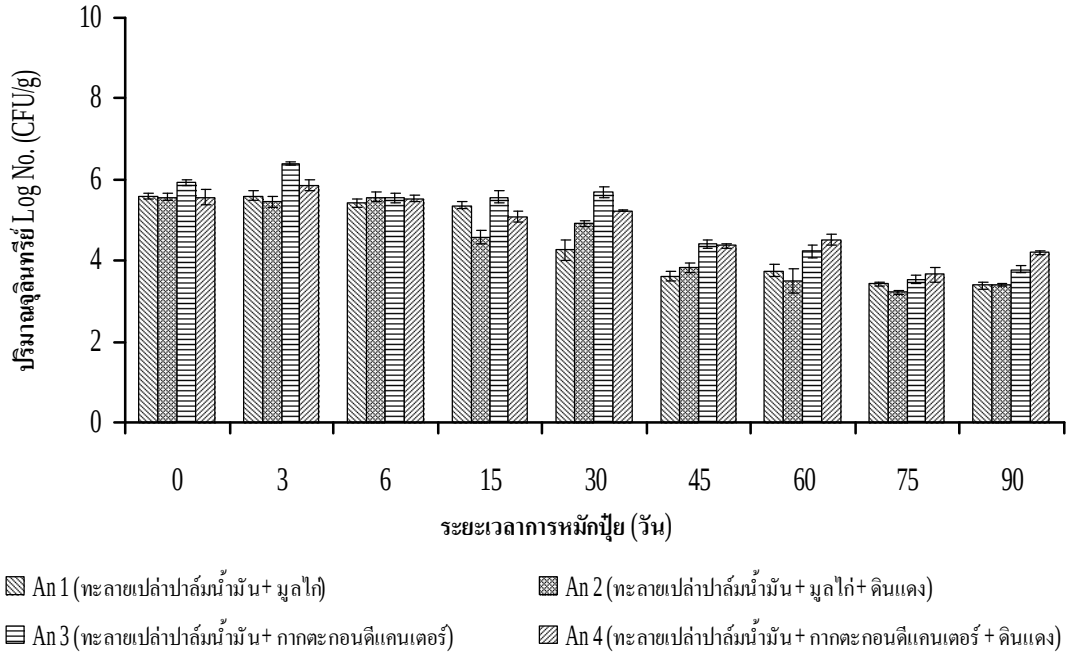
ภาพที่ 46 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic bacteria ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก



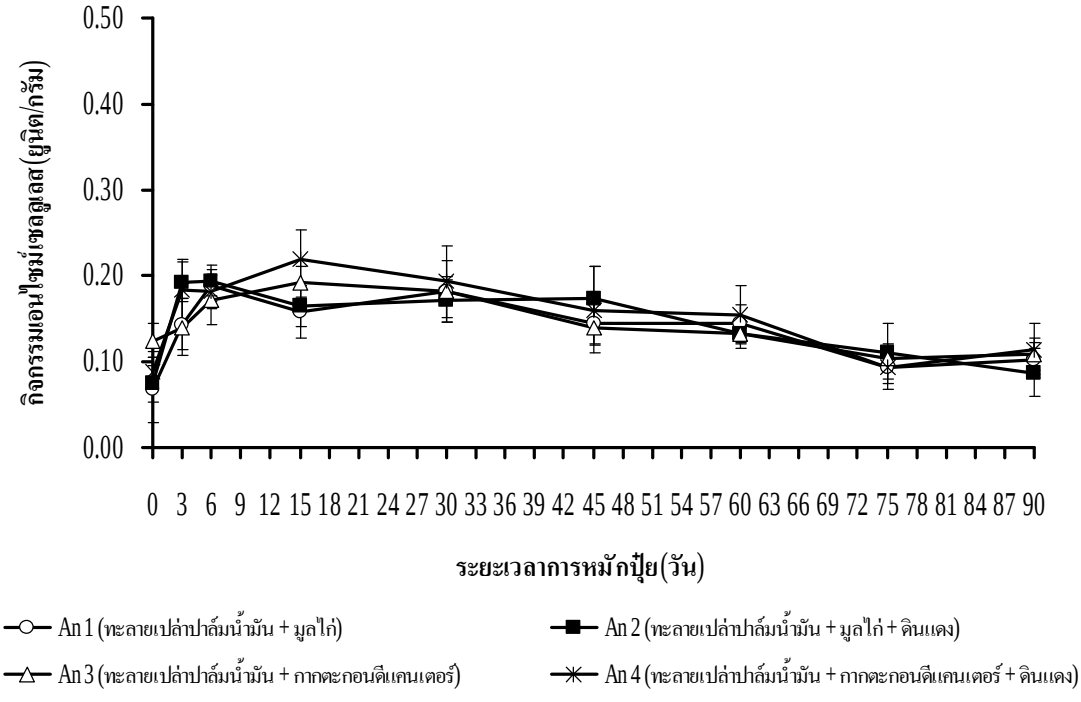
ภาพที่ 47 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ mesophilic fungi ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic fungi ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ thermophilic actinomycetes ในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 50 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสในกองปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

6. **เปรียบเทียบระยะเวลาการหมักปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ในการหมักไม่แบบกลับกองปุ๋ยหมัก**

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 62:1, 26:1, 28:1, 20:1 และ 22:1 ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของชุดการทดลอง An 3 และ An 4 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม, An 1 และ An 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 16 ซึ่งปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20:1 (Charest *et al.*, 2004) ดังนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของชุดควบคุม, An 1, An 2 และ An 4 มีค่าสูงกว่า 20:1 บ่งชี้ว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน สอดคล้องกับลักษณะสมบัติอื่น เช่น ลักษณะทางกายภาพโดยสังเกตจากลักษณะเส้นใยปาล์มน้ำมัน เมื่อสิ้นสุดการหมักยังมีลักษณะเป็นเส้นใยมองเห็นชัดเจน เมื่อใช้นิ้วมือบี้ตัวอย่างวัสดุหมัก พบว่า วัสดุหมักมีความแข็งกระด้างและไม่ร่วนซุย สำหรับชุดการทดลอง An 3 ถึงแม้ว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 20:1 แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่น เช่น ลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ เช่นเดียวกับชุดควบคุม, An 1, An 2 และ An 4

ดังนั้นสำหรับการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก วัสดุหมักต้องใช้เวลาในการหมักมากกว่า 90 วัน จึงสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งการเติมแหล่งไนโตรเจนวัสดุหมักกลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วกว่าไม่เติมแหล่งไนโตรเจน โดยที่เมื่อใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนวัสดุหมักกลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วกว่าใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	**อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน** (90 วัน)[1]
ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)	62:1d
An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)	26:1bc
An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)	28:1c
An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)	20:1a
An 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)	22:1ab

หมายเหตุ: 1 = ฐานมวลแห้ง (dry basis)

ในแนวตั้ง ค่าที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)

7. **เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก**

7.1 **ไนโตรเจนทั้งหมด**

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.56, 1.09, 0.83, 1.65 และ 0.99 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 0.79, 1.50, 1.07, 2.59 และ 1.58 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งไนโตรเจนทั้งหมดของชุดการทดลอง An 3 สูงกว่า An 4, An 2, An 3 และชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 17 ซึ่งพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดของชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 29.11, 27.33, 22.43, 36.29 และ 37.34 เปอร์เซ็นต์ บ่งชี้ว่า เมื่อใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจนและไม่เติมแหล่งไนโตรเจน

7.2 **ฟอสฟอรัส**

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.95, 1.88, 1.60, 1.01 และ 1.28 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 1.03, 2.07, 1.69, 1.23 และ 1.36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งฟอสฟอรัสใน An 1 สูงกว่า An 2, An 4, An 3 และชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ฟอสฟอรัสใน An 3 และ An 4 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 17 ซึ่งพบว่าฟอสฟอรัสของชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.77, 9.12, 5.33, 17.89 และ 5.88 เปอร์เซ็นต์ บ่งชี้ว่า เมื่อใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนทำให้ฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าไม่เติมแหล่งไนโตรเจน

7.3 **โพแทสเซียม**

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 เมื่อเริ่มต้นการหมักมีโพแทสเซียมเท่ากับ 1.24, 1.11, 0.93, 1.56 และ 1.04 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 1.27, 151, 1.39, 1.62 และ 1.39 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งโพแทสเซียมใน An 3 สูงกว่า An 2, An 4 และชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่โพแทสเซียมใน An 2 และ An 4 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 17 ซึ่งพบว่าโพแทสเซียมของชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.36, 26.49, 33.09,

3.70 และ 25.18 เปอร์เซ็นต์ บ่งชี้ว่า เมื่อใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจนทำให้ฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าไม่เติมแหล่งไนโตรเจน

จากการนำค่าธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากชุดควบคุม, An 1, An 2, An 3 และ An 4 มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจนทั้งหมด ไม่ต่ำกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัส ไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และโพแทสเซียม ไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2548) พบว่า ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีธาตุอาหารหลักผ่านมาตรฐาน ยกเว้นชุดควบคุม ซึ่งมีไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักทั้ง 5 ชุดการทดลอง ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ เนื่องจากเมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่น เช่น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พบว่า วัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 17 ปริมาณธาตุอาหารหลักในการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก เมื่อเริ่มต้นการหมัก (0 วัน) และสิ้นสุดการหมัก (90 วัน) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชุดการทดลอง	ธาตุอาหารหลัก					
	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)[1]		ฟอสฟอรัส (%)[1]		โพแทสเซียม (%)[1]	
	0 วัน	90 วัน	0 วัน	90 วัน	0 วัน	90 วัน
ชุดควบคุม	0.56 ± 0.02	0.79 ± 0.02 a	0.95 ± 0.04	1.03 ± 0.04 a	1.24 ± 0.07	1.27 ± 0.09 a
An 1	1.09 ± 0.05	1.50 ± 0.11 b	1.88 ± 0.29	2.07 ± 0.17 d	1.11 ± 0.14	1.51 ± 0.18 bc
An 2	0.83 ± 0.02	1.07 ± 0.15 a	1.60 ± 0.32	1.69 ± 0.08 c	0.93 ± 0.08	1.39 ± 0.05 ab
An 3	1.65 ± 0.06	2.59 ± 0.22 c	1.01 ± 0.09	1.23 ± 0.18 b	1.56 ± 0.14	1.62 ± 0.08 c
An 4	0.99 ± 0.02	1.58 ± 0.27 b	1.28 ± 0.03	1.36 ± 0.04 b	1.04 ± 0.05	1.39 ± 0.01 ab

หมายเหตุ: 1 = ฐานมวลแห้ง (dry basis)

ในแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่) Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง) Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์) และ Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง) เมื่อวัสดุหมักเข้าสู่วันที่ 60 หลังเริ่มต้นการหมัก พบว่า ชุดการทดลอง Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 วัสดุหมักเริ่มมีลักษณะยุ่ยขาดออกจากกันได้ง่าย มีสีน้ำตาลปนดำ ไม่มีกลิ่น และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 17:1, 19:1,11:1 และ 15:1 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่า 20:1 บ่งชี้ว่า การย่อยสลายได้เสร็จสมบูรณ์ โดยที่ Ae 3 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า Ae 4, Ae 1 และ Ae 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ชุดควบคุม ถึงแม้ว่าเวลาผ่านไป 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก วัสดุหมักยังมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 20:1 และวัสดุหมักยังแข็งกระด้าง ไม่ร่วนซุย มองเห็นเป็นเส้นใยปาล์มชัดเจน บ่งชี้ว่า การย่อยสลายยังไม่เสร็จสมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน ส่งผลให้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วกว่าใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน และการเติมแหล่งไนโตรเจนส่งผลให้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วกว่าไม่มีการเติมแหล่งไนโตรเจน สำหรับปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จาก Ae 1, Ae 2, Ae 3 และ Ae 4 เมื่อสิ้นสุดการหมัก (90 วัน) มีธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.60, 1.14, 3.30 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ฟอสฟอรัส เท่ากับ 2.57, 2.18, 1.59 และ 1.37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และโพแทสเซียม เท่ากับ 1.85, 1.81, 2.75 และ 1.51 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งธาตุอาหารหลักของทั้ง 4 ชุดการทดลอง ผ่านตามมาตรฐานของปุ๋ยหมักที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด จึงจัดเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

สำหรับการผลิตปุ๋ยหมักในการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ซึ่งประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง คือ ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่) An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง) An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์) และ An 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง) เมื่อเวลาผ่านไป 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก วัสดุหมักทั้ง 5 ชุดการทดลอง ยังมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 20:1 และยังมีลักษณะเป็นเส้นใยมองเห็นชัดเจน มีความแข็งกระด้าง ไม่ร่วนซุย บ่งชี้ว่า ยัง

ย่อยสลายไม่เสร็จสมบูรณ์ จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ถึงแม้ว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จากทั้ง 5 ชุดการทดลอง มีธาตุอาหารหลักผ่านมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมักสามารถทำได้ แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนานกว่า จึงเหมาะสมกับวัสดุหมักที่มีปริมาณมาก เพราะสะดวกในการดูแล ไม่สิ้นเปลืองกำลังคน หรือเครื่องจักร

ดังนั้นเมื่อต้องการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน การหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าการหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก โดยในกระบวนการหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักต้องมีการเติมแหล่งไนโตรเจนจากแหล่งต่างๆ เช่น มูลไก่ แต่ปัจจุบันมูลไก่มีราคาเพิ่มขึ้น ดังนั้นสามารถใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนทดแทนมูลไก่ได้ ซึ่งอัตราส่วนที่ใช้ในการหมัก คือ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1.3 กิโลกรัมน้ำหนักเปียก ต่อกากตะกอนดีแคนเตอร์ 2.3 กิโลกรัมน้ำหนักเปียก

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาถึงรายละเอียดในการเติมดินแดง เช่น อัตราส่วนระหว่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันต่อดินแดง และศึกษาพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการหมัก

2. ควรมีการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยใช้น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มมาปรับความชื้น ซึ่งจะเป็นการจัดการวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. ควรมีการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยใช้แหล่งไนโตรเจนอื่นๆ ที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง เช่น อามิอามิ และปุ๋ยยูเรีย เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2540. **การจัดการดินและพืชเพื่อปรับปรุงดินอินทรียวัตถุต่ำ.** คณะกรรมการกำหนดมาตรการและจัดทำเอกสารอนุรักษ์ดินและน้ำและการจัดการดิน กรมพัฒนาที่ดิน: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 123 หน้า.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่** 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 270 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์**. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ: ควิกพรินท์ ออฟเซ็ท. 45 หน้า.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2548. **การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย** SPSS for Windows. กรุงเทพฯ: ธรรมสาร. 260 หน้า.

