การจัดการของเสียในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์

Waste Management in the Oil Palm Industry: A Case Study of Co - Composting of Oil Palm Empty Fruit Bunches and Sludge from the Decanter

ณัฏฐาทัศน์ เจ้ยเปี้ยว

Nutthatus Cherypiew

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
2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การจัดการของเสียในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์
ผู้เขียน นายณัฏฐาทัศน์ เจ้ยเปี้ยว
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	**คณะกรรมการสอบ**
.....	.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธันวดี สุขสาโรจน์)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวิทย์ สุวรรณโณ)
	.....กรรมการ
	(รองศาสตราจารย์ ดร. พนาลี ชีวกิดาการ)
	.....กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชีระวิทย์ รัตนพันธ์)
	.....กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธันวดี สุขสาโรจน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธันวดี สุขสาโรจน์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....
(นายณัฏฐาทัศน์ เจ้ยเปี้ยว)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....
(นายณัฏฐาทัศน์ เจ้ยเปี้ยว)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การจัดการของเสียในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์

ผู้เขียน นายณัฏฐาทัศน์ เจ้ยเปี้ยว

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการของเสียในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ได้แก่ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและกากตะกอนดีแคนเตอร์ ด้วยการหมักปุ๋ย ปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียกได้มีการเพิ่มกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เพื่อนำน้ำมันที่ตกค้างในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันกลับเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ทำให้เกิดทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบเพิ่มขึ้นอีกส่วนหนึ่ง การหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันส่งผลให้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีขนาดเล็กลงและยุ่ยขึ้น จึงมีความเหมาะสมที่จะนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบไปใช้เป็นวัสดุในการหมักปุ๋ยร่วมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ในการทดลองจึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ โดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก กำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 35:1 40:1 และ 45:1 ใช้จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.1 เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ให้แก่กองปุ๋ยหมัก ควบคุมปริมาณความชื้นระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เติมอากาศผ่านท่อทุก 3 วัน และพลิกกลับกองปุ๋ยทุก 7 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่า ทุกชุดการทดลอง รวมทั้งชุดควบคุม มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่ำกว่า 20:1 โดยชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์ มีค่าตั้งแต่ 11.0:1 ถึง 13.5:1 ส่วนชุดควบคุม ได้แก่ ทะลายเปล่าน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ มีค่าเท่ากับ 17.0:1 และ 19.0:1 และพบว่าลักษณะของวัสดุหมักยุ่ย สามารถแยกออกจากกันได้ง่าย มีสีน้ำตาลปนดำ ไม่มีกลิ่น จึงบ่งชี้ได้ว่าการย่อยสลายวัสดุหมักสมบูรณ์ เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลักพบว่า ผ่านตามมาตรฐานที่กำหนด จึงจัดเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน แต่เมื่อพิจารณาชุดควบคุม ได้แก่ การหมักทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านและไม่ผ่านการหีบเพียงอย่างเดียว แม้ว่ามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนผ่านตามมาตรฐานที่

กำหนด แต่เมื่อพิจารณาสมบัติอื่น เช่น ลักษณะของวัสดุหมัก พบว่ายังมีความแข็งกระด้าง ฉีกแยกออกจากกันได้ยาก อีกทั้งปริมาณธาตุอาหารหลัก ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด จึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน สำหรับประสิทธิภาพการหมักปุ๋ย พบว่า การผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ โดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ย มีระยะเวลาที่ไม่แตกต่างกัน คือสามารถผลิตเป็นปุ๋ยหมักได้ในระยะเวลา 60 วัน ส่วนผลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นหรือปริมาณการเติมกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยหมัก เมื่อนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปทดสอบเพาะปลูกพืช พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้สามารถใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี จากการประเมินเบื้องต้นพบว่า ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและกากตะกอนดีแคนเตอร์มีความเป็นไปได้ในการใช้สำหรับสวนปาล์มน้ำมันร่วมกับการเสริมปุ๋ยโพแทสเซียม

Thesis Title Waste Management in the Oil Palm Industry: A Case Study of Co-Composting of Oil Palm Empty Fruit Bunches and Sludge from the Decanter

Author Mr. Nutthatus Cherypiew

Major Program Environmental Management

Academic Year 2015

ABTRACT

The objective of this research was to investigate the palm oil mill wastes including empty fruit bunches (EFB) and decanter cake by composting. Recently, some mills installed the EFB presser into their production process in order to recovery the palm oil in EFB back into the crude palm oil process. This pressing process generated pressed EFB that is softer and smaller size than conventional EFB. Its characteristics after pressing may be appropriate for co-composting with decanter cake. The experiment was set up to compare the composting efficiency between pressed and non-press EFB whereas the decanter cake was used as the supplementary nitrogen source for the compost piles. The initial carbon and nitrogen ratios were varied as 35:1, 40:1, and 45:1. All compost piles were vaporized with super PD1 leavening agent and controlled their humidity in the range of 50-70 % by weight. They were also aerated via aeration pipe line every three days and turned weekly. At the end of composting time, they were found that all piles including control piles had C: N ratio lower than 20:1. The composting piles contained pressed EFB or non- press EFB and decanter cake has C: N ratio in the range of 11:1 and 13.5:1 while the C: N ratios of control experiments were 17:1 and 19:1. The compost product obtained was softly, black-brown and scentless that indicated complete composting. When considering the macro- nutrients of compost product, it acquired the Thai standard of composting and is appropriate for using. For the control piles (pressed and non-pressed EFB composting), even though

they had C: N ratio lower than 20: 1 but their characteristics were still rough and macro nutrients did not reach the compost standard therefore they were not appropriate for utilization. For the result of composting efficiency, there was no different composting time between pressed and non-press EFB co-composting. They can be composted completely within 60 days. The C: N ratio investigated did not affect the composting time. The compost products were tested for planting, they can be used to compensate for chemical fertilizer. The preliminary assessment also showed that the compost obtained can be used in oil palm garden accompany with potassium supplementation.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร ธันวดี เตชะภัทรวรกุล สุขสาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำในการค้นคว้าและทำการวิจัย และตรวจทานแก้ไขในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และให้กำลังใจตลอดในช่วงจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวิทย์ สุวรรณโณ รองศาสตราจารย์ ดร. พนาลี ชีวกิดาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชีระวิทย์ รัตนพันธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธันวดี สุขสาโรจน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำ และการชี้แนะแนวทางในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ และข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ นางนันทนา พนาพิทักษ์กุล กรรมการผู้จัดการ บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด ที่ช่วยสนับสนุนเงินทุนในการศึกษาเล่าเรียน ให้เงินอุดหนุนในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งเอื้อเฟื้อสถานที่ และวัสดุอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณพนักงานฝ่ายสิ่งแวดล้อม บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด ที่ได้ช่วยเหลือในการทำการทดลอง และการศึกษาในครั้งนี้จนสามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณโครงการทุนสนับสนุนพัฒนานักวิจัย และงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท ที่ให้เงินอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัว พ่อ แม่ ภรรยา พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคน ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือ คอยให้กำลังใจตลอดมา ขอให้คุณความดี และคุณประโยชน์ที่ข้าพเจ้าได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณัฏฐาทัศน์ เจ้ยเปี้ยว

สารบัญ

บทคัดย่อ (5)

Abstract (7)

กิตติกรรมประกาศ (9)

สารบัญ (10)

รายการตาราง (12)

รายการภาพ (13)

บทที่ 1 บทนำ

- ความสำคัญ 1
- ปาล์มน้ำมัน 3
- กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 7
- การนำของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์ 14
- ปุ๋ยหมัก 21
- ความสำคัญ และประโยชน์ของปุ๋ยหมัก 30
- สารเร่งในกระบวนการหมักปุ๋ย 32
- ชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักปุ๋ย 35
- หลักการพิจารณากองปุ๋ยที่สมบูรณ์ 37
- มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 38
- คำถามวิจัย 40
- วัตถุประสงค์ในการวิจัย 40
- ผลที่คาดว่าจะได้รับ 40

บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินการวิจัย

- วัสดุ อุปกรณ์ 41
- สถานที่ศึกษาวิจัย 44
- วิธีการดำเนินการวิจัย 45
- การทดสอบการปลูกพืช 67

สารบัญ (ต่อ)

- การวิเคราะห์มูลค่าปุ๋ยหมักที่ได้ทางเศรษฐศาสตร์ 75

บทที่ 3 ผลการทดลอง และวิจารณ์

- การวิเคราะห์องค์ประกอบในวัสดุหมัก 76
- การวิเคราะห์สภาวะกองปุ๋ยระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย จากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ 78
- ผลของการติดตามคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้ เปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 103
- ผลของการปลูกแตงกวาเพื่อทดสอบคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้ 113
- การวิเคราะห์มูลค่าปุ๋ยหมักที่ได้ทางเศรษฐศาสตร์ 126

บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง

- สรุปผลการทดลอง 133
- ข้อเสนอแนะ 135

บรรณานุกรม 136

ภาคผนวก ก. 144

ประวัติผู้เขียน 147

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน พื้นที่ให้ผลผลิต และปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันใน พ.ศ. 2546-2555	5
2	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2551	38
3	พารามิเตอร์ และวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุหมัก	45
4	ปริมาณวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	52
5	พารามิเตอร์ ความถี่ที่วิเคราะห์ และวิธีวิเคราะห์ ระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย	62
6	คุณสมบัติ เกณฑ์กำหนด และวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้	63
7	องค์ประกอบในวัสดุหมักที่ใช้ในการหมักปุ๋ย	77
8	การคำนวณปริมาณของวัสดุหมัก ตามอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	77
9	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก เมื่อเริ่มต้นการทดลอง	79
10	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ของชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์	106
11	ผลของการติดตามคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้ เปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	111
12	การคำนวณผลตอบแทนที่ได้จากกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	127

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปริมาณการให้ผลผลิตน้ำมันของพืชน้ำมันแต่ละชนิด ต่อผลผลิต 1 ไร่	4
2	สัดส่วนปริมาณการบริโภคน้ำมันพืชของโลก	4
3	จำนวนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในภาคใต้ของประเทศไทย	6
4	แผนผังกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้กระบวนการทอดผลปาล์มภายใต้สภาพสุญญากาศ	8
5	กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก และของเสียที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการ และการนำของเสียมาใช้ประโยชน์	11
6	องค์ประกอบของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	13
7	ของเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก	10
8	กระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	18
9	ลักษณะการเติมอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศเข้ากองปุ๋ยหมัก	23
10	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย	29
11	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ	41
12	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ	41
13	กากตะกอนดีแคนเตอร์	42
14	การเตรียมตัวอย่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ	46
15	การเตรียมตัวอย่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ	47
16	การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนดีแคนเตอร์	48
17	เครื่องย่อยทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	50
18	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ หลังผ่านการย่อย	51
19	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ หลังผ่านการย่อย	51
20	กากตะกอนดีแคนเตอร์ หลังร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร	52
21	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันถุงละ 10 กิโลกรัม	54
22	กากตะกอนดีแคนเตอร์ ถุงละ 5 กิโลกรัม	54
23	การคลุกเคล้าวัสดุหมัก (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์)	55
24	ลักษณะการกองวัสดุหมักในแต่ละชั้นเมื่อเริ่มต้นการหมัก	57
25	ลักษณะการกองปุ๋ยหมักอย่างสมบูรณ์เมื่อเริ่มต้นการหมัก	58
26	ลักษณะการกองวัสดุหมักของชุดควบคุม	58
27	ขนาดของร่องปุ๋ยหมัก	59

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	โรงเรือนที่ใช้ในการหมักปุ๋ย	59
29	เครื่องอัดอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมัก	61
30	เครื่องวัดก๊าซชีวภาพ (ยี่ห้อ Gas Data รุ่น GFM Series)	61
31	ระดับความลึกของจุดเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก	66
32	จุดเก็บตัวอย่างบนกองปุ๋ยหมัก	66
33	แสดงสัดส่วนปุ๋ยหมักจาก EFB กับดิน และสัดส่วนปุ๋ยหมักทั่วไป กับดิน	69
34	ลักษณะการเตรียมดินกับปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	70
35	ลักษณะการเตรียมดินกับปุ๋ยหมักทั่วไป	70
36	แสดงสัดส่วนปุ๋ยหมักจาก EFB 400 กรัม กับดิน 800 กรัม และสัดส่วนปุ๋ยเคมี กับดิน	71
37	แสดงสัดส่วนปุ๋ยหมักจาก EFB 200 กรัม กับดิน 800 กรัม และสัดส่วนการใช้ปุ๋ยเคมี กับดิน	72
38	ลักษณะปุ๋ยเคมีสูตรไนโตรเจน	73
39	ลักษณะปุ๋ยเคมีสูตรฟอสฟอรัส	73
40	ลักษณะปุ๋ยเคมีสูตรโพแทสเซียม	74
41	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมักเปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์	82
42	การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมักเปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบกับกากตะกอนดีแคนเตอร์	84
43	ลักษณะปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ก่อนอัดเม็ด และหลังการอัดเม็ด	84
44	การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุหมัก ชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์	87
45	การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ของวัสดุหมักชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์	88

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
46	การเปลี่ยนแปลงพีเอช ภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์	90
47	การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์	92
48	การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์	94
49	การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์	97
50	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบกับกากตะกอนดีแคนเตอร์	100
51	ปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมักตลอดกระบวนการ ชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่หีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์	102
52	ต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 400 กรัม วันที่ 7 ของการปลูก	113
53	ต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักทั่วไป 400 กรัม วันที่ 7 ของการปลูก	114
54	ต้นแตกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 400 กรัม วันที่ 29 ของการปลูก	115
55	ต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักทั่วไป 400 กรัม วันที่ 29 ของการปลูก	115
56	ความยาวลำต้นของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยหมักทั่วไป	116
57	ความยาวรากของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยหมักทั่วไป	117

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
58	น้ำหนักรวม ของลำต้น ใบ และราก ของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยหมักทั่วไป	118
59	ต้นแตงกวา ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 200 กรัม วันที่ 7 ของการปลูก	120
60	ต้นแตงกวา ปลูกด้วยปุ๋ยเคมี วันที่ 7 ของการปลูก	120
61	ต้นแตงกวา ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 200 กรัม วันที่ 29 ของการปลูก	121
62	ต้นแตงกวา ปลูกด้วยปุ๋ยเคมี ในวันที่ 29 ของการปลูก	121
63	ความยาวลำต้นของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมี	122
64	ความยาวรากของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและปุ๋ยเคมี	123
65	น้ำหนักรวมของลำต้น ใบ และราก ของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมี	124