เกษม สร้อยทอง. 2535. การทดสอบศักยภาพการย่อยสลายของเชื้อราที่มีคุณสมบัติย่อยสลายเซลลูโลสในการผลิตปุ๋ยหมัก โดยใช้วัสดุอินทรีย์จากพืช. **ว. วิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร** 9(2): 37-42.

โกสินทร์ แสงสวงค์. 2546. การเพาะเห็ดฟางในโรงเรือนโดยใช้เปลือกถั่วเขียว ขี้ฝ้าย ไส้นุ่น และทะลายปาล์มน้ำมัน. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. 2548. **เอกสารประกอบโครงการเผยแพร่ความรู้การประยุกต์เทคโนโลยีการกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริสู่ท้องถิ่น.** 86 หน้า.

ชนกพร หนูหอม. 2544. การทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกรโดยใช้ระบบอัดอากาศ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ชาติ เจียมชัยศรี และอุบลวรรณ นนทพันธ์. 2543. เอกสารสรุปการวิจัย **การเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอยในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ.** ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 16 หน้า.

ธงชัย คัมภีร์, มาลินี สมัยกุล, สุเทพ ญาดี, จงกลนี สุนทรสีมะ และพูนพิไล สุวรรณฤทธิ์. 2539. เชื้อแอคติโนมัยสีทในสาร EM. **วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์** 30(5): 36-46.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง. 2548. **เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน**. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 117 หน้า.

นภารัตน์ ไวยเจริญ. 2544. การทำปุ๋ยหมักของมูลฝอยจากตลาดสดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นันทวัน ฤทธิ์เดช. 2547. การตรวจวัดความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก. **ว. วิทยาศาสตร์ มข**. 32(2): 80-85.

บุปผา คำวัน. 2545. การเพิ่มศักยภาพของฟางข้าวและแกลบในการทำปุ๋ยหมัก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. **เคมีดิน**. เชียงใหม่: ห้างหุ้นส่วนจำกัดเชียงใหม่พิมพ์สวย. 273 หน้า.

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์. 2542. **การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือ**. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา. 328 หน้า.

ภานุพงศ์ บางรักษ์. 2548. การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผสมน้ำหมักของ *Rhodobacter capsulatus* SS3 และการใช้ในการปลูกผักบุ้งและต้นหอม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 184 หน้า.

สมศักดิ์ วังใน, ภาวนา ลิกขนานนท์ และเย็นใจ วสุวัต. 2539. การเปรียบเทียบการใช้ EM และจุลินทรีย์อื่นๆ ผลิตปุ๋ยหมัก. **วิทยาสารเกษตรศาสตร์: สาขาวิทยาศาสตร์** 30(5): 110-120.

สมศักดิ์ วังใน. 2528. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน**. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช. 191 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร. 2551. **ปาล์มน้ำมัน**. (ออนไลน์). สืบค้นได้จาก http://www.oae.go.th/econ/download/year51/palm51.pdf. (17 กุมภาพันธ์ 2552)

สุภาวดี บุญธรรม. 2550. **คลินิกดิน-ปุ๋ย**. ศูนย์ปฏิบัติการโครงการหลวง กรมพัฒนาที่ดิน อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่. 2 หน้า.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, สุรกิตติ ศรีกุล และชาย โฆรวิส. 2539. การใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งของธาตุอาหารทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี. **ว. วิชาการเกษตร** 14(2): 139-146.

สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. 2547. รายงานประสบการณ์ การใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในวิถีการผลิตของชุมชนบางขุนไทร: กรณีการทำนาโดยใช้ปุ๋ยหมักโบกาฉิ. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร. 73 หน้า.

สุมาลี เหลืองสกุล, สมใจ ศิริโภค และขจีนาฏ โพธิเวชกุล. 2544. รายงานการวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์ชนิดและการศึกษาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารในขยะและน้ำเสีย. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 38 หน้า.

หฤษฎี ภัทรดิลก. 2542. ปุ๋ยอินทรีย์. *ใน* เอกสารการสอนชุดวิชา ดิน น้ำ และปุ๋ย. สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 502 หน้า.

Akyuz, T., Akyuz, S. and Bassari, A. 2000. The sorption of cesium and strontium ions onto red clay from Sivrihisar Eskisehir (Turkey). Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry 38: 337-344.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official methods of analysis. AOAC, 15th ed. USA.

Azali, A., Nasrin, A. B., Choo, Y. M., Adam, N. M. and Sapuan, S. M. 2005. Development of gasification system fuelled with oil palm fibers and shells. American Journal of Applied Sciences (Special Issue). 72-75.

Aziz, A. A., Husin, M. and Mokhtar, A. 2002. Preparation of cellulose from oil palm empty fruit bunches via ethanol digestion: effect of acid and alkali catalysts. Journal of Oil Palm Research 14(1): 9-14.

Butler, T. A., Sikora, L. J., Steinhilber, P. M. and Douglass, L. W. 2001. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. Journal of Environmental Quality 30: 2141-2148.

Charest, M. H. and Beauchamp, C. J. 2002. Composting of de-inking paper sludge with poultry manure at three nitrogen levels using mechanical turning: behavior of physico-chemical parameters. Bioresource Technology 81: 7-17.

Charest, M. H., Antoun, H. and Beauchamp, C. J. 2004. Dynamics of water-soluble carbon substances and microbial populations during the composting of de-inking paper sludge. Bioresource Technology 91: 53-67.

Chiew, L. K. and Rahman, Z. A. 2002. The effects oil palm empty fruit bunches on oil palm nutrition and yield, and soil chemical properties. Journal of Oil Palm Research 14(2): 1-9.

Cooperband, L. R. 2000. Composting: Art and science of organic waste conversion to a valuable soil resource. The department of soil science, University of Wisconsin. Laboratory Medicine. 31: 283-290.

Day, M. and Shaw, K. 2001. Biological chemical and physical processes of composting. *In* Compost utilization in horticultural cropping systems. CRC Press. pp. 17-50.

Delaune, P. B., Moore, P. A., Daniel, J. T. C. and Lemunyon, J. L. 2004. Effect of chemical and microbial amendments on ammonia volatilization from composting poultry litter. Journal of Environmental Quality 33: 728-734.

Diaz, M. J., Madejon, E., Lopez, F., Lopez, R. and Cabrera, F. 2002. Optimization of the rate vinasse/ grape marc for co-composting process. Process Biochemistry 37: 1143-1150.

Eklind, Y. and Kirchmann, H. 2000. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses. Bioresource Technology 74: 125-133.

Fan, L. T. and Lee, Y. H. 1983. Kinetic studies of enzymatic hydrolysis of insoluble cellulose: derivation of a mechanistic model. Biotechnology and Bioengineering 25: 2707-2733.

Fang, M., Wong, J. W. C., Ma, K. K. and Wong, M. H. 1999. Co-composting of sewage sludge and coal ash: nutrient transformation. Bioresource Technology 67: 19-24.

Fogarty, A. M. and Tuovinen, O. H. 1991. Microbiological degradation of pesticides in yard waste composting. Microbiological Reviews 55(2): 225-233.

Gazi, A. V., Kyriacou, A., Kotsou, M. and Lasaridi, K. E. 2007. Microbial community dynamics and stability assessment during green waste composting. Global NEST Journal 9(1): 35-41.

Gomes, I., Gomes, J., Steiner, W. and Esterbauer, H. 1992. Production of cellulose and xylanase by a wild strain of *Trichoderma viride*. Applied Microbiology and Biotechnology 36: 701-707.

Guoxue, L., Zhang, F., Sun, Y., Wong, L. W. C. and Fang, M. 2001. Chemical evaluation of sewage sludge composting as a mature indicator for composting process. Water, Air and Soil Pollution 132: 333-345.

Hamoda, M. F., Qdais, H. A. and Newham, J. 1998. Evaluation of municipal solid waste composting kinetics. Resources Conservation and Recycling 23: 209–223.

Hassen, A., Belguith, K., Ledidi, N., Cherif, A., Cherif, M. and Boudabous, A. 2001. Microbial characterization during composting of municipal soil waste. Bioresource Technology 80: 217-225.

Hellmann, B., Zelles, L., Palojarvi, A. and Bai, Q. 1997. Emission of climate-relevant trace gases and succession of microbial communities during open-windrow composting. Applied and Environmental Microbiology 63(3): 1011-1018.

Hoyos, S. E. G., Juarez, J. V., Ramonet, C. A., Lopez, J. G., Rios, A. A. and Uribe, E. G. 2002. aerobic thermophilic composting of waste sludge from gelatin-grenetine industry. Resources Conservation and Recycling 34: 161-173.

Huang, G. F., Wong, J. W. C. and Nagar, B. B. 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. Waste Management 24: 805-813.

Kulcu, R. and Yaldiz, O. 2004. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. Bioresource Technology 93: 49-57.

Larney, F. J. and Hao, X. 2007. A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. Bioresource Technology 98: 3221-3227.

Liang, C., Das, K. C. and Mcclendon, R. W. 2003. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. Bioresource Technology 86: 131-137.

Mahimairaja, S., Bolan N. S. and Hedley, M. J. 1995. Denitrification losses of n from fresh and composted manures. Soil Biology and Biochemistry 27(9): 1223-1225.

Mandels, M. and Weber, J. 1969. The production of cellulose. *In* cellulose and their applications (Gould, R.E. ed) Adv. Chem. Ser. 95, American Chemistry Society, Washington, D.C.

Miller, G. L. 1959. Use of dinitrosalicyclic acid reagent for determination of reducing sugar. Biotechnology Bioengineering Symposium 5: 193-219.

Mondini, C., Chiumenti, R., Borso, F. D., Leita, L. and Nobili, M. D. 1996. Changes during processing in the organic matter of composted and air-dried poultry manure. Bioresource Technology 55: 243-249.

Negro, M. J., Solano, M. L., Ciria, P. and Carrasco, J. 1999. Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes. Bioresource Technology 67: 89-92.

Neklyudov, A. D., Fedotov, G. N., and Ivankin, A. N. 2008. Intensification of Composting Processes by Aerobic Microorganisms: A review. Applied Biochemistry and Microbiology 44(1): 9-23.

Ogunwande, G. A., Ogunjimi, L. A. O. and Fafiyebi, J. O. 2008. Effects of turning frequency on composting of chicken litter in turned windrow piles. International Agrophysics 22: 159-165.

Pare, T., Dinel, H., Schnitzer, M. and Dumontet, S. 1998. Transformations of carbon and nitrogen during composting of animal manure and shredded paper. Biology and Fertility of Soils 26: 173-178.

Peigne, J. and Girardin, P. 2004. Environmental impacts of farm-scale composting practices. Water, Air and Soil Pollution 153: 45-68.

Petric, I. and Selimbasic, V. 2008. Composting of poultry manure and wheat straw in a closed reactor: optimum mixture ratio and evolution of parameters. Biodegration 19: 53-63.

Prasertsan, S. and Prasertsan, P. 1996. Biomass residues from palm oil mill in Thailand: an overview on quantity and potential usage. Biomass and Bioenergy 1(5): 387-395.

Ratnasingam, J., Mcnulty, T. and Manikam, M. 2008. The machining characteristics of oil palm empty fruit bunches particleboard and its suitability for furniture. Asian Journal of Applied Sciences 1(3): 253-258.

Ruggieri, L., Gea, T., Artola, A. and Sanchez, A. 2008. Influence of different co-substrates biochemical composting on raw sludge co-composting. Biodegration 19: 403-415.

Saletes, S., Caliman, J. P. and Raham, D. 2004. Study of mineral nutrient losses from oil palm empty fruit bunches during temporary storage. Journal of Oil Palm Research 16(1): 11-21.

Samudro, G. and Hermana, J. 2007. Denitrification efficiency in a compost bed with various carbon and nitrogen contents. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation 2(2): 57-62.

Sancom, A., Sopajaree, K. and Cheunbarn, T. 2006. Effect of temperature on total organic carbon degradation using *Trichoderma* fungal in co-composting of straw and hospital sewage sludge. *In* The 2nd Joint International Coference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)", Bangkok, Thailand. November pp.1-7.

Schuchardt, F., Darnoko, D. and Guritno, P. 2002. Composting of empty oil palm fruit bunches (EFB) with simultaneous evaporation of oil mill waste water (POME). *In* International Oil Palm Conference, Nusa Dua, Bali, Indonesia. July pp. 8-12.

Sharma, V. K., Canditelli, M., Fortuna, F. and Cornacchia, G. 1997. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: Review. Energy Conversion and Management 38(5): 453-478.

Shi, W., Norton, J. M., Miller, B. E. and Pace, M. G. 1999. Effect of aeration and moisture during windrow composting on the nitrogen fertilizer of dairy waste composts. Applied Soil Ecology 11: 17-28.

Suhaimi, M. and Ong, H. K. 2001. Composting empty fruit bunches of oil palm. Malaysian Agricultural Research and Development Institute (MARDI). pp. 1-8.

Suler, D. J. and Finstein, M. S. 1977. Effect of temperature aeration and moisture on co_2 formation in bench-scale continuously thermophilic composting of solid waste. Applied and Environmental Microbiology 33(2): 345-350.

Sumathi, S., Chai, S. P. and Mohamed, A. R. 2007. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12(9): 2404-2421.

Tang, J. C. and Katayama, A. 2005. Relating quinine profile to the aerobic biodegradation in thermophilic composting processes of cattle manure with various bulking agents. World Journal of Microbilogy Biotechnology 21: 1249-1254.

Tarmizi, A. M. and Mohd, T. D. 2006. Nutrient demands of tenera oil palm planted on inland soils of Malaysia. Journal of Oil Palm Research 18: 204-209.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vilal, S. 1993. Integrated solid waste management engineering principles and management Issues. Mcgraw-Hill, Inc. 978 pp.

Thambirajah, J. J., Zulkali, M. D. and Hashim, M. A. 1995. Microbiological and biochemical changes during the composting of oil palm empty fruit bunches; effect of nitrogen supplementation on the substrate. Bioresource Technology 52: 133-144.

Thomsen, I. K. 2000. C and N transformations in ^{15}N cross-labelled solid ruminant manure during anaerobic and aerobic storage. Bioresource Technology 72: 267-274.

Tiquia, S. M. and Tam, N. F. Y. 2000. Co-composting of spent pig litter and sludge with forced-aeration. Bioresource Technology 72: 1-7.

Tiquia, S. M. and Tam, N. F. Y. 2000. Fate of nitrogen during composting of chicken litter. Environmental Pollution 110(3): 535-541.

Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y. and Hodgkiss, I. J. 1996. Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents. Bioresource Technology 55: 201-206.

Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y. and Hodgkiss, I. J. 1998. Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents. Agriculture Ecosystems and Environment 67(1): 79-89.

Umikalson, M. S., Ariff, A. B., Shamsuddin, Z. H., Tong, C. C., Hassan, M. A. and Karim, M. I. A. 1997. Production of cellulose by a wild strain of *Chaetomium globosum* using delignified oil palm empty fruit bunch fibre as substrate. Applied Microbiology and Biotechnology 47: 590-595.

Vuorinen, A. H. and Saharinen, M. H. 1997. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system. Agriculture Ecosystems and Environment 66: 19-29.

Wong, P. W., Sulaiman, N. M., Nachiappan, M. and Varadaraj, B. 2002. Pre-treatment and membrane ultrafiltration using treated palm oil mill effluent (POME). Songklanakarin Journal of Science and Technology 24: 891-898.

Zen, Z., Mccarthy, J. and Barlow, C. 2005. Environmental issues in an age of regional autonomy: the case of pollution in the plantation sector of north Sumatra. Oil Palm Industry Economic Journal 5(2): 23-36.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น

ภาคผนวก ก.

การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น

1. **การใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน (สมมุติให้** C:N ratio **เริ่มต้น** = 36:1) (Tchobanoglous *et al.*, 1993)

มูลไก่ 1 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ผสมกับทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน X กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

มูลไก่มี C เท่ากับ 14.71 เปอร์เซ็นต์, N เท่ากับ 1.51 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น มูลไก่ 1 กิโลกรัม มี C เท่ากับ 14.71/100 กิโลกรัม, N เท่ากับ 1.51/100 กิโลกรัม

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมี C เท่ากับ 52.36 เปอร์เซ็นต์, N เท่ากับ 0.56 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน X กิโลกรัม ของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมี C เท่ากับ 52.36X/100 กิโลกรัม, N เท่ากับ 0.56X/100 กิโลกรัม

ดังนั้น

$$\frac{C_{\text{มูลไก่+ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน}}}{N_{\text{มูลไก่+ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน}}} = \frac{36}{1}$$

$$\frac{14.71 + 52.36X}{1.51 + 0.56X} = \frac{36}{1}$$

$$14.71 + 52.36X = 36(1.51 + 0.56X)$$

$$14.71 + 52.36X = 54.36 + 20.16X$$

$$52.36X - 20.16X = 54.36 - 14.71$$

$$32.2X = 39.65$$

$$X = 39.65/32.20$$

$$X = 1.23$$

เมื่อต้องการ C:N ratio เริ่มต้น เท่ากับ 36:1 ต้องใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1.23 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ผสมกับมูลไก่ 1 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) แต่ในการทดลองจริงต้องใช้น้ำหนักเปียก ซึ่งทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีความชื้น เท่ากับ 20.28 เปอร์เซ็นต์ และมูลไก่ มีความชื้นเท่ากับ 9.35 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น

ต้องใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน คือ

จากน้ำหนักแห้ง	79.72 กิโลกรัม	มาจากน้ำหนักเปียก	100 กิโลกรัม
จากน้ำหนักแห้ง	1.23 กิโลกรัม	มาจากน้ำหนักเปียก	1.54 กิโลกรัม

ต้องใช้มูลไก่ คือ

จากน้ำหนักแห้ง	90.65 กิโลกรัม	มาจากน้ำหนักเปียก	100 กิโลกรัม
จากน้ำหนักแห้ง	1 กิโลกรัม	มาจากน้ำหนักเปียก	1.10 กิโลกรัม

สรุปได้ว่า

เมื่อต้องการ C:N ratio เริ่มต้น เท่ากับ 36:1 ต้องใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1.54 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ผสมกับมูลไก่ 1.10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก)

สมมุติ

ใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 6 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ต้องใช้มูลไก่ 4.29 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) หรือ

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 4.78 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ต้องใช้มูลไก่ 3.89 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

2. **อัตราส่วนการเติมดินแดง (ใช้มูลไก่เป็นแหล่งไนโตรเจน)**

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (2548) ได้กำหนดอัตราส่วนวัสดุหมัก 3 ส่วน: ดินแดง 1 ส่วน (น้ำหนักเปียกต่อน้ำหนักเปียก) ดังนั้น

จากน้ำหนักของวัสดุหมัก 10.29 กิโลกรัม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 6 กิโลกรัม ผสมกับ มูลไก่ 4.29 กิโลกรัม) ต้องใช้ดินแดง 3.43 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) หรือ

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 4.78 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ต้องใช้มูลไก่ 3.89 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และดินแดง 3.17 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

3. **การใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน (สมมุติให้ C:N ratio เริ่มต้น = 36:1)**

กากตะกอนดีแคนเตอร์ 1 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ผสมกับทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน X กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

กากตะกอนดีแคนเตอร์มี C เท่ากับ 45.01 เปอร์เซ็นต์, N เท่ากับ 2.18 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น กากตะกอนดีแคนเตอร์ 1 กิโลกรัม มี C เท่ากับ 45.01/100 กิโลกรัม, N เท่ากับ 2.18/100 กิโลกรัม

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมี C เท่ากับ 52.36 เปอร์เซ็นต์, N เท่ากับ 0.56 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน X กิโลกรัม ของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมี C เท่ากับ 52.36X/100 กิโลกรัม, N เท่ากับ 0.56X/100 กิโลกรัม

ดังนั้น $\frac{C_{\text{กากตะกอนดีแคนเตอร์+ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน}}}{N_{\text{กากตะกอนดีแคนเตอร์+ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน}}} = \frac{36}{1}$

$$\frac{45.01 + 52.36X}{2.18 + 0.56X} = \frac{36}{1}$$

$$45.01 + 52.36X = 36(2.18 + 0.56X)$$

$$45.01 + 52.36X = 78.48 + 20.16X$$

$$52.36X - 20.16X = 78.48 - 45.01$$

$$32.2X = 33.37$$

$$X = 33.47/32.20$$

$$X = 1.04$$

เมื่อต้องการ C:N ratio เริ่มต้น เท่ากับ 36:1 ต้องใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1.04 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ 1 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) แต่ในการทดลองจริงต้องใช้น้ำหนักเปียก ซึ่งทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีความชื้น เท่ากับ 20.28 เปอร์เซ็นต์ และกากตะกอนดีแคนเตอร์มีความชื้น เท่ากับ 57.25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น

ต้องใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน คือ

จากน้ำหนักแห้ง	79.72 กิโลกรัม	มาจากน้ำหนักเปียก	100 กิโลกรัม
จากน้ำหนักแห้ง	1.04 กิโลกรัม	มาจากน้ำหนักเปียก	1.30 กิโลกรัม

ต้องใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ คือ

จากน้ำหนักแห้ง	42.75 กิโลกรัม	มาจากน้ำหนักเปียก	100 กิโลกรัม
จากน้ำหนักแห้ง	1 กิโลกรัม	มาจากน้ำหนักเปียก	2.34 กิโลกรัม

สรุปได้ว่า

เมื่อต้องการ C:N ratio เริ่มต้น เท่ากับ 36:1 ต้องใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1.30 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ 2.34 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก)

สมมุติ

ใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 6 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ต้องใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ 10.80 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) หรือ

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 4.78 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ต้องใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ 4.62 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

4. **อัตราส่วนการเติมดินแดง (ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน)**

โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (2548) ได้กำหนดอัตราส่วนวัสดุหมัก 3 ส่วน: ดินแดง 1 ส่วน (น้ำหนักเปียกต่อน้ำหนักเปียก) ดังนั้น

จากน้ำหนักของวัสดุหมัก 16.80 กิโลกรัม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 6 กิโลกรัม ผสมกับ กากตะกอนดีแคนเตอร์ 10.8 กิโลกรัม) ต้องใช้ดินแดง 5.60 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) หรือ

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 4.78 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ต้องใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ 4.62 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และดินแดง 5.18 กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

ภาคผนวก ข.
การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลส และการเตรียมกราฟมาตรฐาน

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลส และการเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. **สารเคมี**

สารเคมีสำหรับวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลส โดยใช้วิธี DNS Method (Miller, 1959) ในการหาปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้น

1.1 Citrate buffer

ก. เตรียม 0.1 M citric acid โดยละลาย citric acid 21.01 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

ข. เตรียม 0.1 M sodium citrate โดยละลาย sodium citrate 29.41 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

ค. นำ 23 มิลลิลิตร ในข้อ ก รวมกับ 27 มิลลิลิตร ในข้อ ข แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

1.2 Dinitrosalicylic acid reagent (DNS reagent)

ก. เตรียมสารละลาย 1 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ข. เติมสารต่าง ๆ ลงในข้อ ก ในปริมาณต่อไปนี้

- dinitrosalicylic acid	1.0	เปอร์เซ็นต์
- phenol	0.2	เปอร์เซ็นต์
- sodium potassium tartrate	20.0	เปอร์เซ็นต์
- sodium sulphate	0.5	เปอร์เซ็นต์

1.3 **การทดสอบกิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลส** ประยุกต์วิธีของ Mandels และ Weber (1969)

ก. นำตัวอย่างปุ๋ยหมัก 0.5 กรัม เติม citrate buffer 0.5 มิลลิลิตร (blank ใช้ citrate buffer 0.5 มิลลิลิตร)

ข. เติม 1 เปอร์เซ็นต์ carboxymethyl cellulase (CMC) 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

ค. นำไปบ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้ววิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) โดยวิธี DNS method ทันที ตามวิธีในข้อ ง-ฉ (ทำชุดควบคุม โดยขั้นตอนเหมือนข้อ ก และ ข แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ทันที)

ง. เติม DNS reagent 3 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำให้เย็นทันทีโดยใช้น้ำประปา

จ. เติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

ฉ. นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนใสไปทำการเจือจาง 10 เท่า เขย่าให้เข้ากันก่อนนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมไปหักออกจากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากชุดการทดลอง แล้วเปรียบเทียบหาปริมาณของน้ำตาลกลูโคสจากกราฟมาตรฐาน ก่อนนำมาคำนวณหาค่ากิจกรรมเอนไซม์

วิธีการคำนวณค่ากิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสให้มีหน่วยเป็น ยูนิต/กรัม โดยใช้สูตร

$$\text{ยูนิต/กรัม} = \frac{\text{มิลลิกรัมของกลูโคส} \times 1{,}000 \times \text{จำนวนเท่าของการเจือจางสารละลายเอนไซม์}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลกลูโคส} \times \text{ระยะเวลาการบ่ม} \times \text{ปริมาณตัวอย่าง}}$$

(กรัม/โมล) (นาที) (กรัม)

1.4 **การเตรียมกราฟมาตรฐานของกลูโคส**

ก. ชั่งน้ำตาลกลูโคสที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 100 มิลลิกรัม แล้วปรับปริมาตรด้วย 0.05 M citrate buffer เป็น 10 มิลลิลิตร ได้สารละลายน้ำตาลกลูโคสที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แล้วเก็บเป็น stock solution

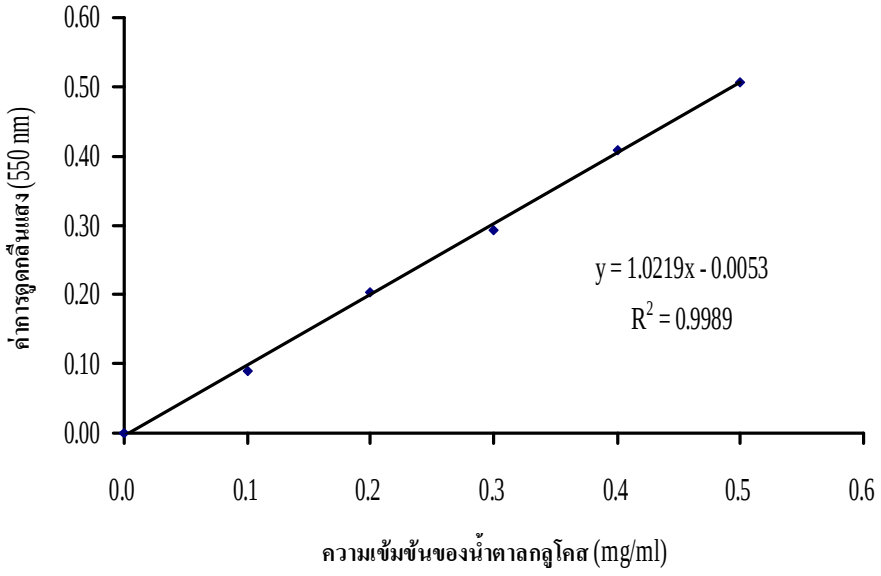
ข. เตรียมสารละลายน้ำตาลกลูโคสที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จาก stock solution

ค. ดูดตัวอย่างที่เตรียมในข้อ ข ความเข้มข้นละ 1 มิลลิลิตร (blank ใช้น้ำกลั่น)

ง. เติม DNS reagent 3 มิลลิลิตร

จ. นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำให้เย็นทันทีโดยใช้น้ำประปา

ฉ. เติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส



ภาคผนวก ข 1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร

ภาคผนวก ค.
ผลการวิเคราะห์สมบัติของกองปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

ภาคผนวก ค.