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญ

ตลอดระยะ 10 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น อย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 4.49 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2546 จำนวน 2.45 ล้านไร่ คิดเป็น 120.09 เปอร์เซ็นต์ มีพื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน 3.99 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2546 จำนวน 2.2 ล้านไร่ คิดเป็น 122.9 เปอร์เซ็นต์ และมีผลผลิตปาล์มน้ำมัน 11.3 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2546 จำนวน 6.4 ล้านตัน คิดเป็น 130.61 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าจากข้อมูล 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2546-2555) พื้นที่ปลูก พื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน และผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ได้ของประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2556) ผลผลิตจากสวนปาล์มที่ได้ ถูกส่งเข้าโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบก่อให้เกิดของเสียหลายชนิด ได้แก่ เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม น้ำเสีย กากตะกอนดีแคนเตอร์ และทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ซึ่งปัจจุบัน เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้แก่หม้อไอน้ำ เพื่อผลิตพลังงานความร้อน และนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปผลิตไฟฟ้าและนึ่งผลปาล์ม ส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้น ถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า สำหรับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ถูกนำไปใช้เป็นปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งปริมาณของกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่เกิดขึ้น มีปริมาณเทียบเท่า 2-3 เปอร์เซ็นต์ของผลปาล์มสด (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556) แต่กากตะกอนดีแคนเตอร์ มีน้ำมันปาล์มผสมอยู่ เมื่อฝนตกจะชะล้างคราบน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ ส่วนทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (Empty Fruit Bunches: EFB) จะมีปริมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลปาล์มน้ำมันสด (Fresh Fruit Bunches: FFB) (Lorestani, 2006; Pleanjai *et al*., 2004) ที่เข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ดังนั้นในแต่ละปีจะมีทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบทั่วประเทศปริมาณมาก เช่นในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีผลผลิตปาล์มน้ำมัน 11.3 ล้านตัน ทำให้เกิดทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 2.27-3.39

ล้านตัน ในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันจะมีน้ำมันปาล์มเหลืออยู่ หากมีการสะสมทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันในปริมาณมากจะทำให้เกิดการหมักหมม และเมื่อฝนตกจะชะล้างน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำส่งผลต่อแหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสีย

ปัจจุบันทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ถูกนำไปเผาเพื่อผลิตเป็นขี้เถ้า ซึ่งมีค่าโพแทสเซียมสูงแล้วนำขี้เถ้าไปใช้เป็นปุ๋ย แต่การเผาทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ (Baharutdin *et al*, 2009) อีกทั้งทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีความชื้นสูง ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ไม่ดีมากนัก (Yahya *et al*., 2010) จึงทำให้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันบางแห่งถูกนำไปใช้เป็นวัสดุคลุมดินภายในสวนปาล์มน้ำมันของโรงงาน และพื้นที่การเกษตรใกล้เคียง เมื่อมีการย่อยสลายตามธรรมชาติทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเหล่านี้จะกลายสภาพเป็นปุ๋ยให้กับต้นปาล์มน้ำมัน แต่กระบวนการย่อยตามธรรมชาติต้องใช้เวลานาน เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์มีพิษ และเมื่อฝนตกจะชะล้างน้ำมันจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมข้างเคียง (Astimar and Wahid, 2006) จากปริมาณทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณมาก และย่อยสลายยาก จึงมีการศึกษาและประยุกต์ใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุหมักเพื่อผลิตปุ๋ยหมัก (Yahya *et al*.,, 2010) โดยปุ๋ยที่ได้สามารถนำไปทดแทนปุ๋ยเคมีที่ใช้ในสวนปาล์มน้ำมันส่วนหนึ่งและลดปัญหาผลกระทบต่อดินและน้ำจากการกองทิ้งในสวนปาล์มน้ำมัน ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสามารถผลิตเป็นปุ๋ยหมักได้โดยมีระยะเวลาในการหมัก 60-90 วัน (Baharuddin *et a*l., 2009; Kala *et al*., 2009)

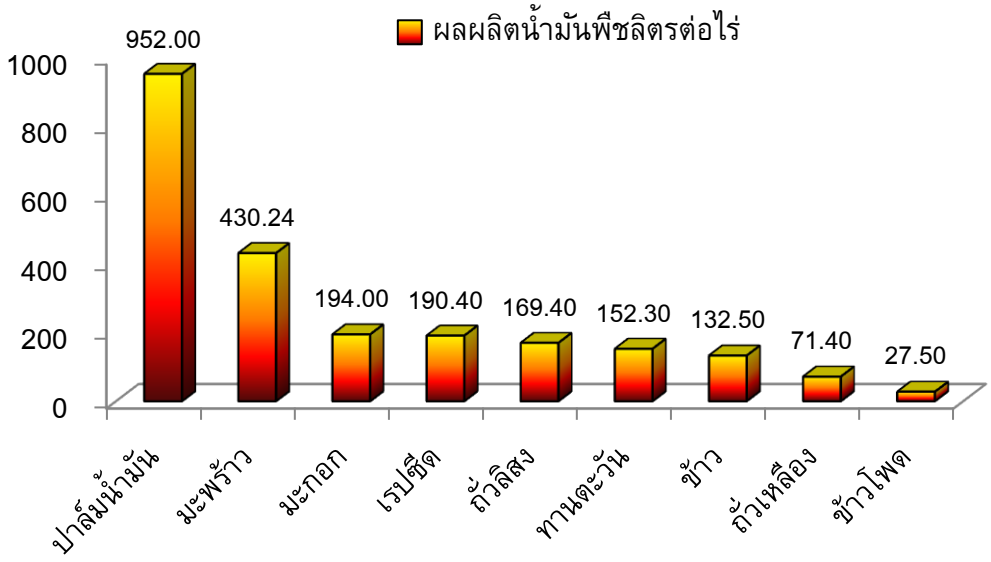
ด้วยปริมาณน้ำมันที่หลงเหลืออยู่ในทะลายเปล่า ทำให้โรงงานสกัดน้ำมันดิบบางแห่งมีการหีบทะลายหลังจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อนำกลับน้ำมันอีกส่วนหนึ่ง ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และทะลายมีลักษณะยุ่ยมากขึ้น แต่ยังไม่มีการศึกษาผลต่อการหีบทะลายซ้ำต่อประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันโดยเฉพาะระยะเวลาในการหมัก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ โดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ ซึ่งเป็นของเสียอีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเป็นวัสดุหมักร่วม เพื่อประเมินประสิทธิภาพการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพิ่มเติมในด้านการจัดการของเสีย นอกจากประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิต

การตรวจเอกสาร

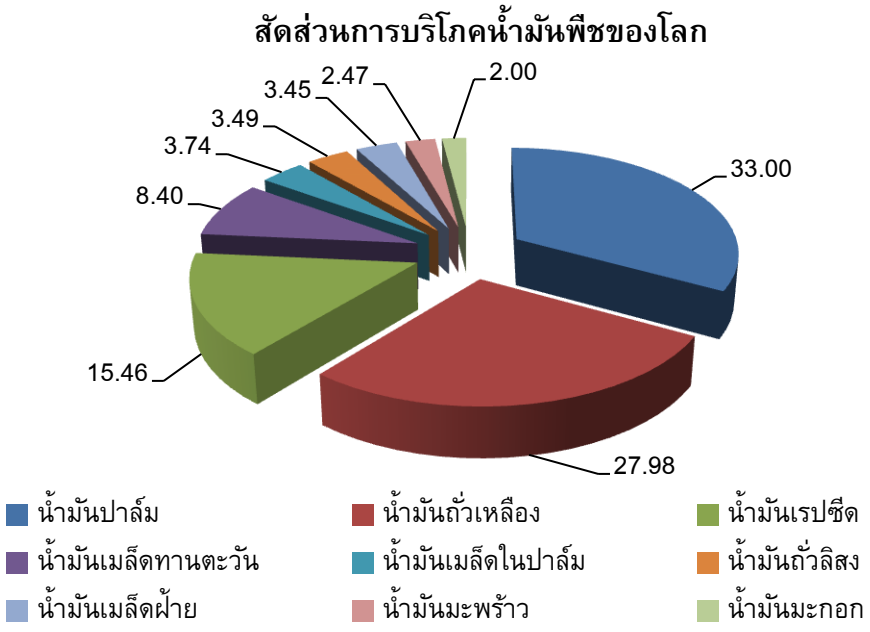
1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) เป็นพืชน้ำมันที่สามารถให้ปริมาณน้ำมันได้มากกว่าพืชทุกชนิด เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ได้พบว่า ปาล์มน้ำมันมีผลผลิตต่อไร่สูงกว่าพืชชนิดอื่นมาก ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมันที่ 952 ลิตรต่อไร่ รองลงมาคือ มะพร้าว 430.24 ลิตรต่อไร่ มะกอก 194 ลิตรต่อไร่ เรปซีด 190.4 ลิตรต่อไร่ ถั่วลิสง 169.4 ลิตรต่อไร่ ทานตะวัน 152.3 ลิตรต่อไร่ ข้าว 132.5 ลิตรต่อไร่ ถั่วเหลือง 71.4 ลิตรต่อไร่ และข้าวโพดให้ผลผลิตที่ 27.5 ลิตรต่อไร่ ดังแสดงในภาพที่ 1 และสัดส่วนการบริโภคน้ำมันพืชของโลก พบว่าปาล์มน้ำมันมีสัดส่วนการบริโภคสูงที่สุดถึง 33 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ น้ำมันถั่วเหลือง 27.98 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนปริมาณการบริโภคน้ำมันพืชของโลก ดังแสดงในภาพที่ 2 ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตต่อไร่ และสัดส่วนการบริโภคน้ำมันพืช พบว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงที่สุด และมีสัดส่วนการบริโภคที่สูงที่สุด (สถาบันอาหาร, 2558) รวมทั้งต้นทุนในการสกัดน้ำมันปาล์มยังมีต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่ำกว่าพืชชนิดอื่น อีกทั้งผลผลิตจากน้ำมันปาล์มยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท ทั้งผลิตภัณฑ์อุปโภค บริโภค รวมไปถึงผลิตภัณฑ์พลังงาน นอกจากนี้ของเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มยังสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกหลายด้าน เช่น การผลิตไฟฟ้า การนำมาเป็นเชื้อเพลิง การนำมาใช้เป็นปุ๋ย ทำให้ปัจจุบันปาล์มน้ำมันได้กลายเป็นพืชพลังงานที่มีพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นทุกปี ในประเทศไทยพบว่า มีพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมัน พื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน และผลผลิตปาล์มน้ำมันสูงขึ้นทุกปีเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 ประเทศไทยมีการปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดในพื้นที่จังหวัดแถบภาคใต้ของประเทศ โดยปลูกมากที่สุดที่จังหวัด สุราษฎร์ธานี คิดเป็น 25.37 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือจังหวัดกระบี่ และชุมพร มีสัดส่วน 24.83 เปอร์เซ็นต์ และ 19.40 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ ตามลำดับ (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2556)



ภาพที่ 1 ปริมาณการให้ผลผลิตน้ำมันของพืชน้ำมันแต่ละชนิด ต่อผลผลิต 1 ไร่

ที่มา: http://fic.nfi.or.th/food/upload/doc/12_EU.doc



ภาพที่ 2 สัดส่วนปริมาณการบริโภคน้ำมันพืชของโลก

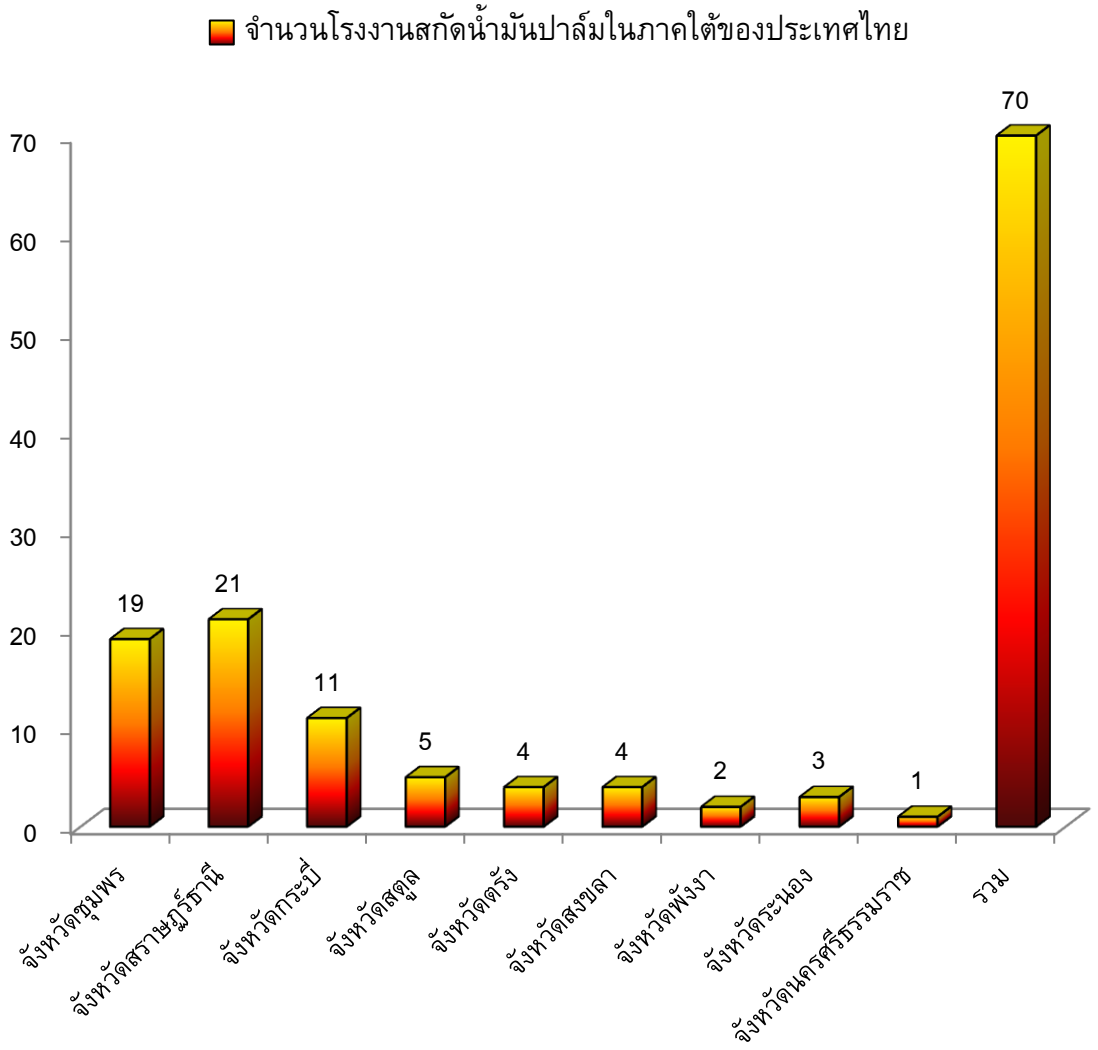
ที่มา: http://fic.nfi.or.th/food/upload/doc/12_EU.doc

ตารางที่ 1 พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน พื้นที่ให้ผลผลิต และปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมัน ในปี พ.ศ. 2546-2555

พ.ศ.	พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน(ล้านไร่)	พื้นที่ให้ผลผลิต (ล้านไร่)	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ล้านตัน)
2546	2.04	1.79	4.90
2547	2.19	1.94	5.18
2548	2.75	2.03	5.00
2549	2.95	2.37	6.72
2550	3.20	2.66	6.39
2551	3.68	2.88	9.27
2552	3.89	3.19	8.16
2553	4.08	3.55	8.22
2554	4.28	3.75	10.78
2555	4.49	3.99	11.33

ที่มา: สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (2556)

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ของประเทศไทยตั้งอยู่ในแถบภาคใต้ของประเทศ ประมาณ 70 โรงงาน มากที่สุดจังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 21 โรงงาน รองลงมาจังหวัดชุมพร 19 โรงงาน และจังหวัดกระบี่ 11 โรงงาน ดังแสดงในภาพที่ 3 เพื่อรองรับปริมาณผลิตปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้น แต่ละโรงงานเริ่มมีการขยายกำลังการผลิตจาก 30 ตันผลปาล์มทะลายสดต่อชั่วโมง เป็น 45-60 ตันทะลายผลปาล์มทะลายสดต่อชั่วโมง และมีการสร้างโรงงานในจังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อรองรับผลิตปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นในอนาคต การขยายกำลังการผลิต และการเพิ่มขึ้นของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ส่งผลต่อปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ดังนั้นของเสียที่เกิดขึ้น จำเป็นที่ต้องมีวิธีการจัดการที่ถูกต้องเหมาะสม เพื่อช่วยลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2558)



ภาพที่ 3 จำนวนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในภาคใต้ของประเทศไทย

ที่มา: http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/trends/01-05.php

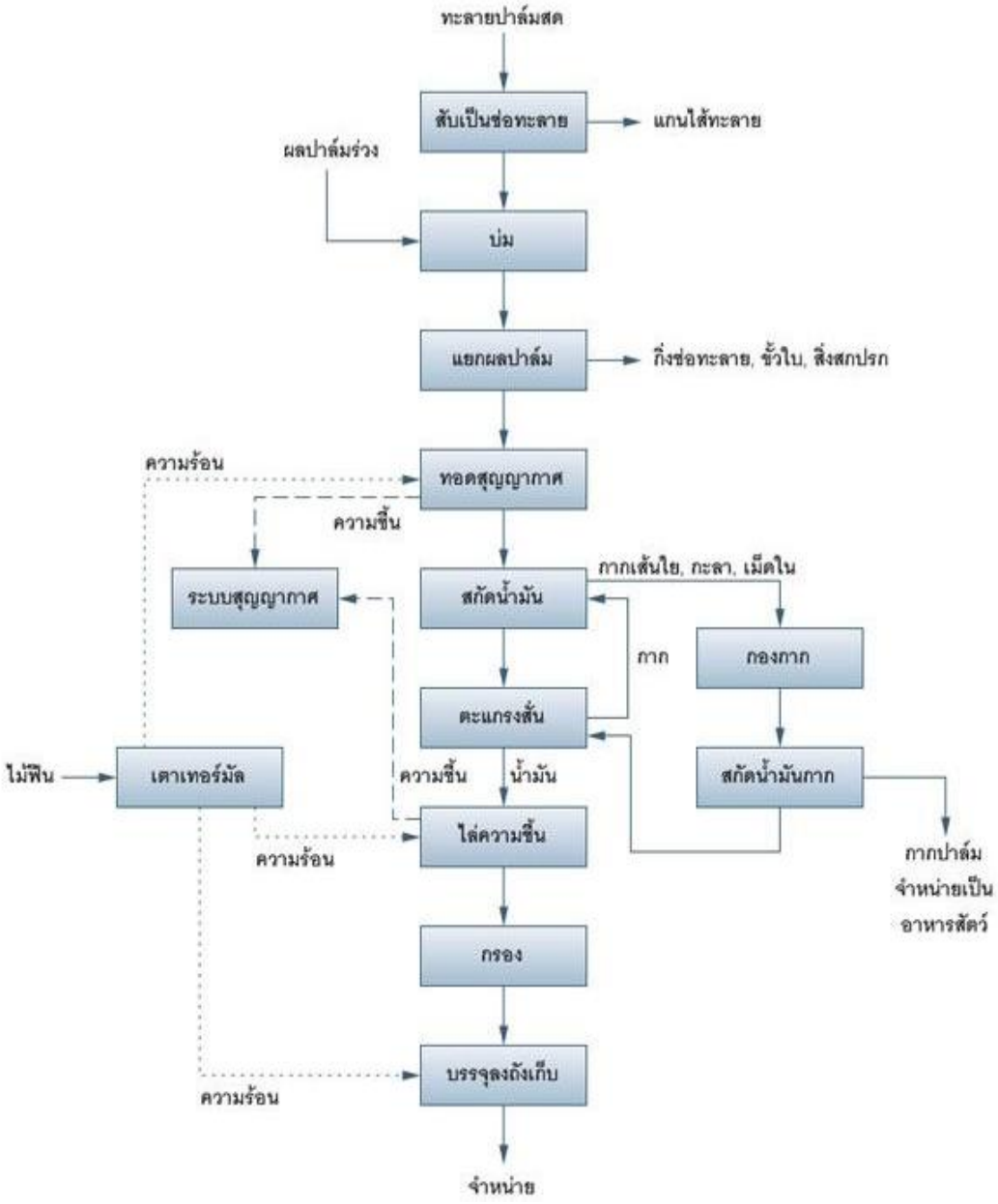
2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ในปัจจุบันกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท ซึ่งทั้ง 2 ประเภทมีความแตกต่างกันที่ขนาด และลักษณะของผลปาล์มสดที่ส่งเข้ากระบวนการผลิต สามารถสรุปวิธีการสกัดน้ำมันปาล์ม 2 ประเภทได้ดังต่อไปนี้

2.1 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบแห้ง

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบแห้ง หรือแบบไม่ใช้ไอน้ำ ใช้ผลปาล์มร่วงเป็นวัตถุดิบในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โดยการนำผลปาล์มเข้าหม้อทอดสุญญากาศ ภายในมีระบบให้ความร้อนแก่ผลปาล์มน้ำมัน ระบบให้ความร้อนมีอุณหภูมิระหว่าง 150-160 องศาเซลเซียส ด้านบนของหม้อทอดมีท่อต่อไปยังระบบสุญญากาศ ที่สามารถสร้างสภาพสุญญากาศได้ถึง 700 มิลลิเมตรปรอท โดยน้ำ และความชื้นในผลปาล์มจะระเหยไปยังระบบสุญญากาศที่อุณหภูมิในการทอดประมาณ 90 องศาเซลเซียส ที่ระดับสุญญากาศ 600 มิลลิเมตรปรอท ผลปาล์มที่ผ่านการทอดมีลักษณะกรอบและนิ่มสม่ำเสมอกันทั้งหม้อ ผลปาล์มที่ผ่านการทอดแล้วถูกลำเลียงด้วยสกรูลำเลียงด้านล่างของหม้อทอด และลำเลียงผลปาล์มเข้าเครื่องหีบแบบเพลาคู่ ซึ่งสามารถสกัดน้ำมันเปลือกนอกได้โดยเมล็ดในไม่แตก หรือจะสกัดน้ำมันเปลือกนอก และน้ำมันเมล็ดในรวมกันก็ได้ โดยใช้เครื่องหีบแบบเพลาเดี่ยว หลังจากนั้นน้ำมันไหลผ่านตะแกรงสั่น เพื่อแยกสิ่งสกปรกเจือปนออกจากน้ำมัน น้ำมันที่ผ่านการกรองถูกนำมาเก็บไว้ในถังพัก หลังจากนั้นทำการแยกความชื้นออกจากน้ำมันด้วยถังอบแห้งไล่ความชื้น ด้วยระบบกำจัดความชื้นแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ที่ระดับสุญญากาศ 600 มิลลิเมตรปรอท คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบที่ได้มีความชื้นไม่เกิน 0.1 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นทำการกรองแยกน้ำมันอีกครั้งด้วยเครื่องกรองแบบผ้าอัดหลายชั้น จากนั้นน้ำมันถูกเก็บไว้ในถังพักเพื่อรอจำหน่าย คุณภาพของน้ำมันที่เก็บในถังพักมีสิ่งสกปรกเจือปนไม่เกิน 0.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากเนื้อปาล์ม และเมล็ดในปาล์มที่เกิดจากเครื่องหีบแบบเพลาอัดคู่ ถูกลำเลียงไปยังเครื่องหีบแบบเพลาอัดเดี่ยว เพื่อทำการแยกน้ำมันส่วนที่เหลือจากกากเส้นใย และน้ำมันจากเมล็ดในปาล์มอีกครั้ง น้ำมันที่ได้ถูกนำไปผ่านการกรอง กำจัดความชื้น และกรองละเอียดอีกครั้ง ก่อนส่งเข้าถังพักเพื่อรอจำหน่าย ส่วนกากที่เกิดจากเครื่องหีบแบบเพลาอัดเดี่ยวสามารถนำไปขายเป็นอาหารสัตว์ หรือขายให้แก่อุตสาหกรรมที่ผลิตอาหารสัตว์ นำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิต

อาหารสัตว์ต่อไปได้ (สถานวิจัย และพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์ม และพืชน้ำมัน, 2558) แผนผังแสดงกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้กระบวนการทอดผลปาล์มภายใต้สภาพสุญญากาศ ดังแสดงในภาพที่ 4



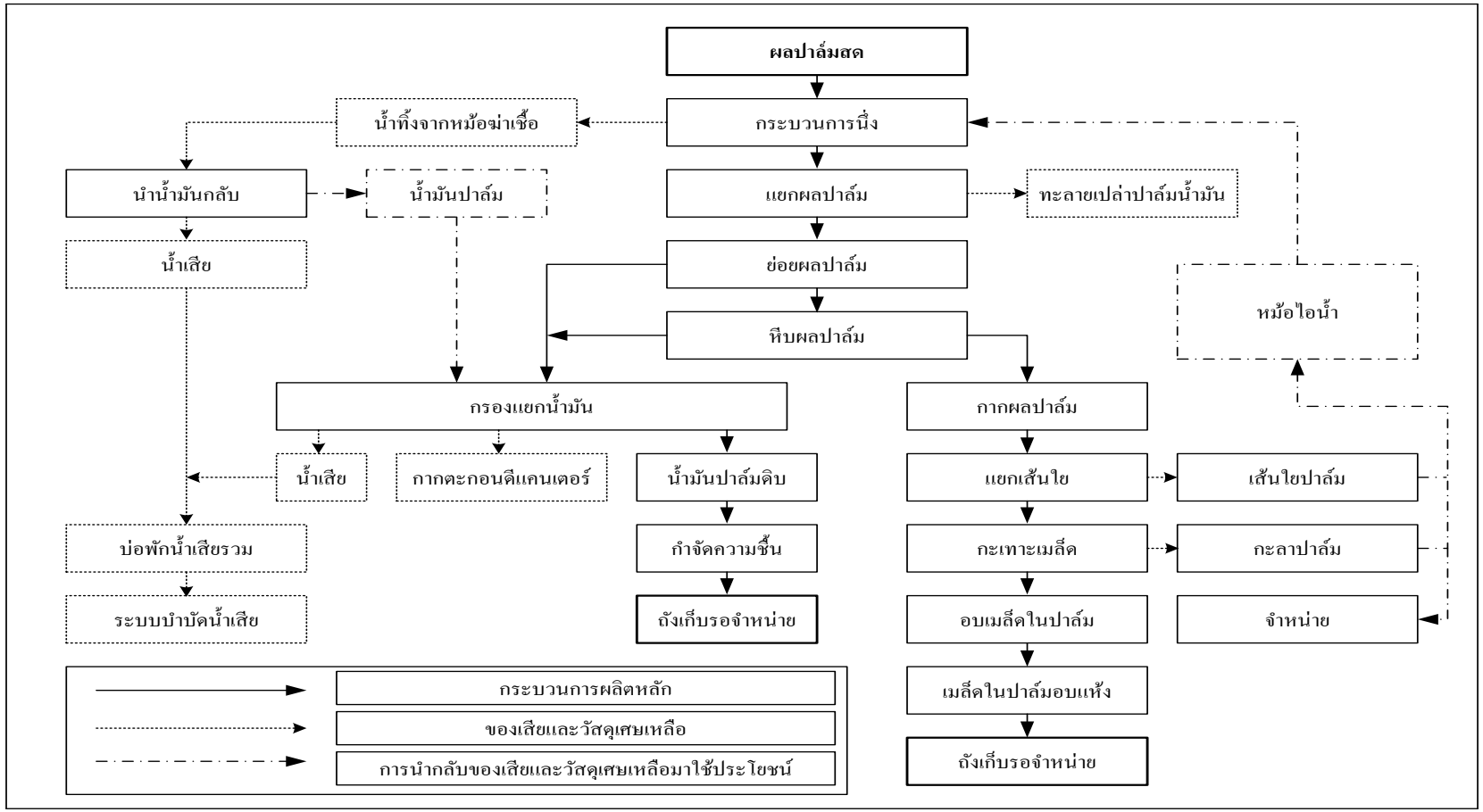
ภาพที่ 4 แผนผังแสดงกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้กระบวนการทอดผลปาล์มภายใต้สภาพสุญญากาศ