ผลการวิเคราะห์สมบัติของกองปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก

ตารางภาคผนวก ค 1 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิที่ระดับกึ่งกลางของกองปุ๋ยหมัก (องศาเซลเซียส) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก ตั้งแต่เริ่มต้นการหมัก (0 วัน) จนสิ้นสุดการหมัก (90 วัน) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
		ชุดควบคุม	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	28.5	28.0±0.0	27.7±0.6	27.2±0.3	27.3±0.6	27.8±0.3
1	29.0	43.2±0.3	56.5±1.5	54.0±2.6	54.3±4.0	48.8±0.8
2	29.0	36.2±0.3	53.3±6.1	51.3±2.1	59.3±4.5	49.7±0.6
3	27.0	34.3±0.6	54.0±1.0	52.7±1.2	52.8±3.8	44.3±1.2
4	28.0	33.3±0.6	50.0±1.7	50.3±1.2	48.3±3.2	41.5±0.5
5	28.0	33.2±0.3	45.7±2.1	44.7±1.2	44.7±1.2	40.3±0.6
6	29.0	32.2±0.3	46.3±0.6	46.3±1.5	48.3±0.6	42.3±0.6
7	29.0	32.0±0.0	42.7±0.6	43.0±1.7	47.0±1.0	46.0±1.0
8	29.0	32.0±0.0	39.2±1.0	39.0±1.0	42.8±0.8	38.7±0.6
9	28.0	32.0±0.5	38.5±0.5	36.7±0.6	42.0±1.7	38.3±1.2
10	28.5	32.2±0.3	39.0±1.0	37.7±0.6	42.7±1.5	38.7±1.5
11	29.0	32.2±0.3	38.7±0.6	36.7±0.6	42.7±1.5	38.2±0.8
12	28.5	32.0±0.0	37.7±0.6	35.3±0.6	40.0±1.0	36.3±1.5
13	29.0	31.8±0.3	36.8±0.3	35.7±0.6	41.2±2.3	37.3±1.2
14	29.0	31.8±0.3	38.2±0.3	36.5±0.5	41.5±1.3	37.3±0.6
15	28.5	31.8±0.3	35.8±1.0	34.3±1.5	38.3±1.5	35.3±0.6
16	28.0	31.7±0.6	35.0±2.2	32.8±1.0	37.3±1.0	34.2±1.0
17	28.5	31.2±0.3	34.5±0.9	32.8±1.0	38.0±1.7	35.7±0.8
18	29.0	31.3±0.6	34.2±0.3	33.3±0.3	39.0±1.0	36.0±0.0
19	28.5	31.2±0.3	33.5±0.5	32.2±0.3	37.2±0.8	35.0±0.9
20	28.5	30.7±0.6	33.2±0.3	32.3±0.6	37.7±0.6	36.0±0.0
21	29.0	31.0±0.5	33.3±0.3	32.5±0.5	37.5±0.3	36.0±0.0

ตารางภาคผนวก ค 1 (ต่อ)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
		ชุดควบคุม	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
22	29.0	31.2±0.3	32.2±0.3	31.5±0.5	36.7±0.6	35.2±0.3
23	29.0	30.3±0.6	32.7±1.2	31.5±0.5	36.0±1.0	35.2±1.0
24	28.5	30.5±0.5	32.8±0.3	31.5±0.5	35.7±0.3	34.3±0.6
25	29.0	30.3±0.6	32.3±0.3	31.0±0.0	34.7±0.6	33.3±0.6
26	27.0	30.0±0.0	30.2±0.3	29.3±0.3	32.5±0.5	31.5±0.5
27	27.0	29.7±0.3	30.3±0.6	29.7±0.3	33.0±0.5	31.8±0.8
28	27.5	29.3±0.6	31.3±0.6	31.2±0.8	34.7±1.2	33.0±1.0
29	28.0	29.7±0.6	30.2±0.3	30.2±0.3	32.5±0.5	31.8±0.3
30	28.5	30.2±0.3	31.0±0.0	30.8±0.3	33.2±0.8	32.7±0.6
31	29.0	29.3±0.6	31.3±0.6	31.2±0.3	33.7±0.6	32.7±0.6
32	28.5	29.8±0.8	31.0±0.0	31.0±0.0	32.8±0.3	32.0±0.5
33	27.0	29.5±0.5	28.7±0.3	28.7±0.3	31.0±0.0	30.7±0.3
34	28.5	29.8±0.3	30.2±0.3	30.2±0.3	32.5±0.5	31.8±0.3
35	27.5	29.8±0.3	31.0±0.0	31.0±0.0	35.0±0.9	33.3±0.6
36	29.0	30.3±0.3	31.0±0.0	31.0±0.9	32.8±0.3	32.0±0.5
37	29.0	30.0±0.5	30.3±0.6	31.0±0.0	32.7±0.6	31.3±0.6
38	29.0	30.3±0.6	30.0±0.0	30.3±0.6	32.0±0.0	31.0±0.0
39	29.0	29.5±0.5	29.0±0.0	29.5±0.5	31.8±0.3	31.2±0.3
40	29.0	29.2±0.3	30.2±0.8	30.3±0.6	32.0±0.0	30.8±0.8
41	29.0	29.8±0.3	31.2±0.3	30.7±0.6	32.7±0.3	31.3±0.6
42	29.0	30.2±0.3	30.7±0.6	31.3±0.6	33.3±0.6	33.0±0.0
43	27.0	29.8±0.3	30.5±0.5	30.0±0.0	31.5±0.5	30.7±0.6
44	27.0	29.8±0.3	29.7±0.3	29.7±0.3	31.3±0.6	30.7±0.6
45	27.0	29.3±0.3	29.8±0.6	30.3±0.3	32.2±0.3	31.2±0.3
46	27.5	29.5±0.0	29.2±0.3	29.0±0.0	30.7±0.6	30.0±0.0
47	28.0	28.5±0.5	28.7±0.6	29.0±0.0	30.3±0.6	29.7±0.6
48	26.5	27.3±0.6	28.3±1.2	29.3±0.6	31.0±0.5	30.3±0.3
49	27.5	29.2±0.3	28.7±0.3	28.8±0.3	30.5±0.5	29.7±0.6
50	27.5	29.5±0.5	29.0±0.0	28.8±0.3	31.0±0.0	29.7±0.3
51	27.5	29.2±0.3	28.8±0.3	28.7±0.3	30.7±0.6	29.5±0.0

ตารางภาคผนวก ค 1 (ต่อ)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
		ชุดควบคุม	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
52	28.0	29.3±0.3	28.8±0.3	28.8±0.3	30.7±0.6	29.7±0.3
53	29.0	29.7±0.3	29.8±0.3	29.3±0.3	31.2±0.3	30.7±0.3
54	29.0	30.2±0.3	31.0±0.0	31.5±0.5	32.0±0.0	31.3±0.6
55	29.0	29.8±0.3	31.2±0.3	30.7±0.6	32.3±0.6	31.0±0.0
56	29.0	29.5±0.5	31.3±0.6	31.0±0.0	33.0±0.0	31.8±0.3
57	29.0	29.3±0.3	30.8±0.3	30.5±0.5	32.0±0.0	31.3±0.6
58	28.5	29.2±0.3	30.8±0.3	30.5±0.5	32.0±0.0	31.5±0.5
59	28.0	28.7±0.3	30.0±0.0	29.3±0.6	31.5±0.5	30.7±0.6
60	27.5	28.8±0.3	29.2±0.3	29.5±0.5	31.0±0.0	30.0±0.0
61	28.0	28.0±0.5	30.0±0.0	29.5±0.5	31.5±0.5	30.7±0.6
62	27.5	28.8±0.3	29.8±0.3	29.3±0.6	31.3±0.6	30.2±0.3
63	28.5	29.3±0.6	30.0±0.3	29.3±0.3	31.5±0.5	30.3±0.3
64	27.0	28.7±0.3	30.7±0.6	29.2±0.3	31.2±0.3	29.8±0.3
65	27.0	28.8±0.3	30.0±0.0	29.2±0.3	31.3±0.6	29.8±0.3
66	28.0	29.2±0.3	30.0±0.0	29.8±0.3	31.7±0.6	29.8±0.3
67	28.0	28.8±0.3	30.7±0.6	30.0±0.0	30.7±0.6	29.5±0.5
68	28.0	28.5±0.5	30.3±0.6	29.7±0.3	31.3±0.6	29.8±0.3
69	28.0	28.2±0.3	30.0±0.0	29.8±0.3	30.7±0.6	29.8±0.3
70	27.0	28.5±0.5	29.8±0.3	29.7±0.3	31.3±0.6	29.7±0.3
71	27.0	28.0±0.0	29.7±0.3	29.5±0.5	30.3±0.3	29.7±0.3
72	27.5	28.2±0.3	29.7±0.3	29.5±0.5	30.3±0.3	29.7±0.3
73	27.5	28.5±0.5	29.5±0.0	29.3±0.3	30.5±0.5	29.7±0.3
74	28.0	28.7±0.6	29.7±0.3	29.7±0.3	30.3±0.3	29.7±0.3
75	28.0	28.5±0.5	29.7±0.3	29.5±0.0	29.7±0.3	29.5±0.0
76	27.5	28.7±0.3	29.5±0.0	29.8±0.3	29.7±0.3	29.2±0.3
77	28.0	28.3±0.3	29.0±0.0	29.2±0.3	29.0±0.0	29.0±0.0
78	27.5	28.8±0.3	28.3±0.6	28.5±0.5	28.5±0.5	28.7±0.6
79	26.0	28.5±0.0	27.8±0.3	28.3±0.6	28.5±0.5	28.3±0.6
80	27.0	28.8±0.3	28.0±0.0	28.2±0.3	28.5±0.5	28.5±0.5
81	27.5	28.5±0.0	28.0±0.0	28.2±0.3	28.2±0.3	28.2±0.3

ตารางภาคผนวก ค 1 (ต่อ)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
		ชุดควบคุม	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
82	26.5	28.5±0.0	28.0±0.0	28.2±0.3	28.5±0.5	28.3±0.6
83	27.0	28.0±0.0	27.7±0.3	28.0±0.0	28.5±0.5	28.3±0.6
84	27.5	28.0±0.0	27.8±0.3	28.0±0.0	28.3±0.6	28.3±0.6
85	27.5	28.0±0.0	27.7±0.3	28.2±0.3	28.3±0.3	28.0±0.5
86	27.5	28.5±0.5	27.8±0.3	28.0±0.0	28.5±0.5	28.0±0.5
87	27.5	28.5±0.5	27.8±0.3	28.0±0.0	28.2±0.3	28.2±0.3
88	27.5	28.7±0.3	27.8±0.3	28.0±0.0	28.3±0.3	28.3±0.6
89	26.5	28.2±0.3	27.7±0.3	27.8±0.3	28.0±0.5	27.8±0.3
90	27.0	28.2±0.3	27.7±0.3	28.0±0.0	28.0±0.5	28.0±0.5

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 2 ผลการวิเคราะห์ความชื้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	**ชุดควบคุม**	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	61.59±2.73	61.21±3.21	58.55±3.26	56.27±2.48	62.78±2.51
7	62.43±3.86	60.89±2.88	59.37±2.45	59.96±3.51	62.67±1.60
14	61.08±3.55	60.83±2.04	61.79±3.00	61.84±1.84	62.13±1.49
21	61.11±3.81	62.53±2.18	63.03±1.19	63.67±1.93	62.30±2.00
28	63.83±1.64	63.48±1.45	62.82±1.91	62.06±2.10	62.99±1.89
35	63.08±1.85	63.09±1.85	61.56±2.51	62.93±1.50	61.22±2.28
42	61.64±2.10	61.28±3.28	63.89±2.77	62.63±2.30	62.90±2.24
49	60.66±2.06	62.59±1.83	63.02±2.34	62.35±2.01	60.78±2.46
56	61.59±3.40	61.55±3.70	61.86±3.51	63.58±3.12	60.95±3.21
63	59.13±3.26	61.56±3.00	59.44±3.37	61.99±3.28	60.70±2.69
70	59.27±1.39	62.30±2.91	60.28±1.96	61.40±2.42	59.47±1.37
77	59.63±1.01	61.56±1.80	59.34±2.03	61.04±2.33	59.58±4.03
84	58.93±1.03	59.64±2.34	60.53±1.65	61.58±2.12	59.43±3.86
90	58.59±1.28	59.25±2.45	61.97±1.57	60.44±1.21	59.71±2.02