ที่มา: http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/factory.php

2.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก

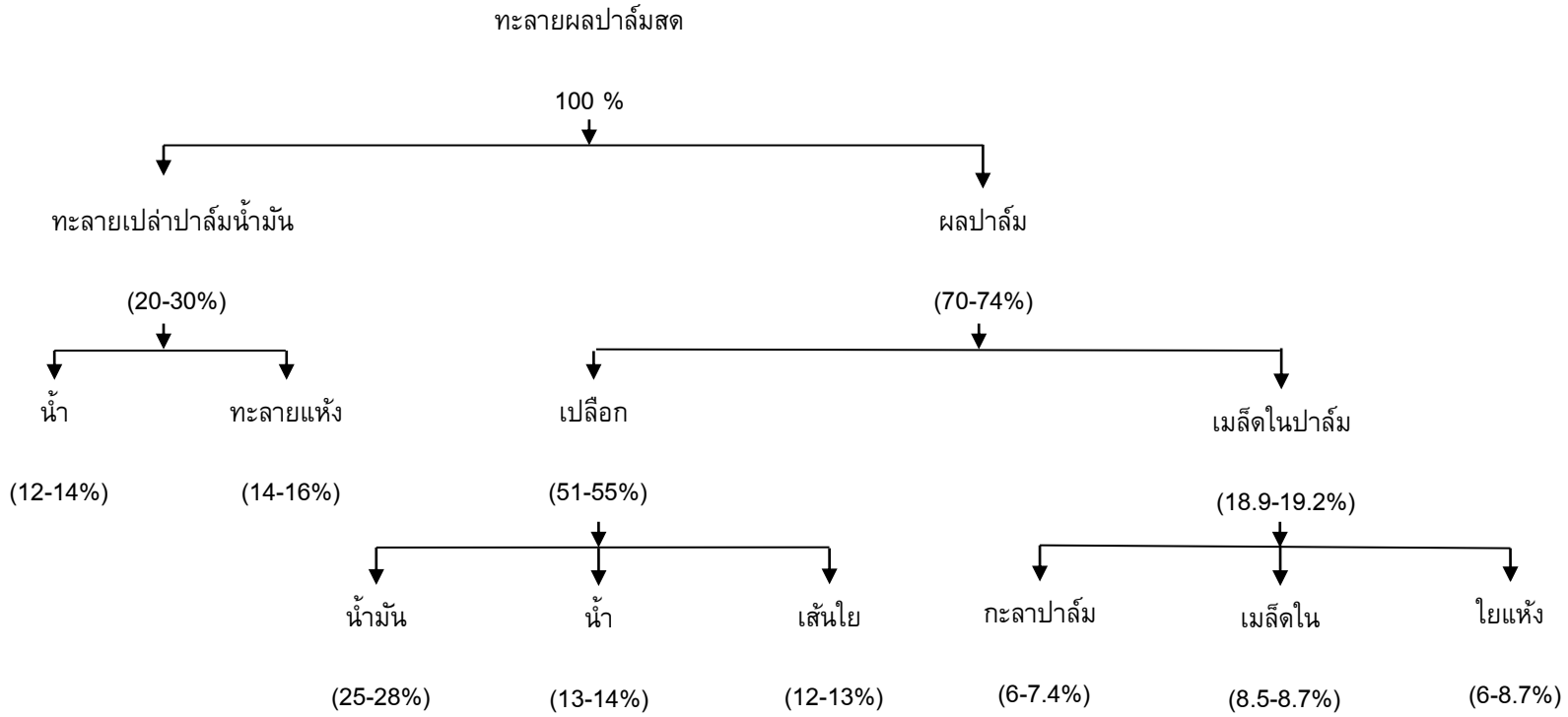
กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก หรือแบบใช้ไอน้ำ เป็นกระบวนการสกัดที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ปริมาณมากกว่าวิธีการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบแห้ง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียกในประเทศไทยมีกำลังการผลิตตั้งแต่ 30-120 ตันผลปาล์มทะลายสดต่อชั่วโมง ทำให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นเกือบทั้งหมดถูกส่งเข้าโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก วัตถุดิบที่ส่งเข้ากระบวนการผลิตเป็นผลปาล์มทะลายสด โดยการนำผลปาล์มทะลายสดเข้าสู่กระบวนการนึ่งด้วยอุณหภูมิ 130-140 องศาเซลเซียส ภายใต้แรงดัน 2.5-3.0 บาร์ เป็นระยะเวลา 80-90 นาที หลักจากนั้นผลปาล์มทะลายสดที่ผ่านการนึ่ง ถูกลำเลียงเข้ากระบวนการแยกผลปาล์ม ด้วยเครื่องเหวี่ยงผลปาล์ม (Threshing Drum) จำนวน 2 ครั้ง เพื่อทำการแยกระหว่างผลปาล์มน้ำมัน กับทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันออกจากกัน ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันถูกลำเลียงไปยังพื้นที่เก็บ ส่วนผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการแยก ถูกส่งเข้ากระบวนการกวนย่อย (Digester) เพื่อกวนย่อยให้เนื้อผลปาล์มหลุดออกจากเมล็ดในปาล์ม เป็นระยะเวลา 20-25 นาที ที่อุณหภูมิภายในถังกวนย่อย 80-90 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นผลปาล์มที่ผ่านการกวนย่อยถูกลำเลียงเข้าเครื่องหีบน้ำมันแบบเกลียวอัดคู่ (Screw Press) เพื่อแยกน้ำมันออกจากเส้นในปาล์ม และเมล็ดในปาล์ม น้ำมันที่ได้ถูกส่งผ่านตะแกรงสั่น (Vibrating Screen) เพื่อทำการกรองแยกสิ่งเจือปนออกจากน้ำมัน ก่อนส่งเข้าถังพักน้ำมัน หรือถังตกจม (CS Tank) ควบคุมอุณหภูมิภายในถังตกจม 80-98 องศาเซลเซียส เพื่อให้น้ำมันกับน้ำสลัดจ์ แยกชั้นภายในถังตกจม น้ำมันลอยตัวขึ้นด้านบนของถัง ส่วนน้ำสลัดจ์ตกลงด้านล่างของถัง น้ำมันที่อยู่ด้านบนถังสามารถเก็บเข้าถังพักเพื่อกรองแยกละเอียดด้วยเครื่องกรองแยกน้ำมัน (Purifier) หลังจากนั้นกำจัดความชื้นในน้ำมันด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum Dryer) กำจัดความชื้นไม่ให้เกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นน้ำมันถูกส่งไปยังถังเก็บ (Stock Tank) เพื่อรอจำหน่าย ส่วนน้ำสลัดจ์ ด้านล่างถังตกจม ถูกส่งไปยังถังน้ำสลัดจ์ (Sludge Tank) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำสลัดจ์ ให้อยู่ในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส ก่อนส่งไปยังเครื่องกรองแยกน้ำสลัดจ์ (Decanter) เพื่อกรองแยกน้ำมันออกจากน้ำสลัดจ์ ซึ่งในส่วนนี้ทำการกรองแยกน้ำสลัดจ์ออกเป็น 3 สถานะ คือ น้ำมัน น้ำเสีย และของแข็ง หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ น้ำมันถูกส่งเข้ากระบวนการกรองแยก น้ำเสียถูกส่งไปยังระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และกากตะกอนดีแคนเตอร์ ถูกนำไปกองทิ้งไว้ในที่เก็บ ส่วนเส้นใยปาล์ม และเมล็ดในปาล์ม ถูกลำเลียงด้วยสกรู (Cake Breaker Conveyor) เพื่อตีเส้นใย และเมล็ดในปาล์มให้แยก

ออกจากกัน ก่อนเส้นใยปาล์มถูกดูดด้วยระบบไซโคลน (Fiber Cycle) เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำ ส่วนเมล็ดในปาล์มถูกส่งเข้ากระบวนการกะเทาะเมล็ดใน เพื่อแยกระหว่างเมล็ดในปาล์ม และกะลาปาล์มออกจากกัน (Cray Bath) กะลาปาล์มถูกลำเลียงเข้าที่เก็บเพื่อรอจำหน่าย เมล็ดในปาล์มถูกนำไปอบแห้งและลำเลียงเข้าถังเก็บเพื่อรอจำหน่าย ดังนั้นในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียกก่อให้เกิดของเสียมากมาย ได้แก่ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (Empty Fruit Bunches; EFB) เส้นใยปาล์ม (Pericarp Fiber) กะลาปาล์ม (Palm Shell) กากตะกอนดีแคนเตอร์ (Decanter Cake) และน้ำเสียจากกระบวนการ (Palm Oil Effluent; POME) ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลปาล์มที่เข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และสัดส่วนของทะลายปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในภาพที่ 6 (บริษัทพิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556)



ภาพที่ 5 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และของเสียที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการ และการนำของเสียมาใช้ประโยชน์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Mumtaz (2010)



ภาพที่ 6 องค์ประกอบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lorestani (2006)

2.2.1 ของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก

ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก จะก่อให้เกิดของเสียปริมาณมาก ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียกได้แก่ กะลาปาล์ม เส้นใยปาล์ม น้ำเสีย กากตะกอนดีแคนเตอร์ และทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในภาพที่ 7

เส้นใยปาล์ม

กะลาปาล์ม

น้ำเสียจากกระบวนการ

ของเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

กากตะกอนดีแคนเตอร์

ภาพที่ 7 ของเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก

ที่มา: บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด (2556)

3 การนำของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์

3.1 เส้นใยเปลือกปาล์มน้ำมัน

เส้นใยเปลือกปาล์มน้ำมัน เป็นส่วนของผลปาล์มที่หีบน้ำมันออกแล้ว เส้นใยเปลือกปาล์มน้ำมัน ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการมีปริมาณ 12-13 เปอร์เซ็นต์ ของผลปาล์มทะลาย (Lorestani, 2006; บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556) ปัจจุบันเส้นใยปาล์ม ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำของโรงงานเพื่อใช้ในการผลิตพลังงานความร้อน และนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปผลิตไฟฟ้าใช้ภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พลังงานความร้อนส่วนที่เหลือจะนำไปใช้ในกระบวนการนึ่งผลปาล์ม และเป็นแหล่งความร้อนให้แก่ เครื่องจักรที่ต้องการใช้พลังงานความร้อนในการทำงาน ส่วนใยปาล์มที่เหลือ จะนำไปขายให้กับโรงงานอื่นที่จำเป็นต้องใช้ใยปาล์มเป็นเชื้อเพลิง เส้นใยเปลือกผลปาล์มจะมีธาตุอาหารที่ใกล้เคียงทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน แต่จะมีปริมาณโพแทสเซียมน้อยกว่า จึงสามารถนำไปผลิตปุ๋ยหมักได้เช่นกัน (ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551; บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556)

3.2 กะลาปาล์ม

กะลาปาล์มที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต มีปริมาณ 6-7 เปอร์เซ็นต์ ของผลปาล์มทะลาย (Lorestani, 2006; บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556) กะลาปาล์ม ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปผสมกับ เส้นใยปาล์มเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ส่วนที่เหลือจะจำหน่ายเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมที่ต้องการนำกะลาปาล์มไปใช้เป็นเชื้อเพลิง (ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551; บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556)

3.3 น้ำเสียจากกระบวนการผลิต

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต มีมวลสารอยู่ในรูป บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และมีการปนเปื้อนของน้ำมันปาล์มในระดับสูง รวมทั้งน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ มีสารอาหารที่สูงจึงถูกนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น เท่ากับ 0.5-0.6 เปอร์เซ็นต์ ของผลปาล์มทะลาย น้ำเสียที่เกิดขึ้น 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ 25-30 ลูกบาศก์เมตร และนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นพลังงาน

ให้กับโรงงานสกัด หรือสามารถจำหน่ายไฟฟ้าส่วนที่เหลือให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556)

3.4 กากตะกอนดีแคนเตอร์

กากตะกอนดีแคนเตอร์ เป็นของเสียอีกชนิดหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการกรองแยกน้ำมัน (สำหรับโรงงานสกัดที่มีเครื่องดีแคนเตอร์) ซึ่งเกิดจากการนำน้ำสลัดจ์ (Sludge) จากก้นถังตกจม มาเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำสลัดจ์ออกเป็น 3 สถานะ คือ น้ำมัน น้ำเสีย และของแข็ง หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณ เท่ากับ 2-3 เปอร์เซ็นต์ ของผลปาล์มทะลาย ซึ่งคุณสมบัติของกากตะกอนดีแคนเตอร์ จะมีค่าไนโตรเจนประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีค่า C:N Ratio ต่ำกว่า 20:1 จึงเหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมัก กากตะกอนดีแคนเตอร์ ที่เกิดขึ้นถูกนำไปใช้เป็นปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน แต่กากตะกอนดีแคนเตอร์ ยังมีส่วนผสมของน้ำมันปาล์ม หากนำไปใช้ในสวนปาล์มเมื่อฝนตกก็จะชะล้างคราบน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียได้ ดังนั้นหากต้องการนำกากตะกอนดีแคนเตอร์ไปใช้เป็นปุ๋ยควรที่จะนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักร่วมกับเส้นใยปาล์ม หรือทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556)

ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนดีแคนเตอร์ ซึ่งพบว่ากากตะกอนดีแคนเตอร์สามารถนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากระบบที่จะใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพต้องออกแบบเฉพาะเป็นพิเศษ เนื่องจากกากตะกอนดีแคนเตอร์มีส่วนผสมของทราย และกะลาปาล์มขนาดเล็กที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ จะทำให้เกิดการสะสมในระบบ ส่งผลให้การควบคุมระบบทำได้ยาก และมีต้นทุนสูง ทำให้ไม่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดตรัง, 2556)

3.5 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนหนึ่งของผลปาล์มทะลายที่ถูกเหวี่ยงเพื่อนำผลปาล์มออกจากทะลายปาล์มสด ปริมาณทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของผลปาล์มทะลาย (Pleanjai *et al*., 2004; Lorestani, 2006) ดังนั้นในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ก่อให้เกิดปริมาณทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก และจากแนวโน้มผลผลิตปาล์มน้ำมันที่สูงขึ้น ส่งผลให้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบสามารถนำผล

ปาล์มทะลายเข้าสู่กระบวนการผลิตได้ในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสะสมในโรงงานเป็นจำนวนมาก ในอดีตทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมมาก อีกทั้งยังเป็นที่วางไข่ของด้วงแรด ซึ่งเป็นแมลงที่กัดกินยอดปาล์มและยอดมะพร้าว ซึ่งโรงงานใช้วิธีการกำจัดโดยการเผาทำลายแต่กระบวนการเผาส่งผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศและเนื่องจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีความชื้นสูงทำให้เผาได้ยาก จึงมีการนำทะลายไปเพาะเห็ด แต่ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันยังอาจนำไปใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าได้มากกว่าการเพาะเห็ด เนื่องจากในแกนทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีเส้นใยที่เหนียวสามารถนำมาทดแทนเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวได้ อีกทั้งทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันยังมีสารธาตุอาหารที่สูง โดยมีไนโตรเจนประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์, ฟอสฟอรัสประมาณ 0.7 เปอร์เซ็นต์ , และโพแทสเซียมประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมักได้ (ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551) ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน จะประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลส ดังนั้นในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันจึงมีระยะเวลาในการย่อยสลายนาน เนื่องจากลิกโนเซลลูโลสมีองค์ประกอบที่ย่อยสลายยาก (Ghabane *et al*., 2012) ลิกโนเซลลูโลส มีลักษณะโครงสร้างที่สลับซับซ้อน ประกอบไปด้วย เซลลูโลส 49.6-52.0 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 18-28 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 17.0-21.2 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อน ส่งผลให้ระยะเวลาในการหมักปุ๋ยนานขึ้น (Khalil *et al*., 2007; Baharuddin *et al*., 2009)