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 3 ผลการวิเคราะห์พีเอชในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	ชุดควบคุม	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	8.18±0.07	7.53±0.09	7.64±0.10	7.27±0.12	7.43±0.10
3	8.24±0.06	7.91±0.06	7.94±0.19	8.01±0.21	7.85±0.15
6	8.25±0.05	7.55±0.09	7.66±0.05	8.19±0.11	8.05±0.16
9	8.23±0.08	7.71±0.17	7.86±0.18	8.12±0.14	8.06±0.06
12	8.22±0.06	7.61±0.15	7.68±0.09	8.05±0.12	7.94±0.18
15	8.24±0.09	7.68±0.08	7.78±0.08	8.18±0.09	7.99±0.16
18	8.24±0.05	7.81±0.06	7.76±0.06	8.14±0.07	7.98±0.04
21	8.22±0.03	7.78±0.06	7.69±0.07	8.12±0.10	7.95±0.18
24	8.24±0.04	7.82±0.12	7.82±0.15	8.20±0.17	7.94±0.08
27	8.19±0.06	8.06±0.08	8.10±0.16	8.39±0.24	8.19±0.09
30	8.27±0.03	8.18±0.08	8.13±0.14	8.25±0.10	8.23±0.12
33	8.23±0.04	8.21±0.07	8.17±0.14	8.31±0.19	8.25±0.09
36	8.21±0.06	8.21±0.05	8.34±0.13	8.42±0.12	8.30±0.11
39	8.19±0.05	8.32±0.13	8.42±0.15	8.40±0.10	8.44±0.15
42	8.22±0.07	8.15±0.06	8.18±0.14	8.42±0.07	8.33±0.06
45	8.24±0.02	8.16±0.07	8.08±0.12	8.57±0.06	8.40±0.06
48	8.30±0.05	8.26±0.14	8.16±0.24	8.50±0.14	8.30±0.19
51	8.26±0.03	8.22±0.08	8.21±0.02	8.39±0.12	8.37±0.17
54	8.27±0.04	8.16±0.13	8.19±0.10	8.31±0.09	8.40±0.05
57	8.29±0.05	8.12±0.06	8.18±0.16	8.40±0.14	8.32±0.06
60	8.36±0.08	8.01±0.08	8.14±0.09	8.49±0.16	8.44±0.03
65	8.34±0.03	8.04±0.05	8.17±0.06	8.44±0.06	8.31±0.08
70	8.26±0.05	8.10±0.11	8.09±0.10	8.29±0.09	8.37±0.08
75	8.33±0.04	8.08±0.04	8.15±0.07	8.26±0.10	8.32±0.10
80	8.31±0.03	7.94±0.08	8.10±0.07	8.29±0.17	8.21±0.04
85	8.27±0.03	7.91±0.05	8.14±0.08	8.26±0.09	8.13±0.12
90	8.33±0.07	7.90±0.07	8.19±0.09	8.25±0.06	8.18±0.05

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 4 ผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
	ชุดควบคุม	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	2.79±0.06	2.37±0.03	2.25±0.03	1.96±0.05	1.91±0.16
3	2.66±0.08	1.86±0.17	1.88±0.16	1.78±0.18	1.76±0.09
6	2.64±0.04	1.73±0.16	1.72±0.06	1.67±0.17	1.60±0.15
9	2.54±0.05	1.60±0.26	1.60±0.24	1.70±0.14	1.55±0.12
12	2.48±0.03	1.48±0.07	1.62±0.17	1.59±0.05	1.51±0.17
15	2.46±0.08	1.48±0.19	1.52±0.13	1.65±0.11	1.59±0.20
18	2.47±0.07	1.45±0.10	1.52±0.24	1.60±0.10	1.50±0.17
21	2.44±0.09	1.48±0.16	1.45±0.17	1.52±0.15	1.59±0.18
24	2.35±0.08	1.42±0.17	1.35±0.13	1.60±0.10	1.44±0.11
27	2.25±0.05	1.48±0.18	1.29±0.11	1.45±0.10	1.45±0.11
30	2.24±0.03	1.42±0.10	1.36±0.05	1.41±0.04	1.40±0.03
33	2.27±0.03	1.32±0.06	1.26±0.10	1.38±0.14	1.34±0.10
36	2.25±0.04	1.31±0.11	1.24±0.12	1.41±0.05	1.40±0.14
39	2.22±0.07	1.27±0.03	1.21±0.16	1.40±0.10	1.40±0.04
42	2.23±0.05	1.25±0.05	1.20±0.11	1.49±0.23	1.37±0.18
45	2.21±0.05	1.27±0.06	1.19±0.17	1.35±0.06	1.39±0.17
48	2.24±0.03	1.16±0.10	1.23±0.03	1.33±0.11	1.38±0.04
51	2.08±0.08	1.22±0.11	1.22±0.21	1.32±0.03	1.42±0.13
54	2.15±0.05	1.23±0.09	1.21±0.08	1.32±0.12	1.38±0.12
57	2.00±0.06	1.31±0.08	1.32±0.09	1.35±0.02	1.35±0.06
60	2.14±0.05	1.44±0.23	1.32±0.09	1.39±0.15	1.33±0.08
65	2.19±0.07	1.37±0.13	1.30±0.09	1.38±0.09	1.37±0.02
70	2.10±0.08	1.43±0.14	1.34±0.07	1.39±0.08	1.40±0.07
75	1.97±0.06	1.40±0.05	1.30±0.06	1.37±0.15	1.41±0.12
80	1.99±0.08	1.38±0.02	1.36±0.05	1.41±0.01	1.35±0.08
85	2.08±0.05	1.40±0.07	1.41±0.03	1.51±0.13	1.38±0.05
90	2.00±0.06	1.36±0.11	1.35±0.08	1.62±0.15	1.48±0.18

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 5 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	**ชุดควบคุม**	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	54.13±1.52	40.67±2.00	30.90±2.29	57.48±0.29	39.35±1.41
3	-	42.29±1.62	28.78±0.48	57.35±0.51	41.34±2.00
6	-	37.51±1.88	29.75±1.89	55.91±1.38	40.59±0.92
9	-	34.86±0.57	24.40±1.45	50.30±0.55	37.99±1.34
15	-	31.58±1.08	24.16±0.94	48.67±2.22	34.90±1.94
30	-	30.34±1.40	23.91±0.49	42.75±0.47	32.88±0.69
45	-	27.52±0.93	21.74±0.26	37.33±1.32	25.40±0.67
60	-	26.37±1.99	21.01±0.99	35.20±0.72	24.77±1.60
75	-	24.00±1.00	19.45±0.49	34.54±0.35	23.25±1.35
90	39.23±2.13	23.17±0.36	18.53±0.50	33.10±0.43	21.13±0.56

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 6 ผลการวิเคราะห์อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	**ชุดควบคุม**	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	93.32±2.62	70.12±3.45	53.27±3.94	99.11±0.50	67.85±2.43
3	-	72.92±2.79	49.63±0.83	98.88±0.88	71.28±3.44
6	-	64.66±3.23	51.29±3.27	96.40±2.38	69.99±1.58
9	-	60.10±0.99	42.08±2.49	86.73±0.95	65.50±2.31
15	-	54.45±1.87	41.65±1.63	83.91±3.82	60.17±3.34
30	-	52.31±2.42	41.22±0.84	73.70±0.81	56.69±1.19
45	-	47.45±1.60	37.48±0.44	64.36±2.27	43.79±1.16
60	-	45.46±3.44	36.22±1.71	60.69±1.25	42.71±2.75
75	-	41.37±1.73	33.53±0.84	59.56±0.60	40.09±2.32
90	67.64±3.67	39.95±0.61	31.95±0.86	57.06±0.74	36.43±0.96

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 7 ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	**ชุดควบคุม**	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	0.57±0.04	1.08±0.14	0.78±0.05	1.64±0.11	1.03±0.14
3	-	1.34±0.02	1.04±0.05	2.18±0.24	1.47±0.15
6	-	1.33±0.05	1.10±0.19	2.40±0.25	1.48±0.10
15	-	1.45±0.07	1.04±0.04	3.00±0.22	1.48±0.23
30	-	1.49±0.08	1.03±0.03	3.20±0.14	1.57±0.06
60	-	1.52±0.02	1.09±0.10	3.17±0.18	1.67±0.17
90	0.86±0.06a	1.60±0.13c	1.14±0.02b	3.30±0.24e	2.00±0.06d

หมายเหตุ: ในแนวนอน ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 8 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	**ชุดควบคุม**	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	95.20±6.48	38.09±3.55	39.76±0.75	35.09±2.34	38.55±3.81
3	-	31.56±1.18	27.63±1.49	26.48±2.93	28.35±2.75
6	-	28.13±0.83	27.38±2.98	23.43±2.36	27.55±1.37
15	-	21.79±0.37	23.23±0.20	16.24±0.96	23.92±2.71
30	-	20.38±0.74	23.22±0.62	13.39±0.70	20.96±0.54
60	-	17.32±1.48c	19.26±0.97d	11.11±0.53a	14.87±0.74b
90	45.56±3.70c	14.58±1.32b	16.31±0.61b	10.06±0.75a	10.57±0.11a

หมายเหตุ: ในแนวนอน ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ mesophilic bacteria (Log No.; CFU/g) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	7.76±0.08	7.63±0.07	7.68±0.13	7.54±0.11
3	8.05±0.07	8.01±0.03	8.20±0.09	8.13±0.12
6	8.70±0.07	8.88±0.07	8.67±0.13	8.53±0.11
15	8.67±0.06	8.54±0.07	8.83±0.12	8.68±0.13
30	7.94±0.08	7.59±0.09	7.60±0.21	8.05±0.06
45	7.53±0.14	7.60±0.05	7.65±0.16	7.81±0.15
60	7.49±0.16	7.59±0.09	7.56±0.14	7.65±0.05
75	7.13±0.08	7.06±0.10	7.37±0.13	7.07±0.11
90	7.50±0.12	7.80±0.06	7.61±0.09	7.91±0.06

หมายเหตุ: Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ thermophilic bacteria (Log No.; CFU/g) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	7.72±0.13	6.92±0.22	7.01±0.13	7.01±0.05
3	8.43±0.09	8.06±0.11	8.29±0.08	7.81±0.05
6	8.14±0.14	8.17±0.06	8.16±0.12	7.93±0.05
15	8.04±0.16	8.63±0.08	8.26±0.05	7.89±0.08
30	7.64±0.13	7.54±0.03	7.67±0.16	8.02±0.09
45	6.62±0.09	6.55±0.03	6.67±0.15	6.66±0.14
60	6.54±0.15	6.68±0.14	7.00±0.13	6.98±0.12
75	6.71±0.21	6.62±0.10	6.75±0.13	6.58±0.09
90	6.67±0.15	7.02±0.03	6.70±0.17	6.87±0.14

หมายเหตุ: Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ mesophilic fungi (Log No.; CFU/g) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	5.71±0.07	5.53±0.07	5.56±0.06	5.36±0.12
3	4.07±0.07	4.13±0.04	4.51±0.08	4.48±0.21
6	4.57±0.06	4.57±0.05	4.70±0.11	4.77±0.11
15	5.10±0.15	4.87±0.09	5.20±0.04	5.41±0.02
30	5.75±0.09	5.04±0.14	5.32±0.14	5.51±0.07
45	4.93±0.06	4.75±0.06	5.04±0.10	5.24±0.04
60	4.99±0.08	4.76±0.07	5.50±0.02	6.02±0.02
75	4.91±0.08	4.87±0.11	5.03±0.07	5.02±0.05
90	4.96±0.12	4.74±0.09	5.06±0.06	5.15±0.07

หมายเหตุ: Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ thermophilic fungi (Log No.; CFU/g) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	4.85±0.14	4.98±0.06	4.85±0.12	4.95±0.16
3	4.12±0.10	3.58±0.09	3.97±0.06	4.82±0.09
6	5.80±0.12	5.65±0.12	5.73±0.16	5.58±0.10
15	6.02±0.03	5.84±0.16	5.59±0.10	5.85±0.04
30	6.03±0.24	6.55±0.12	5.55±0.12	5.78±0.16
45	5.65±0.09	5.56±0.05	5.84±0.14	5.62±0.11
60	5.57±0.20	5.63±0.13	5.73±0.12	5.51±0.09
75	4.93±0.18	4.58±0.08	4.90±0.11	4.82±0.05
90	5.08±0.11	5.04±0.06	4.78±0.12	4.43±0.08

หมายเหตุ: Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ thermophilic actinomycetes (Log No.; CFU/g) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	4.24±0.23	4.84±0.13	4.53±0.14	4.92±0.04
3	4.73±0.16	4.63±0.12	4.99±0.08	4.74±0.14
6	4.79±0.08	4.60±0.09	4.94±0.11	4.79±0.15
15	5.51±0.11	5.48±0.13	5.51±0.18	5.50±0.15
30	5.28±0.10	5.52±0.03	5.33±0.09	5.42±0.13
45	5.57±0.05	5.67±0.13	5.88±0.08	5.84±0.11
60	5.57±0.14	5.68±0.17	5.66±0.21	5.45±0.07
75	5.80±0.14	5.66±0.13	5.57±0.12	5.72±0.15
90	5.91±0.09	5.88±0.06	5.95±0.15	5.75±0.16

หมายเหตุ: Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ค 14 ผลการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลส (ยูนิต/กรัม) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบกลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	Ae 1	Ae 2	Ae 3	Ae 4
0	0.10±0.03	0.09±0.03	0.11±0.03	0.10±0.03
3	0.33±0.03	0.35±0.04	0.24±0.07	0.27±0.02
6	0.39±0.03	0.31±0.03	0.33±0.03	0.26±0.04
15	0.34±0.03	0.38±0.03	0.42±0.04	0.38±0.02
30	0.28±0.05	0.24±0.03	0.30±0.07	0.35±0.02
45	0.20±0.03	0.25±0.04	0.27±0.05	0.25±0.04
60	0.19±0.02	0.14±0.04	0.17±0.03	0.12±0.03
75	0.15±0.01	0.11±0.08	0.14±0.05	0.13±0.03
90	0.10±0.02	0.10±0.02	0.07±0.04	0.09±0.01

หมายเหตุ: Ae 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

Ae 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

Ae 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

Ae 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ภาคผนวก ง.
ผลการวิเคราะห์สมบัติของกองปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

ภาคผนวก ง.

ผลการวิเคราะห์สมบัติของกองปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก

ตารางภาคผนวก ง 1 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิที่ระดับกึ่งกลางของกองปุ๋ยหมัก (องศาเซลเซียส) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก ตั้งแต่เริ่มต้นการหมัก (0 วัน) จนสิ้นสุดการหมัก (90 วัน) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
		ชุดควบคุม	An 1	An 2	An 3	An 4
0	28.5	27.2±0.3	27.0±0.0	27.2±0.3	27.2±0.3	27.0±0.0
1	29.0	29.3±0.6	30.8±0.3	32.0±0.0	30.3±0.6	33.0±1.0
2	29.0	29.8±0.3	31.5±0.5	31.8±0.3	31.0±0.0	31.5±0.5
3	27.0	28.3±0.3	29.7±0.6	29.8±0.3	29.7±0.3	29.8±0.8
4	28.0	28.7±0.6	29.3±0.6	29.8±0.3	29.5±0.5	29.8±0.3
5	28.0	28.7±0.6	29.3±0.6	29.0±0.5	29.3±0.6	29.3±0.6
6	29.0	29.3±0.3	30.3±0.3	30.5±0.5	29.8±0.3	29.8±0.3
7	29.0	29.7±0.3	30.2±0.3	29.8±0.3	30.2±0.3	30.2±0.3
8	29.0	29.2±0.3	30.2±0.3	30.0±0.5	30.2±0.3	30.2±0.3
9	28.0	28.8±0.3	29.7±0.8	29.7±0.3	29.7±0.6	29.8±0.3
10	28.5	29.2±0.3	29.5±0.5	29.7±0.3	29.7±0.6	29.8±0.3
11	29.0	29.5±0.5	30.0±0.0	29.8±0.3	29.8±0.3	30.3±0.3
12	28.5	29.0±0.0	29.3±0.6	29.5±0.5	29.3±0.6	29.3±0.6
13	29.0	29.0±0.0	29.3±0.6	29.3±0.6	29.7±0.6	29.7±0.3
14	29.0	29.3±0.3	29.7±0.3	29.5±0.5	29.7±0.6	29.7±0.6
15	28.5	29.2±0.3	29.5±0.5	29.5±0.5	29.5±0.5	29.7±0.3
16	28.0	29.2±0.3	29.5±0.5	29.5±0.5	29.7±0.3	29.7±0.3
17	28.5	29.3±0.3	29.7±0.3	29.7±0.3	29.7±0.3	29.8±0.3
18	29.0	29.8±0.3	29.8±0.3	30.2±0.3	29.8±0.3	29.8±0.3
19	28.5	29.0±0.0	29.7±0.6	29.8±0.3	29.7±0.3	29.8±0.3
20	28.5	29.3±0.3	29.7±0.3	29.8±0.3	29.8±0.3	29.7±0.3
21	29.0	29.7±0.3	29.8±0.3	29.8±0.3	30.0±0.5	30.0±0.5

ตารางภาคผนวก ง 1 (ต่อ)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
		ชุดควบคุม	An 1	An 2	An 3	An 4
22	29.0	29.3±0.3	29.3±0.3	29.5±0.0	29.7±0.3	29.7±0.3
23	29.0	29.5±0.0	29.7±0.3	29.7±0.3	29.5±0.5	29.7±0.3
24	28.5	29.3±0.3	29.3±0.3	29.2±0.3	29.5±0.5	29.5±0.5
25	29.0	29.5±0.0	29.3±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3
26	27.0	28.3±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3	29.2±0.3	29.3±0.3
27	27.0	28.2±0.3	29.3±0.3	29.2±0.3	29.0±0.0	29.3±0.3
28	27.5	28.8±0.3	29.3±0.3	29.5±0.0	29.2±0.3	29.2±0.3
29	28.0	29.2±0.3	29.2±0.3	29.2±0.3	29.2±0.3	29.2±0.3
30	28.5	29.2±0.3	29.3±0.3	29.2±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3
31	29.0	29.8±0.3	29.8±0.3	30.2±0.3	30.3±0.3	30.2±0.3
32	28.5	29.5±0.0	29.3±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3
33	27.0	28.3±0.3	28.7±0.3	28.5±0.0	28.5±0.5	28.5±0.5
34	28.5	29.3±0.3	29.7±0.3	29.5±0.0	29.5±0.0	29.5±0.5
35	27.5	28.3±0.3	28.5±0.5	28.8±0.3	28.7±0.3	28.5±0.0
36	29.0	30.0±0.0	30.2±0.3	30.0±0.0	30.2±0.3	30.2±0.3
37	29.0	29.8±0.3	30.2±0.3	30.2±0.3	30.2±0.3	30.2±0.3
38	29.0	29.5±0.5	30.0±0.0	30.2±0.3	30.0±0.0	30.2±0.3
39	29.0	29.3±0.6	30.2±0.3	30.2±0.3	30.2±0.3	30.5±0.0
40	29.0	29.7±0.6	30.2±0.3	30.3±0.3	30.3±0.3	30.2±0.3
41	29.0	29.7±0.6	30.0±0.0	30.3±0.3	30.0±0.0	30.0±0.0
42	29.0	29.8±0.3	30.2±0.3	30.2±0.6	30.0±0.5	30.2±0.3
43	27.0	28.3±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3	29.2±0.3	29.3±0.3
44	27.0	28.3±0.3	29.2±0.3	29.3±0.3	28.8±0.3	28.8±0.3
45	27.0	28.3±0.3	28.7±0.3	28.7±0.3	28.5±0.0	28.7±0.6
46	27.5	28.5±0.5	28.8±0.3	29.0±0.0	28.7±0.3	28.7±0.3
47	28.0	29.2±0.3	29.2±0.3	29.2±0.3	29.0±0.0	29.2±0.3
48	26.5	27.5±0.5	27.8±0.3	27.8±0.3	28.0±0.0	27.8±0.3
49	27.5	28.3±0.3	28.7±0.3	28.5±0.0	28.8±0.3	28.7±0.3
50	27.5	28.5±0.0	28.7±0.3	28.5±0.5	28.7±0.3	28.8±0.3
51	27.5	28.5±0.0	28.7±0.3	28.5±0.0	28.7±0.3	28.5±0.0

ตารางภาคผนวก ง 1 (ต่อ)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
		ชุดควบคุม	An 1	An 2	An 3	An 4
52	28.0	29.0±0.0	29.2±0.3	29.2±0.3	29.2±0.3	29.2±0.3
53	29.0	29.7±0.6	30.2±0.3	30.3±0.3	30.3±0.3	30.2±0.3
54	29.0	29.7±0.6	30.2±0.3	30.0±0.0	30.5±0.5	30.3±0.3
55	29.0	29.7±0.6	30.3±0.3	30.0±0.0	30.5±0.5	30.5±0.0
56	29.0	30.0±0.0	30.2±0.3	30.3±0.3	30.3±0.6	30.5±0.0
57	29.0	29.7±0.6	30.3±0.6	30.3±0.3	30.5±0.0	30.5±0.5
58	28.5	29.3±0.3	29.5±0.5	29.5±0.5	29.5±0.0	29.3±0.3
59	28.0	29.3±0.3	29.7±0.3	29.5±0.5	29.3±0.3	29.5±0.5
60	27.5	28.5±0.5	29.7±0.6	28.8±0.3	28.5±0.0	28.8±0.3
61	28.0	29.3±0.3	30.0±0.5	29.8±0.3	29.5±0.0	29.7±0.6
62	27.5	29.0±0.0	29.2±0.3	29.3±0.3	29.2±0.3	29.0±0.5
63	28.5	29.7±0.3	30.0±0.0	29.8±0.3	29.8±0.3	29.7±0.3
64	27.0	28.5±0.5	29.0±0.0	29.2±0.3	29.2±0.3	29.2±0.3
65	27.0	28.5±0.9	29.2±0.3	29.2±0.3	29.2±0.3	29.2±0.3
66	28.0	29.2±0.3	29.5±0.5	29.2±0.3	29.5±0.0	29.2±0.3
67	28.0	29.2±0.3	29.3±0.6	29.7±0.3	29.7±0.3	29.7±0.6
68	28.0	29.2±0.3	29.5±0.5	29.4±0.6	29.3±0.3	29.7±0.6
69	28.0	29.2±0.3	29.5±0.5	29.5±0.0	29.3±0.3	29.7±0.3
70	27.0	28.5±0.5	28.8±0.3	29.0±0.0	29.0±0.5	29.0±0.5
71	27.0	28.7±0.3	28.8±0.3	28.7±0.3	28.8±0.3	28.7±0.3
72	27.5	28.7±0.3	28.8±0.3	28.7±0.3	28.8±0.3	28.8±0.8
73	27.5	28.3±0.3	28.7±0.3	28.5±0.0	28.5±0.5	28.7±0.3
74	28.0	29.2±0.3	29.3±0.3	29.2±0.3	29.2±0.3	29.3±0.3
75	28.0	29.2±0.3	29.2±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3
76	27.5	28.5±0.5	28.8±0.3	29.2±0.3	29.0±0.5	28.8±0.3
77	28.0	29.2±0.3	29.2±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3	29.3±0.3
78	27.5	28.3±0.3	28.5±0.5	28.5±0.5	28.8±0.8	28.8±0.3
79	26.0	27.3±0.6	27.7±0.6	27.8±0.3	27.3±0.6	27.5±0.5
80	27.0	28.0±0.9	28.7±0.3	28.7±0.3	28.3±0.6	28.5±0.5
81	27.5	28.3±0.3	28.7±0.3	28.7±0.3	28.5±0.0	29.0±0.5

ตารางภาคผนวก ง 1 (ต่อ)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
		ชุดควบคุม	An 1	An 2	An 3	An 4
82	26.5	28.2±0.3	28.3±0.6	28.5±0.5	28.3±0.6	28.2±0.3
83	27.0	28.3±0.3	28.7±0.3	28.5±0.5	28.3±0.3	28.5±0.0
84	27.5	28.0±0.0	28.3±0.6	28.7±0.6	28.7±0.6	28.8±0.8
85	27.5	28.3±0.3	28.3±0.3	28.7±0.6	28.5±0.5	28.7±0.3
86	27.5	28.3±0.3	28.7±0.3	28.7±0.3	28.7±0.3	28.3±0.3
87	27.5	28.2±0.3	28.5±0.5	28.7±0.3	28.5±0.0	28.5±0.5
88	27.5	28.3±0.3	28.7±0.3	28.7±0.3	28.5±0.0	28.5±0.5
89	26.5	27.7±0.3	27.7±0.3	27.5±0.5	27.5±0.0	27.7±0.3
90	27.0	27.7±0.6	28.0±0.0	28.5±0.5	28.7±0.6	28.3±0.6

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 2 ผลการวิเคราะห์พีเอชในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	ชุดควบคุม	An 1	An 2	An 3	An 4
0	8.07±0.04	7.49±0.12	7.44±0.08	7.23±0.14	7.35±0.09
3	7.90±0.06	7.19±0.15	7.21±0.22	7.10±0.09	6.86±0.21
6	7.87±0.07	7.19±0.30	6.98±0.05	6.59±0.16	6.39±0.16
9	7.95±0.05	7.15±0.16	7.35±0.05	6.22±0.10	6.37±0.18
12	8.09±0.10	7.41±0.16	7.60±0.11	6.26±0.21	6.50±0.12
15	8.10±0.06	7.57±0.18	7.86±0.10	6.56±0.18	6.91±0.21
18	8.08±0.04	7.35±0.12	7.78±0.06	6.56±0.11	6.97±0.17
21	8.01±0.05	7.48±0.17	7.77±0.08	6.72±0.18	6.81±0.18
24	8.00±0.03	7.53±0.13	8.03±0.16	6.64±0.20	7.14±0.19
27	8.12±0.08	7.65±0.22	7.98±0.14	7.32±0.10	7.47±0.14
30	8.03±0.03	7.88±0.15	8.12±0.09	7.44±0.08	7.71±0.09
33	8.12±0.07	7.98±0.09	8.08±0.09	7.42±0.11	7.71±0.09
36	8.04±0.06	8.03±0.11	8.08±0.07	7.10±0.36	7.72±0.10
39	8.13±0.04	7.92±0.18	8.13±0.06	7.42±0.12	7.52±0.17
42	8.11±0.03	7.59±0.18	8.11±0.16	7.32±0.08	7.76±0.19
45	8.05±0.04	7.76±0.23	8.14±0.09	7.63±0.08	7.83±0.10
48	8.12±0.05	7.89±0.10	8.11±0.04	7.65±0.13	7.85±0.08
51	8.02±0.05	8.07±0.05	8.17±0.15	7.58±0.02	7.82±0.13
54	8.03±0.07	7.97±0.06	8.12±0.10	7.66±0.10	7.71±0.13
57	8.01±0.06	8.01±0.13	8.21±0.12	7.57±0.14	7.69±0.12
60	8.02±0.04	8.05±0.14	8.15±0.10	7.76±0.11	7.85±0.10
65	8.04±0.03	8.01±0.12	8.06±0.16	7.72±0.05	7.91±0.10
70	8.00±0.05	7.91±0.10	8.05±0.10	7.65±0.17	7.83±0.19
75	8.12±0.04	7.72±0.19	8.10±0.09	7.67±0.12	7.76±0.18
80	8.01±0.07	7.56±0.14	8.13±0.09	7.76±0.15	7.86±0.09
85	8.02±0.04	7.53±0.05	8.13±0.05	7.77±0.07	7.82±0.03
90	8.15±0.07	7.51±0.15	8.12±0.05	7.77±0.11	7.87±0.10