3.5.1 การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินภายในสวนปาล์มน้ำมัน

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินภายในสวนปาล์มน้ำมัน เมื่อเกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติจะกลายเป็นปุ๋ย ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น โดยจะช่วยให้เกิดเม็ดดิน ทำให้เกิดช่องว่างภายในดิน ดินมีความพรุนเพิ่มขึ้นทำให้การระบายน้ำและอากาศของดินดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน ช่วยให้รากของพืชสามารถแพร่กระจายตัวในดินได้อย่างกว้างขวาง และยังช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุและธาตุอาหารต่างๆให้แก่ดิน (อานัฐ ตันโช, 2549) การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินภายในสวนปาล์มยังช่วยเก็บรักษาความชุ่มชื้นให้แก่ดิน รวมทั้งยังช่วยในการชะล้างและพังทลายของหน้าดิน แต่ในการนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาเป็นวัสดุคลุมดินนั้น จำเป็นที่จะต้องกองทะลายทิ้งไว้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 เดือน เพราะหากนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ไปใช้เป็นวัสดุคลุมดินทันที จุลินทรีย์ตามธรรมชาติจะย่อยสลายทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และในกิจกรรมของจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต และการย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่งผลให้อุณหภูมิในกองวัสดุสูงขึ้น และดินใต้กองปุ๋ยจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ทำให้พืชเจริญเติบโตไม่เต็มที่ และการนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินภายในสวนปาล์มก็ยังก่อให้เกิดปัญหาจากการที่กระบวนการย่อยสลายต้องใช้เวลานาน เป็นแหล่งที่อยู่ของงู สัตว์มีพิษ และเป็นแหล่งเพาะพันธ์ของสัตว์พาหะนำโรค รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง (Astimar and Wahid, 2006) จึงควรนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันไปหมักเป็นปุ๋ยก่อนนำมาใช้ในสวนปาล์มน้ำมัน

3.5.2 การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันไปเพาะเห็ด

การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาเพาะเห็ดฟาง นับว่าเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้แก่กลุ่มเกษตรกรที่สนใจในอาชีพการเพาะเห็ด แต่ปริมาณการนำทะลายปาล์มไปเพาะเห็ดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณทะลายปาล์มที่เกิดขึ้นต่อวัน พบว่าจำนวนทะลายที่เกิดขึ้นมีจำนวนที่มากกว่าการนำไปเพาะเห็ดฟาง และเมื่อเปรียบเทียบการเพาะเห็ดฟาง โดยการใช้วัสดุที่แตกต่างกัน พบว่าเปลือกถั่วเขียวสามารถให้จำนวนดอกเห็ดมากกว่าวัสดุหมักชนิดอื่น รวมทั้งการเพาะเห็ดจากเปลือกถั่วเขียวยังมีความกว้างของดอกมากที่สุด และน้ำหนักของเห็ดที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่เท่ากันแล้วการเพาะเห็ดจากเปลือกถั่วเขียวสามารถให้ผลผลิตมากที่สุด (โกสินทร์ แสงสวงศ์, 2546)

3.5.3 การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาเป็นเชื้อเพลิง ให้แก่หม้อไอน้ำ

การเผาทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันส่งผลต่อมลพิษทางอากาศ เนื่องจากการเผาทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาด 20-100 ไมครอน หรือคิดเป็น 3,000- 4,000 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร (Lgwe and Onyegbado, 2007) และทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเมื่อถูกนำไปเผา มีปริมาณขี้เถ้า เท่ากับ 4.8-8.7 เปอร์เซ็นต์ (Hajar, 2006; Amal *et.al*, 2008) ซึ่งเมื่อกลายสภาพเป็นขี้เถ้าแล้วจะมีค่าโพแทสเซียมสูง สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยกับพืชได้ทันที แต่ในการเผาทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันจะส่งผลต่อมลพิษทางอากาศทำให้ไม่ได้รับความนิยม (Baharuddin *et al*., 2009)

3.5.4 การหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เพื่อนำน้ำจากกระบวนการหีบมาเป็นวัตถุดิบ ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบจะมีค่าความชื้นประมาณ 64.8 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักเปียก เมื่อผ่านการหีบแล้วพบว่าจะมีค่าความชื้น 42.3 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักเปียก หลังการหีบทำให้ได้น้ำจากทะลาย 22.5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักเปียกของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (อุตสาหกรรมจังหวัดตรัง, 2556) ซึ่งน้ำที่ได้จากการหีบทะลายจะมีมวลสารที่อยู่ในรูปของ ซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอยและยังมีสารอาหารที่สูงจึงสามารถนำไปผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานได้ (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด, 2556) กระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในภาพที่ 8 และผลจากการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีลักษณะที่ยุ่ยขึ้น การนำไปใช้เป็นวัสดุคลุมดินภายในสวนปาล์ม ช่วยใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายเร็วขึ้น และช่วยลดมลพิษทางน้ำที่เกิดการชะล้างคราบน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากน้ำมันที่ผสมในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ผสมไปกับน้ำที่เกิดจากกระบวนการหีบ

ภาพที่ 8 กระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ที่มา: บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด (2556)

3.5.5 การผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

จากการศึกษา พบว่าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน สามารถนำมาผลิตปุ๋ยหมักได้ โดยมีระยะเวลาในการหมัก อยู่ในช่วงระหว่าง 60-90 วัน (Baharuddin *et al.,* 2009; Kala *et al.,* 2009) การหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก พบว่าหลังจากผ่านกระบวนการหมักเป็นเวลา 51 วัน มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเหลือเพียง 18.65 และยังมีสารอาหารที่จำเป็นแก่พืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ซึ่งคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้สามารถนำไปใช้กับพืช และสารอาหารที่ได้จากการหมักปุ๋ยยังสามารถนำมาใช้ปรับปรุงดินให้มีคุณภาพดีได้

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน ให้แก่กองปุ๋ยหมัก เติมอากาศด้วยการพลิกกลับกองปุ๋ยทุกๆ 7 วัน ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์ พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์ เท่ากับ 63.67:1 และ 21.72:1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และพบว่า ปริมาณไนโตรเจนของกากตะกอนดีแคนเตอร์ เท่ากับ 2.38 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จึงมีความเหมาะสมที่จะนำกากตะกอนดีแคนเตอร์ เป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก ผลจากการหมักในวันที่ 51 หลังการหมัก พบว่า อัราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก ชุดการทดลองที่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ เท่ากับ 18.65:1 ส่วนชุดการทดลองที่ไม่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ เท่ากับ 28.96:1 ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ชุดการทดลองที่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ สูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ทุกชุดการทดลอง จึงสรุปได้ว่า การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาผลิตปุ๋ยหมัก โดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก สามารถผลิตปุ๋ยหมักได้ในระยะเวลา 51 วันหลังการหมัก และช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลักให้แก่ปุ๋ยหมัก (Yahya *et al*., 2010)

สำหรับการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน แบบกลับกองปุ๋ยและไม่กลับกองปุ๋ย โดยใช้สารเร่งเป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก ได้แก่ มูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดง จากการทดลองพบว่าการหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันแบบพลิกกลับกองปุ๋ยทำให้การหมักมีประสิทธิภาพมากกว่าไม่พลิกกลับกองปุ๋ย และยังพบอีกว่าการเติมกากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ยจะช่วยให้ทะลายเปล่าปาล์ม

น้ำมันกลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วกว่า และคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้ผ่านตามมาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดจึงจัดเป็นปุ๋ยหมักที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ดังนั้นการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์ แบบใช้อากาศ เป็นวิธีที่สามารถให้วัสดุหมัก เป็นปุ๋ยหมักได้ดีกว่าแบบไม่ใช้อากาศ (วธิดา คะนะแนม, 2552)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และใช้แป้งสาลีเป็นวัสดุหมักร่วม โดยการคัดแยกจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายวัสดุหมัก จากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ได้แก่ *P.chrysosporium, T. harzianum, A. niger and Penicillium* พบว่า ภายในระยะเวลา 60 วันหลังการหมัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก ลดลงต่ำกว่า 17:1 และนำปุ๋ยที่ได้จากการหมักไปทดสอบการงอกของเมล็ด พบว่า มีอัตราการงอกของเมล็ดมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ (Kabbashi *et al*., 2006)

จากผลการศึกษาต่างๆดังข้างต้น จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันซึ่งมีโครงสร้างที่ย่อยสลายได้ยาก ประกอบไปด้วย ลิกโนเซลลูโลส และมีปริมาณไนโตรเจนที่ต่ำ ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักสูง หากนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักจำเป็นที่จะต้องหาวัสดุหมักร่วมที่มีค่าไนโตรเจนสูงเช่น มูลไก่ มูลแพะ มูลวัว จะช่วยให้วัสดุหมักสามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้น และจากการทดลองการหมักปุ๋ย ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 90 กิโลกรัม ผสมกับมูลสัตว์ 25 กิโลกรัม และควบคุมความชื้นที่ 65 เปอร์เซ็นต์ พร้อมทั้งพลิกกลับกองทุกๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่เติมมูลไก่จะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยที่สุด เท่ากับ 12:1 รองลงมาคือมูลแพะ และมูลวัว เท่ากับ 14:1 และ18:1 ตามลำดับ (Thambirajah *et al*., 1995)

4 ปุ๋ยหมัก (Compost)

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร หรือวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร มาหมักรวมกัน แล้วทำการปรับเปลี่ยนสภาพของวัสดุโดยวิธีการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ จนกระทั่งวัสดุดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ และย่อยสลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะมีสีน้ำตาลปนดำและต้องไม่มีกลิ่น การผลิตปุ๋ยหมักในปัจจุบันมีอยู่มากมายหลายวิธี แต่โดยทั่วไปแล้วการผลิตปุ๋ยหมัก มีวิธีการที่คล้ายกันคือ การนำวัสดุเศษเหลือที่สามารถย่อยสลายได้มากองรวมกัน แล้วควบคุมความชื้น อุณหภูมิ ให้เหมาะสม แล้วใช้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายวัสดุเศษเหลือช่วยในกระบวนการย่อยสลายวัสดุเศษเหลือให้กลายสภาพเป็นปุ๋ย (อานัฐ ตันโช, 2549)

4.1 กระบวนการหมักปุ๋ย

กระบวนการหมักปุ๋ยสามารถแบ่งได้ 2 กระบวนการ หลักๆ คือกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้อากาศ และการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ (Tchobanoglous *et al*., 1993)

4.1.1 กระบวนการหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้อากาศ

กระบวนการหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้อากาศ หรือไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแสดงปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ดังนี้

$$\text{Organic Matter} + H_2O + \text{Nutrients} \xrightarrow{\text{Microorganisms}} \text{Resistant Organic Matter} + \text{New cell} + CO_2 + CH_4 + H_2S + NH_3 + \text{Heat} \quad \textbf{(1)}$$

จากสมการที่ (1) กระบวนการหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้อากาศ จะใช้แบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน ในกระบวนการย่อยสลายจะใช้เวลา 2-12 เดือน และระหว่างกระบวนการหมักนั้นจะก่อให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ รวมทั้งจะมีกลิ่นเหม็นซึ่งเป็นผลมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์ (H_2S) ที่จะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544; วธิดา คะนะแนม, 2552)

4.1.2 กระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ

กระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ หรือใช้ออกซิเจนสามารถแสดงปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ดังนี้

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

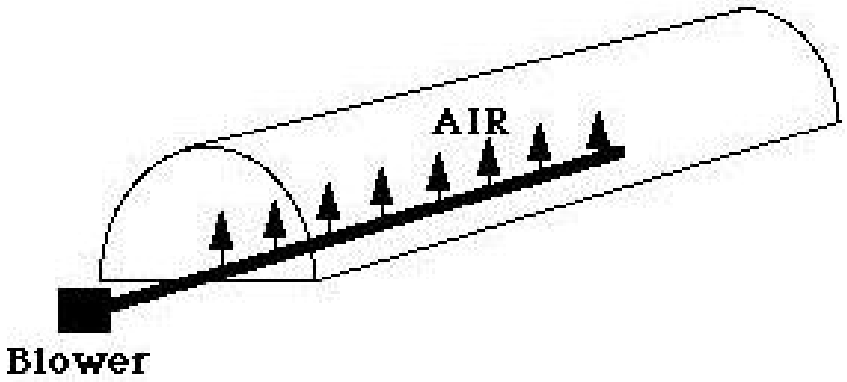
จากสมการที่ (2) ในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศหรือ ใช้ออกซิเจน อินทรียวัตถุจะถูกย่อยสลายด้วยกลุ่มของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน จนกระทั่งกลายสภาวะเป็นสารอินทรีย์คงตัวที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อีก ในกระบวนการย่อยสลายจะใช้เวลาประมาณ 7-30 วันขึ้นอยู่กับขนาด และชนิดของวัสดุหมัก (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544; วธิดา คะนะแนม, 2552) การให้อากาศกับกองปุ๋ยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การพลิกกลับกองปุ๋ย และการใช้ระบบเติมอากาศ

ก) การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศโดยกลับกองปุ๋ย

การทำปุ๋ยหมักแบบกลับกองปุ๋ย เป็นวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรทำกันมานานแล้ว เป็นการนำวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร หรือวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร มากองบนพื้นที่ราบ ซึ่งเป็นพื้นดิน หรือพื้นคอนกรีต และสามารถกองได้ทั้งกลางแจ้งและภายในโรงเรือนที่มีหลังคา แต่การกองวัสดุหมักไว้ภายในโรงเรือนที่มีหลังคาจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการหมัก และคุณสมบัติปุ๋ยหมักที่ได้ดีกว่า เนื่องจากการหมักภายใต้โรงเรือนจะช่วยป้องกันแสดงแดดและน้ำฝน ส่งผลให้ความชื้นในกองปุ๋ยระหว่างกระบวนการหมักระเหยได้น้อยกว่า และธาตุอาหารไม่ถูกน้ำฝนชะล้างออกไป หลังจากทำการกองปุ๋ยได้ตามขนาดที่ต้องการแล้ว จะทำการพลิกกลับกองปุ๋ยครั้งแรกในวันที่ 7 ของการหมัก และครั้งที่ 2 จะพลิกกลับอีกครั้งในวันที่ 14 ของการหมัก และครั้งต่อไปหลังจากวันที่ 20 ของการหมัก ซึ่งจำนวนครั้งของการพลิกกลับกองจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุหมัก แต่ในการหมักปุ๋ยแต่ละครั้งนั้นควรทำการพลิกกลับกองปุ๋ยอย่างน้อย 3 - 4 ครั้ง เพราะการพลิกกลับกองปุ๋ยจะเป็นการเพิ่มอากาศให้กับกองปุ๋ย ส่งผลให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยลดลง (อานัฐ ตันโช, 2549)