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 3 ผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	ชุดควบคุม	An 1	An 2	An 3	An 4
0	2.72±0.06	1.16±0.18	0.90±0.05	0.94±0.10	0.68±0.04
3	2.65±0.05	1.12±0.05	1.08±0.20	1.02±0.02	0.91±0.02
6	2.66±0.05	1.28±0.14	1.17±0.02	1.28±0.09	1.13±0.13
9	2.61±0.09	1.17±0.30	0.94±0.10	1.27±0.29	1.13±0.06
12	2.58±0.08	1.14±0.21	0.96±0.15	1.20±0.14	1.11±0.07
15	2.45±0.09	1.12±0.19	1.08±0.14	1.31±0.37	1.12±0.14
18	2.53±0.08	1.07±0.07	1.06±0.06	1.06±0.18	0.97±0.09
21	2.48±0.09	1.02±0.18	0.96±0.16	1.05±0.20	1.00±0.14
24	2.45±0.10	0.94±0.11	0.80±0.02	1.09±0.32	0.70±0.08
27	2.46±0.09	1.02±0.15	0.99±0.14	1.01±0.21	0.80±0.12
30	2.42±0.08	0.93±0.07	0.83±0.13	1.13±0.20	0.70±0.15
33	2.40±0.07	0.96±0.04	0.78±0.11	1.08±0.14	0.88±0.10
36	2.30±0.06	0.92±0.07	0.90±0.18	0.87±0.07	0.82±0.16
39	2.38±0.08	0.90±0.10	0.84±0.11	1.00±0.11	0.85±0.07
42	2.34±0.08	1.00±0.09	0.81±0.10	1.04±0.06	0.82±0.03
45	2.38±0.07	0.91±0.07	0.82±0.11	0.91±0.08	0.73±0.11
48	2.29±0.05	0.95±0.16	0.85±0.06	0.98±0.13	0.80±0.07
51	2.34±0.04	1.00±0.18	0.88±0.04	1.06±0.12	0.84±0.07
54	2.31±0.08	0.96±0.05	0.95±0.03	1.02±0.08	0.93±0.06
57	2.32±0.03	1.00±0.09	0.98±0.06	1.12±0.11	1.02±0.12
60	2.29±0.05	1.09±0.20	1.13±0.11	1.15±0.04	1.01±0.07
65	2.31±0.04	1.22±0.15	1.07±0.15	1.17±0.06	1.07±0.19
70	2.29±0.08	1.21±0.18	1.06±0.06	1.18±0.17	1.01±0.07
75	2.31±0.06	1.12±0.13	1.03±0.05	1.12±0.13	0.99±0.06
80	2.29±0.05	1.19±0.18	1.07±0.06	1.17±0.07	1.02±0.17
85	2.33±0.04	1.18±0.07	1.01±0.01	1.22±0.03	1.01±0.11
90	2.35±0.04	1.30±0.16	1.04±0.12	1.24±0.14	1.05±0.06

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 4 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	**ชุดควบคุม**	An 1	An 2	An 3	An 4
0	55.40±1.37	42.25±2.05	33.02±1.77	57.59±0.15	38.26±1.18
3	-	42.55±1.87	33.23±0.47	54.86±2.14	35.90±1.43
6	-	42.43±1.48	32.68±1.07	57.04±0.15	39.95±1.05
9	-	40.47±1.34	33.00±0.53	55.03±0.79	36.69±0.87
15	-	42.14±1.17	34.08±0.41	54.85±1.52	37.39±1.19
30	-	41.65±1.05	31.60±1.46	54.02±1.17	35.88±0.79
45	-	41.73±2.26	31.23±2.04	53.33±1.19	36.25±1.69
60	-	40.24±1.09	30.06±1.93	53.29±1.70	35.42±2.40
75	-	36.28±0.72	29.65±1.15	53.67±1.45	36.04±0.84
90	49.31±1.19	38.15±1.46	28.98±1.22	52.06±0.79	34.91±1.87

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 5 ผลการวิเคราะห์อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	**ชุดควบคุม**	An 1	An 2	An 3	An 4
0	95.52±2.36	72.85±3.53	56.92±3.05	99.30±0.27	65.97±2.04
3	-	73.36±3.23	57.30±0.81	94.59±3.69	61.89±2.47
6	-	73.16±2.55	56.34±1.84	98.34±0.25	68.87±1.80
9	-	69.77±2.31	56.89±0.91	94.89±1.37	63.26±1.50
15	-	72.65±2.02	58.75±0.70	94.56±2.62	64.46±2.05
30	-	71.81±1.81	54.48±2.51	93.13±2.01	61.86±1.37
45	-	71.95±3.89	53.84±3.52	91.95±2.05	62.49±2.92
60	-	69.38±1.88	51.83±3.32	91.88±2.93	61.07±4.14
75	-	62.56±1.25	51.12±1.98	92.54±2.50	62.14±1.45
90	85.01±2.05	65.78±2.51	49.97±2.11	89.76±1.36	60.20±3.22

หมายเหตุ: ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 6 ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
(วัน)	**ชุดควบคุม**	An 1	An 2	An 3	An 4
0	0.56±0.02	1.09±0.05	0.83±0.02	1.65±0.06	0.99±0.02
3	-	1.25±0.02	0.96±0.03	2.03±0.09	1.33±0.24
6	-	1.33±0.15	0.92±0.10	2.28±0.32	1.49±0.13
15	-	1.40±0.13	1.14±0.12	2.31±0.18	1.51±0.10
30	-	1.39±0.11	1.01±0.14	2.29±0.11	1.48±0.03
60	-	1.33±0.20	0.99±0.16	2.45±0.27	1.65±0.15
90	0.79±0.02a	1.50±0.11b	1.07±0.15a	2.59±0.22c	1.58±0.27b

หมายเหตุ: ในแนวนอน ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 7 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก				
	ชุดควบคุม	An 1	An 2	An 3	An 4
0	98.38±1.37	38.88±0.82	39.97±2.89	35.00±1.25	38.52±0.66
3	-	33.97±2.03	34.64±0.77	27.12±1.96	27.52±5.06
6	-	32.14±3.20	35.69±2.59	25.30±3.44	26.92±1.84
15	-	30.30±2.03	30.03±3.27	23.79±1.64	24.87±2.39
30	-	30.17±2.60	31.71±5.52	23.62±1.21	24.30±0.31
60	-	30.70±3.72	30.87±5.24	21.90±2.56	21.57±2.19
90	62.15±0.92d	25.56±1.64bc	27.53±3.97c	20.18±1.38a	22.36±2.87ab

หมายเหตุ: ในแนวนอน ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ชุดควบคุม = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ mesophilic bacteria (Log No.; CFU/g) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	An 1	An 2	An 3	An 4
0	7.75±0.10	8.13±0.06	8.44±0.06	8.35±0.09
3	8.38±0.06	8.45±0.09	8.31±0.07	8.03±0.05
6	7.56±0.05	8.02±0.05	8.10±0.06	7.93±0.12
15	8.63±0.11	8.57±0.10	9.02±0.11	8.72±0.17
30	7.76±0.13	7.52±0.06	7.93±0.23	8.07±0.07
45	7.64±0.14	7.56±0.08	7.73±0.20	7.89±0.09
60	7.62±0.06	7.64±0.07	7.76±0.03	7.81±0.08
75	7.56±0.08	7.57±0.05	7.75±0.18	7.81±0.06
90	7.62±0.12	7.51±0.02	7.98±0.06	7.66±0.03

หมายเหตุ: An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ thermophilic bacteria (Log No.; CFU/g) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	An 1	An 2	An 3	An 4
0	6.62±0.21	7.01±0.08	6.86±0.03	7.17±0.08
3	7.84±0.06	7.59±0.07	7.76±0.15	7.57±0.05
6	7.07±0.14	7.05±0.03	7.03±0.19	6.86±0.04
15	7.27±0.08	7.05±0.07	7.06±0.10	6.61±0.11
30	7.36±0.05	6.77±0.09	6.40±0.13	6.21±0.04
45	7.13±0.07	7.22±0.07	6.97±0.13	6.27±0.12
60	7.31±0.08	7.31±0.03	6.86±0.22	6.28±0.12
75	7.04±0.05	6.53±0.04	7.05±0.08	6.74±0.12
90	7.35±0.04	6.61±0.10	7.65±0.04	6.87±0.04

หมายเหตุ: An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ mesophilic fungi (Log No.; CFU/g) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	An 1	An 2	An 3	An 4
0	5.50±0.02	5.45±0.04	5.57±0.03	5.50±0.11
3	5.79±0.04	5.77±0.22	6.05±0.11	6.10±0.11
6	5.56±0.08	5.62±0.12	5.62±0.10	5.42±0.19
15	5.29±0.09	5.21±0.08	5.58±0.05	5.36±0.09
30	4.46±0.15	5.34±0.05	5.51±0.04	5.26±0.09
45	4.49±0.03	4.64±0.08	4.54±0.07	4.60±0.06
60	3.78±0.14	4.04±0.17	4.26±0.10	4.64±0.17
75	3.61±0.11	3.84±0.12	3.70±0.18	3.99±0.03
90	3.29±0.14	3.64±0.13	3.62±0.06	4.04±0.09

หมายเหตุ: An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ thermophilic fungi (Log No.; CFU/g) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	An 1	An 2	An 3	An 4
0	4.56±0.06	4.83±0.16	4.51±0.02	4.69±0.19
3	4.89±0.09	4.92±0.12	5.10±0.08	5.00±0.11
6	5.08±0.03	4.61±0.10	4.85±0.10	4.93±0.05
15	4.63±0.09	4.53±0.04	4.77±0.11	4.59±0.17
30	3.98±0.04	3.98±0.03	4.61±0.15	3.89±0.12
45	3.87±0.06	3.92±0.05	4.17±0.12	3.91±0.20
60	3.82±0.07	3.86±0.08	3.99±0.05	4.52±0.14
75	3.44±0.12	3.76±0.11	3.61±0.11	3.77±0.11
90	3.19±0.06	3.66±0.14	3.17±0.13	3.79±0.14

หมายเหตุ: An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ thermophilic actinomycetes (Log No.; CFU/g) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	An 1	An 2	An 3	An 4
0	5.59±0.08	5.57±0.08	5.94±0.06	5.57±0.19
3	5.60±0.12	5.46±0.15	6.39±0.03	5.85±0.14
6	5.41±0.10	5.57±0.12	5.55±0.12	5.53±0.08
15	5.37±0.10	4.57±0.17	5.56±0.15	5.10±0.14
30	4.26±0.24	4.92±0.08	5.70±0.13	5.23±0.03
45	3.61±0.11	3.83±0.11	4.42±0.10	4.36±0.04
60	3.74±0.15	3.49±0.30	4.23±0.16	4.50±0.14
75	3.42±0.05	3.23±0.05	3.54±0.09	3.66±0.17
90	3.39±0.09	3.40±0.04	3.78±0.08	4.19±0.04

หมายเหตุ: An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ตารางภาคผนวก ง 13 ผลการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลส (ยูนิต/กรัม) ในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ระยะเวลาการหมัก	ชุดการทดลองแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก			
(วัน)	An 1	An 2	An 3	An 4
0	0.07±0.04	0.07±0.02	0.12±0.02	0.09±0.02
3	0.14±0.03	0.19±0.02	0.14±0.03	0.18±0.04
6	0.19±0.02	0.19±0.02	0.17±0.03	0.18±0.02
15	0.16±0.03	0.16±0.02	0.19±0.02	0.22±0.03
30	0.18±0.02	0.17±0.03	0.18±0.04	0.19±0.04
45	0.14±0.03	0.17±0.04	0.14±0.02	0.16±0.05
60	0.14±0.02	0.13±0.01	0.13±0.02	0.15±0.03
75	0.09±0.01	0.11±0.04	0.10±0.01	0.09±0.03
90	0.10±0.02	0.09±0.03	0.11±0.02	0.11±0.03

หมายเหตุ: An 1 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่

An 2 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง

An 3 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์

An 4 = ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง

ภาคผนวก จ.
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ภาคผนวก จ.