ข) การทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองโดยใช้ระบบเติมอากาศ

การทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยโดยใช้ระบบเติมอากาศ เพื่อช่วยแก้ปัญหาความยุ่งยากในขั้นตอนการพลิกกลับกองปุ๋ย เนื่องจากการพลิกกลับกองปุ๋ยที่ไม่ทั่วทั้งกองทำการการเติมอากาศเข้ากองปุ๋ยได้น้อย เพราะการเติมอากาศเข้ากองปุ๋ยส่งผลให้ประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยดีขึ้น โดยการหมักปุ๋ยด้วยวิธีการเติมอากาศจะใช้เวลาในการหมักอยู่ที่ 20-45 วัน การหมักด้วยวิธีการเติมอากาศ นอกจากระยะเวลาจะน้อยกว่าแล้ว จะมีความยุ่งยากในการหมักน้อยกว่าเพราะไม่ต้องเสียเวลาในการพลิกกลับกองปุ๋ย เหมาะแก่การนำมาใช้สำหรับการหมักปุ๋ยที่มีปริมาณวัสดุหมักปริมาณมาก (อานัฐ ตันโช, 2549) โดยใช้เครื่องอัดอากาศ เป่าอากาศเข้าไปสู่กองปุ๋ยหมัก อากาศภายนอกกองปุ๋ยที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในกองปุ๋ยหมัก จะถูกเป่าเข้าไปแทนที่ ส่งผลให้ภายในกองปุ๋ยหมักมีอากาศเพียงพอต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ลักษณะการเติมอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศเข้ากองปุ๋ยหมัก ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะการเติมอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศเข้ากองปุ๋ยหมัก

ที่มา: Richard (1996) อ้างโดย นิสากร ทัดแก้ว (2555)

4.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายวัสดุหมักในกองปุ๋ยหมัก

ระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยจะมีปัจจัยต่าง ๆที่มีบทบาทในกระบวนการย่อยสลายของวัสดุหมัก ปัจจัยต่าง ๆเหล่านี้ได้แก่

4.2.1 คุณสมบัติและลักษณะของวัสดุหมักที่ใช้

วัสดุหมักโดยทั่วไปจะเป็นวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร หรือวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งวัสดุหมักที่เกิดจากพืชจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถแยกลักษณะของวัสดุเศษเหลือได้ 2 ประเภท (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533)

ประเภทที่ 1 เป็นประเภทของวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้เร็ว มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 100:1 เช่นพืชตระกูลถั่ว ผักตบชวา หญ้าขน เปลือกสับปะรด ฟางข้าว ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เส้นใยปาล์ม เป็นต้น

ประเภทที่ 2 เป็นประเภทของวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สูงกว่า 100:1 เช่นขี้เลื่อย แกลบ ใบอ้อย กากอ้อย เป็นต้น

สำหรับวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรที่ย่อยสลายได้ยาก ก่อนการหมักควรที่จะต้องสับหรือหั่นให้มีขนาดที่เล็กลง เพื่อให้วัสดุหมักสัมผัสกับอากาศได้ง่ายขึ้น จะช่วยให้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์สามารถทำกิจกรรมได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ขนาดของวัสดุหมักที่ย่อยสลายยากควรมีขนาด 2.3-5.0 เซนติเมตร (ชาติ เจียมไชยศรี, 2542 อ้างโดย นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544) ขนาดของวัสดุหมักที่มีขนาดเล็กเมื่อนำมาผสมกับแหล่งไนโตรเจนจะช่วยให้สามารถคลุกเคล้าได้ง่าย แต่หากมีขนาดเล็ก หรือละเอียดจนเกินไป จะทำให้ออกซิเจนที่เติมเข้าไปในกระบวนการหมักไม่สามารถที่จะกระจายได้ทั่วทั้งกองปุ๋ย ส่งผลให้กระบวนการหมักปุ๋ยกลายสภาพเป็นกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ทำให้ส่งกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นจากกองปุ๋ย และในทางกลับกันหากขนาดของวัสดุหมักมีขนาดใหญ่จนเกินไปจะทำให้เกิดช่องว่าภายในกองปุ๋ย ทำให้กองปุ๋ยไม่สามารถที่จะรักษาความชื้นไว้ได้ทำให้กองปุ๋ยแห้ง ส่งผลต่อกระบวนการย่อยสลายของวัสดุหมัก (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544 อ้างโดย วธิดา คะนะแนม, 2552)

4.2.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักที่ได้ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20:1 จะถือว่าวัสดุที่ผ่านการหมักปุ๋ยเป็นปุ๋ยหมักที่มีความสมบูรณ์ (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533; วธิดา คะนะแนม, 2552) นอกจักนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนยังมีความสำคัญระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย กล่าวคือ วัสดุหมักที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก จะมีอัตราการย่อยสลายต่ำ เนื่องมาจากในกระบวนการหมักจุลินทรีย์จะย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอน และใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ทำงานช้าลง ดังนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน จึงเป็นตัวกำหนดอัตราการย่อยสลายของวัสดุหมัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในกระบวนการหมักปุ๋ยควรมีค่าเริ่มต้นที่ 30-50:1 (Thambirajah and Kuthutheen, 1989) แต่หากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่ำเกินไปจะทำให้ ไนโตรเจนเกิดการระเหยออกจากกองปุ๋ย แต่ในทางกลับกันหากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูงมาก ๆจะต้องทำการเติมสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของปุ๋ยเคมี หรือสารอินทรีย์ที่มีแหล่งไนโตรเจนประกอบอยู่เพื่อช่วยลดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำลง (Tiquia and Tam, 2000 อ้างโดย วธิดา คะนะแนม, 2552; Ruggieri *et al*., 2008)

การหมักปุ๋ยจากขยะชุมชน และการหมักปุ๋ยจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรต่าง ๆ พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการหมักปุ๋ย จะมีค่าเริ่มต้นที่ 20:1 ถึง 40:1 (Hamoda *et al*., 1998; Hoyos *et al*., 2002; Neklyudov *et al*., 2008)

4.2.3 ความชื้น

ความชื้นในกองปุ๋ยหมักเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เพราะความชื้นหรือน้ำในกองปุ๋ยมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จากการศึกษาของ Homoda และคณะ (1998) พบว่าความชื้นที่เหมาะสมที่สุดในกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยคือ 60 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาของ Liang และคณะ (2003) พบว่าความชื้นในกองปุ๋ยหมักช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์ ทำให้กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์สูงกว่ากองปุ๋ยหมักที่มีความชื้น 30-40 เปอร์เซ็นต์ แต่ในทางกลับกันหากความชื้นในกองปุ๋ยมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นภายในกองปุ๋ยหมัก เนื่องจากออกซิเจนไม่สามารถที่จะกระจายเข้ากองปุ๋ยได้อย่าง

ทั่วถึงทำให้กลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และปล่อยก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟล์ ออกมาทำให้เกิดกลิ่นเหม็น (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533)

จากการศึกษาความชื้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายวัสดุหมักในการผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวสาลี ทำการศึกษาที่ความชื้นเท่ากับ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการความคุมความชื้นให้คงที่ตลอดระยะเวลาในการหมัก พบว่า ที่ระดับความความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ มีความเหมาะสมต่อกระบวนการหมักปุ๋ยมากที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับการหมักปุ๋ยที่ระดับความชื้น 40 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิที่สูงในกองปุ๋ยหมักบ่งบอกถึงกิจกรรมการย่อยสลายวัสดุหมัก ทำให้การย่อยสลายวัสดุหมักอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ชุดการทดลองที่มีความชื้นเท่ากับ 60 และ 70เปอร์เซ็นต์ มีอุณหภูมิในการหมักต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส บ่งบอกถึงการย่อยสลายของวัสดุหมักช้ากว่าชุดการทดลองที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส (Nelson *et al*., 2006)

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร ร่วมกับวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร ได้แก่ผักตบชวา และเศษฟางข้าว ควบคุมความชื้นระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของวัสดุหมักลดลง ตามระยะเวลาในการหมัก ในวันที่ 90 หลังการหมัก วัสดุหมักมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ระหว่าง 30.5-31.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และพบอีกว่าปริมาณไนโตรเจนสะสมในกองปุ๋ยหมัก เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก ส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงต่ำกว่า 20:1 และชุดการทดลองที่หมักร่วมกับผักตบชวา มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547) ดังนั้น การผลิตปุ๋ยหมักควรควบคุมความชื้นระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์

4.2.4 ออกซิเจน

ออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักจะมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ เพราะจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในระบบหายใจ และจุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์ออกมาเพื่อทำการย่อยสลายวัสดุหมัก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักให้เพียงพอ เพื่อใช้ในการเจริญเติมโตของจุลินทรีย์ และการย่อยสลายของวัสดุหมัก และยังช่วยเป็นการถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซน์ที่เกิดขึ้นออกจากกองปุ๋ยหมัก (Shi *et al*., 1999; Diaz *et al*., 2002 อ้างโดย วธิดา คะนะแนม, 2552) โดยปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงระหว่าง 18-20 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรกองปุ๋ยหมัก ทำให้สามารถปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากกอง

ปุ๋ยได้ดีที่สุด (Suler and Finstein, 1997) และในทางกลับกันหากปริมาณออกซิเจนมีมากจนเกินไปจะทำให้มวลของปุ๋ยหมักลดลง และบางครั้งอาจทำให้กองปุ๋ยหมักแห้ง ส่งผลต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ได้ (Larney and Hao, 2007)

จากการศึกษาอัตราการไหลของอากาศที่ 0.4, 0.6 และ 0.9 ลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก พบว่าที่ระดับการไหลของอากาศ 0.6 ลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมวัสดุหมักเหมาะสมสำหรับใช้ในการหมักปุ๋ยมากที่สุด ภายในกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็ว รองลงมาที่ระดับการไหลของอากาศ 0.9 และ 0.4 ลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก เนื่องจากจุลินทรีย์มีการใช้แหล่งคาร์บอนของชุดการทดลองที่มีอัตราการไหลของอากาศ เท่ากับ 0.6 ลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมวัสดุหมักมากที่สุด (Rasapoor *et al*., 2009)

4.2.5 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในช่วง 40-70 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ส่งผลให้จุลินทรีย์บางชนิดไม่สามารถดำรงอยู่ได้ และหยุดการเจริญเติบโต ทำให้การย่อยสลายวัสดุหมักช้าลง (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533)

เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 65 องศาเซลเซียส จะทำให้กลุ่มจุลินทรีย์บางกลุ่มหายไปจากกองปุ๋ย ส่งผลให้ความชื้นภายในกองปุ๋ยลดลงอย่างรวดเร็ว มีผลกระทบต่อกระบวนการย่อยสลายวัสดุหมัก จึงจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิในกองปุ๋ยไม่ให้เกิน 65 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยในการรักษาจุลินทรีย์ไว้ในกองปุ๋ยหมัก และสามารถควบคุมความชื้นในกองปุ๋ยหมักได้ (Hassen *et al*., 2001)

อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะเพิ่มขึ้นในช่วง 2-5 วันแรกหลังจากการหมักปุ๋ย โดยอุณหภูมิในกองปุ๋ยอาจเพิ่มขึ้นถึง 60-70 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจะพบจุลินทรีย์จำพวกเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ เพราะจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง และเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยลดลงเหลือประมาณ 45-60 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์กลุ่มที่ชอบความร้อนปานกลางจะสามารถทำงานได้ดีโดยจะพบจุลินทรีย์จำพวก แบคทีเรียเป็นส่วนมาก จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายวัสดุหมักแทน (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2549) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย สามารถแบ่งระยะการเปลี่ยนแปลงเป็น 4 ระยะ ดังแสดงในภาพที่ 10 (Polprasert, 1989 อ้างโดย นิสากร ทัดแก้ว, 2555)

ระยะที่ 1 ระยะปรับตัว (Latent Phase)

ระยะปรับตัวเป็นระยะแรกที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักปุ๋ย มีช่วงระยะเวลาสั้นๆ ระหว่างจุลินทรีย์เตรียมความพร้อมสำหรับการแบ่งเซลล์ และเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ ซึ่งอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก

ระยะที่ 2 ระยะเมโซฟิลิก (Mesophilic Phase)

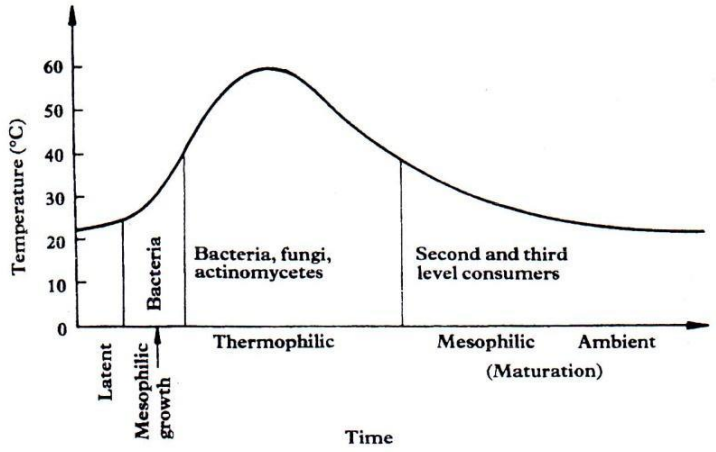
ระยะเมโซฟิลิก จุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว อินทรียวัตถุเริ่มถูกใช้ไปในกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ทำให้อินทรียวัตถุเริ่มลดลง และผลจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ส่งผลให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 25-40 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายวัสดุหมักในช่วงนี้ คือ Mesophilic Microorganism

ระยะที่ 3 ระยะเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic Phase)

ระยะเทอร์โมฟิลิก จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายวัสดุหมัก คือ Thermophilic Microorganism) ย่อยสลายอินทรียวัตถุอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาณ อินทรีย์คาร์บอนถูกใช้ไปในกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และเกิดการสูญเสียอินรีย์คาร์บอน ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองปุ๋ยลดลงอย่างรวดเร็ว และในทางกลับกัน ปริมาณไนโตรเจนภายในกองปุ๋ยหมักถูกใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า จึงส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนสะสมในกองปุ๋ยหมักสูง ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในช่วงนี้ลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 50-65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3-4 วัน ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ยังช่วยทำลายเมล็ดวัชพืช ตัวอ่อนแมลงวัน และเชื้อโรคบางชนิดได้

ระยะที่ 4 ระยะได้ที่ (Maturation Phase)