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางภาคผนวก จ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (60 วัน) โดยใช้วิธี least-significant different (LSD)

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	1	2	-1.946667	.8114733	.043*	-3.817927	-.075406
		3	6.203333	.8114733	.000*	4.332073	8.074594
		4	2.440000	.8114733	.017*	.568739	4.311261
	2	1	1.946667	.8114733	.043*	.075406	3.817927
		3	8.150000	.8114733	.000*	6.278739	10.021261
		4	4.386667	.8114733	.001*	2.515406	6.257927
	3	1	-6.203333	.8114733	.000*	-8.074594	-4.332073
		2	-8.150000	.8114733	.000*	-10.021261	-6.278739
		4	-3.763333	.8114733	.002*	-5.634594	-1.892073
	4	1	-2.440000	.8114733	.017*	-4.311261	-.568739
		2	-4.386667	.8114733	.001*	-6.257927	-2.515406
		3	3.763333	.8114733	.002*	1.892073	5.634594

* The mean difference is significant at the .05 level.

1 = Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

2 = Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

3 = Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

4 = Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

ตารางภาคผนวก จ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (90 วัน) โดยใช้วิธี least-significant different (LSD)

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	1	2	1.1400	.05518	.000*	1.0171	1.2629
		3	1.0267	.05518	.000*	.9037	1.1496
		4	1.5100	.05518	.000*	1.3871	1.6329
		5	1.4600	.05518	.000*	1.3371	1.5829
	2	1	-1.1400	.05518	.000*	-1.2629	-1.0171
		3	-.1133	.05518	.067	-.2363	.0096
		4	.3700	.05518	.000*	.2471	.4929
		5	.3200	.05518	.000*	.1971	.4429
	3	1	-1.0267	.05518	.000*	-1.1496	-.9037
		2	.1133	.05518	.067	-.0096	.2363
		4	.4833	.05518	.000*	.3604	.6063
		5	.4333	.05518	.000*	.3104	.5563
	4	1	-1.5100	.05518	.000*	-1.6329	-1.3871
		2	-.3700	.05518	.000*	-.4929	-.2471
		3	-.4833	.05518	.000*	-.6063	-.3604
		5	-.0500	.05518	.386	-.1729	.0729
	5	1	-1.4600	.05518	.000*	-1.5829	-1.3371
		2	-.3200	.05518	.000*	-.4429	-.1971
		3	-.4333	.05518	.000*	-.5563	-.3104
		4	.0500	.05518	.386	-.0729	.1729

* The mean difference is significant at the .05 level.

1 = ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

2 = Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

3 = Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

4 = Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

5 = Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

ตารางภาคผนวก จ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (90 วัน) โดยใช้วิธี least-significant different (LSD)

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
ไนโตรเจนทั้งหมด	1	2	-.6100	.04624	.000*	-.7130	-.5070
		3	-.2733	.04624	.000*	-.3764	-.1703
		4	-1.3367	.04624	.000*	-1.4397	-1.2336
		5	-.8400	.04624	.000*	-.9430	-.7370
	2	1	.6100	.04624	.000*	.5070	.7130
		3	.3367	.04624	.000*	.2336	.4397
		4	-.7267	.04624	.000*	-.8297	-.6236
		5	-.2300	.04624	.001*	-.3330	-.1270
	3	1	.2733	.04624	.000*	.1703	.3764
		2	-.3367	.04624	.000*	-.4397	-.2336
		4	-1.0633	.04624	.000*	-1.1664	-.9603
		5	-.5667	.04624	.000*	-.6697	-.4636
	4	1	1.3367	.04624	.000*	1.2336	1.4397
		2	.7267	.04624	.000*	.6236	.8297
		3	1.0633	.04624	.000*	.9603	1.1664
		5	.4967	.04624	.000*	.3936	.5997
	5	1	.8400	.04624	.000*	.7370	.9430
		2	.2300	.04624	.001*	.1270	.3330
		3	.5667	.04624	.000*	.4636	.6697
		4	-.4967	.04624	.000*	-.5997	-.3936

* The mean difference is significant at the .05 level.

1 = ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

2 = Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

3 = Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

4 = Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

5 = Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

ตารางภาคผนวก จ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (90 วัน) โดยใช้วิธี least-significant different (LSD)

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
ฟอสฟอรัส	1	2	-1.495340	.1022143	.000*	-1.723088	-1.267593
		3	-1.112050	.1022143	.000*	-1.339798	-.884303
		4	-.518981	.1022143	.000*	-.746729	-.291233
		5	-.297856	.1022143	.015*	-.525604	-.070108
	2	1	1.495340	.1022143	.000*	1.267593	1.723088
		3	.383290	.1022143	.004*	.155542	.611038
		4	.976359	.1022143	.000*	.748611	1.204107
		5	1.197484(	.1022143	.000*	.969737	1.425232
	3	1	1.112050	.1022143	.000*	.884303	1.339798
		2	-.383290	.1022143	.004*	-.611038	-.155542
		4	.593069	.1022143	.000*	.365321	.820817
		5	.814194	.1022143	.000*	.586446	1.041942
	4	1	.518981	.1022143	.000*	.291233	.746729
		2	-.976359	.1022143	.000*	-1.204107	-.748611
		3	-.593069	.1022143	.000*	-.820817	-.365321
		5	.221125	.1022143	.056	-.006623	.448873
	5	1	.297856	.1022143	.015*	.070108	.525604
		2	-1.197484	.1022143	.000*	-1.425232	-.969737
		3	-.814194	.1022143	.000*	-1.041942	-.586446
		4	-.221125	.1022143	.056	-.448873	.006623

* The mean difference is significant at the .05 level.

1 = ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

2 = Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

3 = Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

4 = Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

5 = Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

ตารางภาคผนวก จ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโพแทสเซียมในการผลิตปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมัก (90 วัน) โดยใช้วิธี least-significant different (LSD)

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
โพแทสเซียม	1	2	-.0733	.09868	.474	-.2932	.1465
		3	-.0367	.09868	.718	-.2565	.1832
		4	-.9833	.09868	.000*	-1.2032	-.7635
		5	.2667	.09868	.022*	.0468	.4865
	2	1	.0733	.09868	.474	-.1465	.2932
		3	.0367	.09868	.718	-.1832	.2565
		4	-.9100	.09868	.000*	-1.1299	-.6901
		5	.3400	.09868	.006*	.1201	.5599
	3	1	.0367	.09868	.718	-.1832	.2565
		2	-.0367	.09868	.718	-.2565	.1832
		4	-.9467	.09868	.000*	-1.1665	-.7268
		5	.3033	.09868	.012*	.0835	.5232
	4	1	.9833	.09868	.000*	.7635	1.2032
		2	.9100	.09868	.000*	.6901	1.1299
		3	.9467	.09868	.000*	.7268	1.1665
		5	1.2500	.09868	.000*	1.0301	1.4699
	5	1	-.2667	.09868	.022*	-.4865	-.0468
		2	-.3400	.09868	.006*	-.5599	-.1201
		3	-.3033	.09868	.012*	-.5232	-.0835
		4	-1.2500	.09868	.000*	-1.4699	-1.0301

* The mean difference is significant at the .05 level.

1 = ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

2 = Ae 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

3 = Ae 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

4 = Ae 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

5 = Ae 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

ตารางภาคผนวก จ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (90 วัน) โดยใช้วิธี least-significant different (LSD)

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	1	2	36.593333	1.9815830	.000*	32.178091	41.008575
		3	34.630000	1.9815830	.000*	30.214758	39.045242
		4	41.976667	1.9815830	.000*	37.561425	46.391909
		5	39.790000	1.9815830	.000*	35.374758	44.205242
	2	1	-36.593333	1.9815830	.000*	-41.008575	-32.178091
		3	-1.963333	1.9815830	.345	-6.378575	2.451909
		4	5.383333	1.9815830	.022*	.968091	9.798575
		5	3.196667	1.9815830	.138	-1.218575	7.611909
	3	1	-34.630000	1.9815830	.000*	-39.045242	-30.214758
		2	1.963333	1.9815830	.345	-2.451909	6.378575
		4	7.346667	1.9815830	.004*	2.931425	11.761909
		5	5.160000	1.9815830	.026*	.744758	9.575242
	4	1	-41.976667	1.9815830	.000*	-46.391909	-37.561425
		2	-5.383333	1.9815830	.022*	-9.798575	-.968091
		3	-7.346667	1.9815830	.004*	-11.761909	-2.931425
		5	-2.186667	1.9815830	.296	-6.601909	2.228575
	5	1	-39.790000	1.9815830	.000*	-44.205242	-35.374758
		2	-3.196667	1.9815830	.138	-7.611909	1.218575
		3	-5.160000	1.9815830	.026*	-9.575242	-.744758
		4	2.186667	1.9815830	.296	-2.228575	6.601909

* The mean difference is significant at the .05 level.

1 = ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

2 = An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

3 = An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

4 = An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

5 = An 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

ตารางภาคผนวก จ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (90 วัน) โดยใช้วิธี least-significant different (LSD)

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
ไนโตรเจนทั้งหมด	1	2	-.7033	.14447	.001*	-1.0252	-.3814
		3	-.2733	.14447	.088	-.5952	.0486
		4	-1.7967	.14447	.000*	-2.1186	-1.4748
		5	-.7900	.14447	.000*	-1.1119	-.4681
	2	1	.7033	.14447	.001*	.3814	1.0252
		3	.4300	.14447	.014*	.1081	.7519
		4	-1.0933	.14447	.000*	-1.4152	-.7714
		5	-.0867	.14447	.562	-.4086	.2352
	3	1	.2733	.14447	.088	-.0486	.5952
		2	-.4300	.14447	.014*	-.7519	-.1081
		4	-1.5233	.14447	.000*	-1.8452	-1.2014
		5	-.5167	.14447	.005*	-.8386	-.1948
	4	1	1.7967	.14447	.000*	1.4748	2.1186
		2	1.0933	.14447	.000*	.7714	1.4152
		3	1.5233	.14447	.000*	1.2014	1.8452
		5	1.0067	.14447	.000*	.6848	1.3286
	5	1	.7900	.14447	.000*	.4681	1.1119
		2	.0867	.14447	.562	-.2352	.4086
		3	.5167	.14447	.005*	.1948	.8386
		4	-1.0067	.14447	.000*	-1.3286	-.6848

* The mean difference is significant at the .05 level.

1 = ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

2 = An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

3 = An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

4 = An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

5 = An 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

ตารางภาคผนวก จ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (90 วัน) โดยใช้วิธี least-significant different (LSD)

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
ฟอสฟอรัส	1	2	-.3000	.02875	.000*	-.3641	-.2359
		3	-.2167	.02875	.000*	-.2807	-.1526
		4	-.0733	.02875	.029*	-.1374	-.0093
		5	-.1167	.02875	.002*	-.1807	-.0526
	2	1	.3000	.02875	.000*	.2359	.3641
		3	.0833	.02875	.016*	.0193	.1474
		4	.2267	.02875	.000*	.1626	.2907
		5	.1833	.02875	.000*	.1193	.2474
	3	1	.2167	.02875	.000*	.1526	.2807
		2	-.0833	.02875	.016*	-.1474	-.0193
		4	.1433	.02875	.001*	.0793	.2074
		5	.1000	.02875	.006*	.0359	.1641
	4	1	.0733	.02875	.029*	.0093	.1374
		2	-.2267	.02875	.000*	-.2907	-.1626
		3	-.1433	.02875	.001*	-.2074	-.0793
		5	-.0433	.02875	.163	-.1074	.0207
	5	1	.1167	.02875	.002*	.0526	.1807
		2	-.1833	.02875	.000*	-.2474	-.1193
		3	-.1000	.02875	.006*	-.1641	-.0359
		4	.0433	.02875	.163	-.0207	.1074

* The mean difference is significant at the .05 level.

1 = ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

2 = An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

3 = An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

4 = An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

5 = An 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

ตารางภาคผนวก จ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโพแทสเซียมในการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยหมัก (90 วัน) โดยใช้วิธี least-significant different (LSD)

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
โพแทสเซียม	1	2	-.2367	.08113	.015*	-.4174	-.0559
		3	-.1200	.08113	.170	-.3008	.0608
		4	-.3467	.08113	.002*	-.5274	-.1659
		5	-.1167	.08113	.181	-.2974	.0641
	2	1	.2367	.08113	.015*	.0559	.4174
		3	.1167	.08113	.181	-.0641	.2974
		4	-.1100	.08113	.205	-.2908	.0708
		5	.1200	.08113	.170	-.0608	.3008
	3	1	.1200	.08113	.170	-.0608	.3008
		2	-.1167	.08113	.181	-.2974	.0641
		4	-.2267	.08113	.019*	-.4074	-.0459
		5	.0033	.08113	.968	-.1774	.1841
	4	1	.3467	.08113	.002*	.1659	.5274
		2	.1100	.08113	.205	-.0708	.2908
		3	.2267	.08113	.019*	.0459	.4074
		5	.2300	.08113	.018*	.0492	.4108
	5	1	.1167	.08113	.181	-.0641	.2974
		2	-.1200	.08113	.170	-.3008	.0608
		3	-.0033	.08113	.968	-.1841	.1774
		4	-.2300	.08113	.018*	-.4108	-.0492

* The mean difference is significant at the .05 level.

1 = ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน)

2 = An 1 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่)

3 = An 2 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + มูลไก่ + ดินแดง)

4 = An 3 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์)

5 = An 4 (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน + กากตะกอนดีแคนเตอร์ + ดินแดง)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาววธิดา คะนะแนม

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910920054

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วาริชศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2548

การตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงาน

วธิดา คะนะแนม, ธันวดี เตชะภัททวรกุล และชัยศรี สุขสาโรจน์. 2551. สภาวะทางชีวเคมีของกองปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยใช้มูลไก่และกากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน. *ใน* การประชุมวิชาการ ม.อ.ภูเก็ต ครั้งที่ 1: สหวิทยาการเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต.118 หน้า.