ระยะได้ที่ เป็นระยะที่อุณหภูมิลดลงจากระยะเทอร์โมฟิลิก เป็นระยะเมโซฟิลิกอีกครั้ง ส่งผลให้จุลินทรีย์ในกลุ่ม Metrophilic Microorganism กลับมามีบทบาทในการย่อยสลายวัสดุหมักอีกครั้ง โดยทำการย่อยสลายวัสดุหมักที่มีโครงสร้างซับซ้อน ให้กลายเป็นสารประกอบที่มีลักษณะคงตัว หรือสารฮิวมิก จากกระบวนการฮิวมิฟิเคชั่น (Humification) และก่อให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ที่เปลี่ยนแปลงแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท จากนั้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก ลดลงเทียบเท่ากับอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ยหมัก แสดงว่ากระบวนการหมักปุ๋ยเสร็จสมบูรณ์



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย

ที่มา: Polprasert (1989) อ้างโดย นิสากร ทัดแก้ว (2555)

4.2.6 พีเอช

ในกระบวนการหมักปุ๋ยโดยใช้จุลินทรีย์ จะมีจุลินทรีย์ 3 ชนิดร่วมกันทำงาน ซึ่งแต่ละชนิดนั้นจะเจริญเติบโตในสภาวะพีเอชที่แตกต่างกัน จุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 6.0-8.0 แต่จุลินทรีย์จำพวกแอคติโนมัยซิส และเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 4.0-6.0 ซึ่งมีสภาพค่อนข้างเป็นกรด พีเอชที่เหมาะสมที่สุดในกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในช่วงระหว่าง 5.0-7.5 (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533) หากพีเอชในกองปุ๋ยหมักลดลงมีผลมาจากปริมาณออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักไม่เพียงพอทำให้เกิดกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้เกิดกรดอินทรีย์ แต่ในทางกลับหาก พีเอชสูงเกินไป เกิดจากแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก มีสมบัติที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ จะเห็นได้ว่าพีเอชสูง หรือต่ำเกินไป ส่งผลให้กระบวนการหมักเกิดความล่าช้า แต่โดยทั่วไปการหมักปุ๋ยไม่จำเป็นที่จะต้องปรับพีเอช เพราะพีเอชขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุหมัก และถูกปรับให้มีสภาพเป็นกลางโดยอัตโนมัติระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย โดยทั่วไป พีเอชไม่ใช่เป็นตัวควบคุมในกระบวนการหมัก แต่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการหมัก (นิสากร ทัดแก้ว, 2555)

5 ความสำคัญและประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักนอกเหนือจากการมีธาตุอาหารหลักแล้ว ปุ๋ยหมักยังช่วยในการปรับสภาพดินให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช หากดินมีสภาพเป็นเนื้อละเอียดเช่น ดินเหนียว ปุ๋ยหมักจะช่วยให้เนื้อดินมีลักษณะที่ร่วนซุยมากขึ้น ช่วยให้การระบายน้ำและอากาศดียิ่งขึ้น และยังช่วยในการดูดซับน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้อีกด้วย หากกล่าวโดยรวมแล้วปุ๋ยหมักจะช่วยทำให้สมบัติต่างๆของดินดีขึ้นทั้งสมบัติทางด้านกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางชีวภาพของดินดังนี้ (ธงชัย มาลา, 2546 อ้างโดย บัญชา รัตนีทู, 2552)

5.1 สมบัติทางกายภาพ

5.1.1 ส่งเสริมการเกิดเม็ดดิน (Soil Aggregation) ซึ่งหากปุ๋ยหมักที่เติมลงในดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดีขึ้น ฮิวมัสในปุ๋ยหมักจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีประจุลบ ซึ่งจะช่วยยึดธาตุอาหาร และมีผลให้อนุภาคของดินเกาะตัวกัน และสารเมือกที่ปลดปล่อยจากแบคทีเรียจะช่วยส่งเสริมให้เกิดเม็ดดิน

5.1.2 ปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น และลดความหนาแน่นของดินลง ทำให้การระบายอากาศของดินดีขึ้น ระบบรากของพืชสามารถแพร่กระจายในดินได้อย่างกว้างขวาง ส่งผลให้การดูดซับธาตุอาหารต่างๆของพืชดีขึ้น ตลอดจนง่ายต่อการไถพรวนดิน และลดการเกิดชั้นดานแข็งของดินได้อีกด้วย

5.1.3 ส่งเสริมให้เกิดความพรุนของผิวหน้าดิน ไม่เกิดสภาพผิวดินแข็ง ทำให้ความสามารถในการซึมผ่านน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น ส่งผลให้ดินสามารถเก็บความชุ่มชื้นได้ยาวนานกว่าดินที่มีสภาพไม่ดี และยังช่วยลดการกัดกร่อนของหน้าดินได้อีกด้วย

5.2 สมบัติทางเคมีของดิน

5.2.1 การใส่ปุ๋ยหมักเป็นการเพิ่มธาตุอาหารหลักให้แก่ดินโดยตรง ถึงแม้ว่าปริมาณธาตุอาหารหลักจะน้อยกว่าปุ๋ยเคมี แต่การใส่ปุ๋ยหมักจะส่งผลดีในระยะยาวต่อพืช อีกทั้งยังมีธาตุอาหารรองที่จำเป็นแก่พืช รวมถึงธาตุอาหารเสริมที่สำคัญ เช่น เหล็ก ทองแดง สังกะสี โบรอน และธาตุอื่นที่จำเป็นแก่พืช

5.2.2 สามารถเพิ่มความจุในการเปลี่ยนแคตไอออนของดิน ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุที่มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยน แคตไอออนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียวจะสูงกว่า 5-10 เท่า จึงช่วยให้ปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูป แคตไอออนถูกยึดเอาไว้ไม่เกิดการสูญเสีย จึงเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยเคมี

5.2.3 ช่วยลดความเป็นพิษในกรณีที่มีธาตุอาหารบางชนิดมากเกินไป เช่น การใช้ปุ๋ยหมักในดินที่มีสภาพเป็นกรด จะช่วยให้สามารถดูดซับอลูมินัม และแมงกานีส จะช่วยลดความเป็นพิษของดินได้ แต่การใช้ปูนขาวร่วมกับปุ๋ยหมักจะช่วยให้สามารถดูดซับอลูมินัมและแมงกานีสได้ดีที่สุด

5.2.4 การใช้ปุ๋ยหมักยังช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดด่างของดินได้ดี (Buffer Capacity) ทำให้การเปลี่ยนแปลงไม่รวดเร็วซึ่งหากการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดด่างเร็วเกินไปจะก่อให้เกิดอันตรายแก่พืชได้

5.3 สมบัติทางชีวภาพของดิน

5.3.1 การใส่ปุ๋ยหมักลงในดินเป็นการช่วยเพิ่มอาหารให้แก่จุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ทำให้จุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น และพบว่ากิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินจะทำให้เกิดประโยชน์แก่พืชมากขึ้น เช่นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดิน รวมทั้งกิจกรรมของพวกเชื้อราไมคอร์ไรซาบริเวณรากพืชอีกด้วย

5.3.2 การใส่ปุ๋ยหมักช่วยยับยั้งการเจริญเติบโต และความสามารถในการก่อให้เกิดโรคบางชนิดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่อยู่ใกล้รากของพืช ปุ๋ยหมักที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ *Trichorderma sp.* ทำให้เชื้อโรคบางชนิดในดินลดลง ส่งผลให้พืชเกิดโรคน้อยลง

5.3.3 การใส่ปุ๋ยหมักมีผลต่อการควบคุมปริมาณไส้เดือนฝอยในดิน จุลินทรีย์ที่เป็น ศัตรูไส้เดือนฝอยสามารถเจริญเติบโตได้ดี รวมทั้งขับสารจำพวก อัลคาลอยด์ และกรดไขมันบางชนิดที่เป็นพิษต่อไส้เดือนฝอย ทำให้จำนวนประชากรของไส้เดือนฝอยลดลง

6 สารเร่งในกระบวนการหมักปุ๋ย

6.1 ปุ๋ยเคมี

การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มแหล่งไนโตรเจนให้แก่จุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีไปใช้งานได้ทันที โดยทั่วไปจะใช้ปุ๋ยเคมีที่มีค่าไนโตรเจนสูง ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟต 20 กิโลกรัม ใช้คู่กับซุปเปอร์ฟอสเฟต 10 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต 10 กิโลกรัม สามารถใช้กับวัสดุหมักได้จำนวน 1 ตัน (หฤษฎี ภัทรดิลก, 2542 อ้างโดย วธิดา คะนะแนม, 2552)

6.2 ปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอก เป็นปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ ชนิดต่างๆเช่น โค กระบือ สุกร ม้า และสัตว์ชนิดอื่นๆ ในปุ๋ยคอกอาจมีการผสมเศษอาหารต่างๆเข้าไปด้วย ทำให้ในปุ๋ยคอกจะมีจุลินทรีย์ และสารอินทรีย์ต่างๆมากมายมีทั้งพวกที่เป็นฮิวมัสแล้ว และส่วนของอาหารที่ยังสลายตัวไม่หมดมีทั้งส่วนที่เป็นเซลลูโลส ลิกนิน และสารอินทรีย์อื่นๆอีกมากมาย (อาณัฐ ตันโช, 2549) ดังนั้นในการนำปุ๋ยคอกมาเป็นสารเร่งในการหมักปุ๋ยจะเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ให้แก่กองปุ๋ย และเป็นการเพิ่มแหล่งไนโตรเจนให้แก่จุลินทรีย์ที่อยู่ในกองปุ๋ยสามารถนำไนโตรเจนไปใช้ได้เช่นกัน เพราะในปุ๋ยคอกบางชนิดจะมีไนโตรเจนสูง อีกทั้งยังส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกองปุ๋ยหมักมีค่าที่เหมาะสม ทำให้วัสดุหมักเปลี่ยนสภาพกลายเป็นปุ๋ยได้เร็วขึ้น (หฤษฎี ภัทรดิลก, 2542)

6.3 กากตะกอนดีแคนเตอร์

กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นวัสดุเศษเหลืออีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เฉพาะโรงงานสกัดที่มีเครื่องแยกน้ำสลัดเป็น 3 สถานะ คือ น้ำเสีย น้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์ กากตะกอนดีแคนเตอร์มีค่าไนโตรเจนสูง หากนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักร่วมกับทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันหรือ วัสดุเศษเหลือทางการเกษตร จะช่วยให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกองปุ๋ยหมักเริ่มต้น อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดตรัง, 2556) การนำกากตะกอนดีแคนเตอร์มาหมักปุ๋ยร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมัน ในอัตราส่วน 1:1, 3:1, และ 5:1 โดยใช้หัวเชื้อ พด.1 ปรับความชื้นให้ได้ 50-70 เปอร์เซ็นต์ พบว่า

อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการหมักปุ๋ยคือ 1:1 ภายในระยะเวลาในการหมัก 40-45 วัน ทำให้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 18:1 และพบว่ายังมีธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 2.26, 0.86, และ 1.85 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภานุพงศ์ บางรักษ์, 2548)

6.4 หัวเชื้อจุลินทรีย์

6.4.1 สารเร่ง พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสูงในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักในช่วงเวลาอันสั้น ประกอบด้วยเชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีส ซึ่งมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูง ประกอบด้วยจุลินทรีย์ทั้งหมด 8 สายพันธุ์ แบคทีเรียจำนวน 2 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Bacillus sp.* แอคติโนมัยซีสจำนวน 2 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Streptomyces sp.* และเชื้อราจำนวน 4 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Scopulariopsis sp., Heliccomyces sp., Chaetomium sp.,* และ *Trichoderma sp.* โดยสารเร่ง พด.1 จำนวน 2 ซองที่มีขนาด 100 กรัม จะมีปริมาณจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสไม่ต่ำกว่า 10^{10} เซลล์ และสามารถผลิตปุ๋ยหมักได้จำนวน 1 ตัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546)

คุณสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1

- เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อย่อยสลายเซลลูโลสที่เป็นองค์กระกอบหลักในเศษพืชได้ดี สามารถเจริญเติมดีได้ดีในดินที่มีอินทรียวัตถุสูง โดยจะใช้อินทรียวัตถุเป็นอาหาร รวมทั้งยังมีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ดีในดินทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นพิษต่อพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้
- เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการแสง อากาศ และสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส
- เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์

6.4.2 สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร และวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อผลิตปุ๋ยหมักได้อย่างรวดเร็วและมีคุณภาพสูงขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546) สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 จะสามารถย่อยสลายได้ทั้งเซลลูโลสและไขมัน โดยจะมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่

สามารถย่อยสลายเซลลูโล ได้ 6 ชนิด และย่อยสลายไขมัน 2 ชนิด (สุภาวดี บุญธรรม, 2550 อ้างโดย วธิดา คะนะแนม, 2552)

จุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส จะประกอบด้วยแอคติโนมัยซีส 2 สายพันธุ์ มีปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่ต่ำกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัม และมีเชื้อรา 4 สายพันธุ์ มีปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่ต่ำกว่า 10^5 เซลล์ต่อกรัม

จุลินทรีย์ย่อยสลายไขมัน จะประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 สายพันธ์ มีปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่ต่ำกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัม

คุณสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์ในการเร่งซุปเปอร์ พด.1

- มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารประกอบเซลลูโลสที่ย่อยสลายยาก
- สามารถย่อยสลายน้ำมันและไขมันในวัสดุหมักได้
- ผลิตปุ๋ยหมักได้ในระยะรวดเร็วและมีคุณภาพ
- เป็นจุลินทรีย์ที่ทนต่ออุณหภูมิสูง
- เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสปอร์เองได้ จึงสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน
- มีความสามารถในการย่อยวัสดุหมักได้หลากหลาย ครอบคลุมมากขึ้น

7 ชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักปุ๋ย

กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในกระบวนการหมักปุ๋ย จะประกอบด้วย เชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซิส ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ซึ่งบทบาทและหน้าที่ในการย่อยสลายของจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มมีดังนี้

7.1 เชื้อรา (Fungi)

ในกองปุ๋ยหมักจะพบเชื้อราเสมอ แต่ชนิดและปริมาณของเชื้อราที่พบจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก รวมทั้งความชื้นและอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งหากความชื้นและอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา ดังนั้นเชื้อราจะพบมากในช่วงระยะเริ่มต้นของการหมักปุ๋ย และจะพบเชื้อราบริเวณรอบนอกของกองปุ๋ยหมัก เพราะมีความชื้นและอุณหภูมิที่ต่ำกว่าภายในกองปุ๋ย จนกว่าอุณหภูมิของกองปุ๋ยเพิ่มขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบเชื้อรา แต่ถ้าอยู่ในสภาพที่แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เชื้อรายังสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ (อานัฐ ตันโช, 2549)

เชื้อราจะย่อยสลายเศษวัสดุในกองปุ๋ยให้มีขนาดที่เล็กลง ในระยะแรกจะพบเชื้อราจำพวก *Geotrichum candidium* และ *Aspergillus fumigates* ซึ่งเป็นกลุ่มเชื้อราที่พบในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิภายกองปุ๋ยอยู่ในช่วงระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส มักจะพบเชื้อราจำพวก *Cladosporium sp., Aspergillus sp.* และ *Mucor sp.* และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส จะพบเชื้อราพวก *Penicillium duponti* แต่ทั้งนี้ชนิดเชื้อราที่พบอาจมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ สภาพแวดล้อมและชนิดของวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก (สมศักดิ์ วังใน, 2541; อานัฐ ตันโช, 2549)

7.2 แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรีย เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่พบมาที่สุดในกองปุ๋ยหมัก ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ของจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในกองปุ๋ยหมัก แบคทีเรียมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลาย และเกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมัก ในระยะแรกที่เริ่มทำการหมักปุ๋ยอุณหภูมิในกองปุ๋ยยังไม่สูงมากนัก จะพบแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus sp. Pseudomonas sp., Cellulomonas sp., Flavobacterium sp., Micrococcus sp.* และ *Achromobacter sp.* เป็นส่วนใหญ่ ระยะต่อมาของ

การหมักปุ๋ยอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีจะเป็นพวก *Bacillus subtilis* และ *Bacillus stearothermophilus* และหากบางครั้งระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนมีค่า 65-75 องศาเซลเซียส จะมีกลุ่มแบคทีเรียที่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ ซึ่งได้แก่ *Thermus sp.* ที่สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 70 องศาเซลเซียส และ *Bacillus sp.* ที่สามารถสร้างสปอร์เองได้ และยังมีแบคทีเรียอีกกลุ่มที่สามารถสร้างสปอร์ได้เช่นกัน คือ *Clostridium sp.* ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (สมศักดิ์ วังใน, 2541; อานัฐ ตันโช, 2549)

7.3 แอคติโนมัยซิส (Actinomycetes)

แอคติโนมัยซิส จะเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรียสาร เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ไคติน และโปรตีน ที่อยู่ในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจะสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 65-70 องศาเซลเซียส แต่หากอุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส มักจะไม่พบจุลินทรีย์แอคติโนมัยซิส กลุ่มที่พบได้แก่ *Thermoactinomyces sp.* และ *Thermomonospora sp.* ซึ่งเป็นพวกที่สามารถสร้างเอ็นไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ (อานัฐ ตันโช, 2549) และบางครั้งอาจพบแอคติโนมัยซิสพวก *Streptomyces sp.* และ *Micropolyspora sp.* ในกองปุ๋ยได้เช่นกัน (สมศักดิ์ วังใน, 2541; อานัฐ ตันโช, 2549)

8 หลักการพิจารณากองปุ๋ยที่สมบูรณ์

ภายหลังจากการย่อยสลายวัสดุหมัก วัสดุหมักจะถูกย่อยสลายให้เปลี่ยนสภาพไป อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะค่อยๆลดลง วัสดุหมักจะเกิดการเน่าเปื่อย มีขนาดที่เล็กลง และมีสีคล้ำ และในที่สุดกองปุ๋ยก็จะมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิภายนอก ปุ๋ยหมักที่ได้จะมีสีคล้ำ มีความร่วน และมีกลิ่นคล้ายกลิ่นดินตามธรรมชาติ หลักในการพิจารณากองปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์สามารถพิจารณาได้จาก (อาณัฐ ตันโช, 2549)

- สีของปุ๋ยหมัก จะมีสีที่เข้มคือจะมีสีน้ำตาลหรือดำ
- ลักษณะของเนื้อปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะมีเนื้อร่วนเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถบีบให้ยุ่ยออกจากกันได้ง่าย
- กลิ่น ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ จะไม่มีกลิ่น หรือหากมีกลิ่นก็จะเป็นกลิ่นที่คล้ายดินธรรมชาติ
- ความร้อนในกองปุ๋ย ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะมีอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยเท่ากับหรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ยมากที่สุด
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20:1

9 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

กรมวิชาการเกษตรได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2551 เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการทำปุ๋ยอินทรีย์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2551

คุณสมบัติ	เกณฑ์กำหนด
ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน35เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ไม่มี
ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter; OM)	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
ความเป็นกรดด่าง (pH)	5.5-8.5
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	ไม่เกิน 20:1
ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC)	ไม่เกิด 6 เดซิซีเมน/เมตร
ปริมาณธาตุอาหารหลัก	
■ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N)	ไม่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
■ ฟอสฟอรัส (total P_2O_5)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
■ โพแทสเซียม (total K_2O)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ตางรางที่ 2 (ต่อ)

คุณสมบัติ	เกณฑ์กำหนด
ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ปรอท (Mercury	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
คุณสมบัติ	เกณฑ์กำหนด
ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิตเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ไม่มี
ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter; OM)	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
ความเป็นกรดด่าง (pH)	5.5-8.5

คำถามวิจัย

1. ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านกระบวนการหีบจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์หรือไม่
2. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เป็นอย่างไร

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ และสภาวะที่เหมาะสม ในการหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์
2. เพื่อทดสอบ ปุ๋ยหมักที่ได้จากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ โดยการปลูกพืช เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักทั่วไป และปุ๋ยเคมี
3. เพื่อศึกษาต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบกับกากตะกอนดีแคนเตอร์
2. โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่นำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์มาผลิตปุ๋ยหมัก สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยมาประยุกต์ใช้กับโรงงาน รวมทั้งเป็นข้อมูลสำหรับสนับสนุนการเพิ่มกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ
3. ทราบถึงต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีทั่วไป

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินการวิจัย

1 วัสดุ อุปกรณ์

1.1 วัสดุหมัก

1.1.1 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่หีบ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัดเลขที่ 99 หมู่ 3 ถนนเพชรเกษม ตำบลกะลาเส อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง และนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาตัดเป็นชิ้นขนาด 5-10 เซนติเมตร ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ ดังแสดงในภาพที่ 11 และ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ ดังแสดงในภาพที่ 12

ภาพที่ 11 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ

ภาพที่ 12 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ

1.1.2 กากตะกอนดีแคนเตอร์ ได้รับความอนุเคราะห์จากจากบริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัดเลขที่ 99 หมู่ 3 ถนนเพชรเกษม ตำบลกะลาเส อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง กากตะกอนดีเคนเตอร์สด นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 13

ภาพที่ 13 กากตะกอนดีแคนเตอร์

1.2 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ในกระบวนการหมักปุ๋ยใช้จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.1 ย่อยสลายวัสดุหมัก เนื่องจากจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร และวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร นอกจากนั้นจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.1 ยังมีคุณสมบัติพิเศษอีกหลายอย่างได้แก่ มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของวัสดุหมัก สามารถย่อยสลายน้ำมันและไขมันที่ผสมในวัสดุหมักได้ สามารถทนอุณหภูมิได้สูง และสามารถสร้างสปอร์เองได้จึงสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน สำหรับวัสดุหมักที่มีขนาด 1,000 กิโลกรัม จะใช้จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.1 จำนวน 100 กรัม ผสมกับน้ำจำนวน 20 ลิตร ทิ้งไว้นาน 10-15 นาที เพื่อกระตุ้นให้จุลินทรีย์ออกจากสภาวะที่เป็นสปอร์ และพร้อมที่จะเกิดกิจกรรมการย่อยสลายวัสดุหมัก แล้วนำจุลินทรีย์ไปรดให้ทั่วทั้งกองปุ๋ยประมาณ 2-3 ชั้น ขึ้นอยู่กับขนาดกองปุ๋ย เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายวัสดุหมักได้ทั้งทั่วกอง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

เชื้อจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.1 ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดตรัง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.1 จะบรรจุในซองฟอล์ยเคลือบพลาสติกชนิดหนา และปิดผนึกสนิท

1.3 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุหมัก สภาวะทางชีวเคมีของกองปุ๋ย และคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้ เป็น Analytical Grade

1.4 อุปกรณ์สำหรับทำปุ๋ยหมัก

1) โรงเรือนที่มีหลังคาเพื่อป้องกันน้ำฝน
2) ร่องหมักปุ๋ย
3) ระบบให้อากาศกับกองปุ๋ย
4) ถังผสมเชื้อจุลินทรีย์
5) บัวรดน้ำ

1.5 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก

1) ถุงพลาสติก
2) ถาดอลูมิเนียม
3) ตาชั่งขนาด 1,000 กรัม
4) ถุงมือ

1.6 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย

1) เครื่องวัดอุณหภูมิ
2) ตู้อบ
3) พีเอช มิเตอร์
4) เทอร์โมมิเตอร์
5) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
6) ไมโครเวฟ
7) Soxhlet Extractor
8) Round Bottom Flask 250 ml
9) Extraction Thimble 30 x 100 ml

10) Extraction Mantle Heater

11) Evaporating Dish

12) Beaker 50 ml

13) Desiccators

14) Hexane

15) สำลี

2 สถานที่ศึกษาวิจัย

ได้รับความอนุเคราะห์สถานที่ศึกษาวิจัย จากบริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์จำกัด เลขที่ 99 หมู่ 3 ถนนเพชรเกษม ตำบลกะลาเส อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง

3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุหมัก

การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุหมัก (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่หีบ และกากตะกอนดีแคนเตอร์) เพื่อใช้กำหนดสัดส่วนในการผสมวัสดุหมัก จากค่า C/N Ratio และใช้เป็นข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบลักษณะสมบัติวัสดุหมัก ก่อนและหลังจากผ่านกระบวนการหมักปุ๋ย พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย ความชื้น พีเอชอินทรีย์คาร์บอน อินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมักเพื่อใช้หาปริมาณน้ำมันปาล์ม ที่สามารถนำกลับเข้ากระบวนการเมื่อหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของวัสดุหมัก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ และวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุหมัก

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ความชื้น(%)	Gravimetric Method (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
พีเอช	1/10 (Sample/Water Extract), pH Meter (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
อินทรีย์คาร์บอน (%)	ประยุกต์วิธี Walkley and Black (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
อินทรียวัตถุ (%)	ประยุกต์วิธี Walkley and Black (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	Kjeldahl Method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)
ฟอสฟอรัส (%)	ประยุกต์วิธี Spectrophotometric Molybdovanadophosphate Method (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
โพแทสเซียม (%)	Atomic Absorption Spectrophotometer (AOAC, 1990)
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน/เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
น้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก (%)	การวิเคราะห์หาค่าน้ำมันที่สูญเสียจากกระบวนการผลิต (Work Instruction) (AOCS Official Method Ba 3-38) (บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด)

3.1.1. การเตรียมตัวอย่างวัสดุหมักเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบในวัสดุหมัก

ก. ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ

เก็บตัวอย่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่มีความสมบูรณ์ นำทะลายที่ได้มาสับให้มีขนาด 5-10 เซนติเมตร จำนวน 4 กิโลกรัม หลังจากนั้นคลุกเคล้าทะลายให้เข้ากัน แล้วแยกออกเป็น 4 ส่วน เลือก 2 ส่วนที่อยู่ตรงกันข้ามกันให้ได้ทะลายจำนวน 2 กิโลกรัม หลังจากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วแยกออกเป็น 4 ส่วน เลือก 2 ส่วนที่อยู่ตรงกันข้ามกันให้ได้จำนวน 1 กิโลกรัมเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก และ 2 ส่วนที่เหลือจำนวน 1 กิโลกรัมที่อยู่ตรงกันข้ามกันทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุหมัก การเตรียมตัวอย่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ ดังแสดงในภาพที่ 14

ภาพที่ 14 การเตรียมตัวอย่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ

ข. การเตรียมตัวอย่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ

เก็บตัวอย่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ นำมาสับให้มีขนาด 5-10 เซนติเมตร จำนวน 4 กิโลกรัม หลังจากนั้นคลุกเคล้าทะลายให้เข้ากัน แล้วแยกออกเป็น 4 ส่วน เลือก 2 ส่วนที่อยู่ตรงกันข้ามกันให้ได้ทะลายจำนวน 2 กิโลกรัม หลังจากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วแยกออกเป็น 4 ส่วน เลือก 2 ส่วนที่เหลือจำนวน 1 กิโลกรัม ที่อยู่ตรงกันข้ามกันทำ

การวิเคราะห์องค์ประกอบวัสดุหมักเบื้องต้น การเตรียมตัวอย่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ ดังแสดงในภาพที่ 15

ภาพที่ 15 การเตรียมตัวอย่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ

ค. การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนดีแคนเตอร์

เก็บตัวอย่างกากตะกอนดีแคนเตอร์ จำนวน 4 จุด จุดละ 1 กิโลกรัม จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วแยกออกเป็น 4 ส่วน เลือก 2 ส่วนที่อยู่ตรงกันข้ามกันให้ได้กากตะกอนดีแคนเตอร์จำนวน 2 กิโลกรัม หลังจากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วแยกออกเป็น 4 ส่วน เลือก 2 ส่วนที่อยู่ตรงกันข้ามกันจำนวน 1 กิโลกรัม ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุหมัก การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนดีแคนเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 16

ภาพที่ 16 การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนดีแคนเตอร์

3.1.2. การเตรียมตัวอย่างวัสดุหมักหลังจากกำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

เมื่อทราบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก ทั้ง 3 ชนิดแล้ว ทำการกำหนด ชุดการทดลองที่มีสัดส่วนการผสมวัสดุหมัก และวัสดุหมักร่วมแตกต่างกัน ทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง ดังต่อไปนี้

NP1 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่หีบ + กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 35:1)

NP2 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่หีบ + กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 40:1)

NP3 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่หีบ + กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 45:1)

EP1 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ + กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 35:1)

EP2 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ + กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 40:1)

EP3 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ + กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 45:1)

หลังจากนั้น ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุหมักก่อนเริ่มต้นทำการหมักปุ๋ย การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก แสดงในภาคผนวก ก.

3.2 การวางแผนการทดลอง

ในการศึกษาการหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่หีบกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomize Design: CRD) ประกอบด้วย 2 การทดลองคือ

การทดลองที่ 1 การหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ แบบใช้อากาศ ซึ่งประกอบด้วย 4 การทดลองๆละ 2 ซ้ำ เนื่องจากเป็นการทดลองระดับ Pilot Scale

CNP ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มปาล์มน้ำมันที่ไม่หีบ)

NP1 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่หีบ+กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 35:1)

NP2 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่หีบ+กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 40:1)

NP3 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่หีบ+กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 45:1)

การทดลองที่ 2 การหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ แบบใช้อากาศ ซึ่งประกอบด้วย 4 การทดลองๆละ 2 ซ้ำ

CEP ชุดควบคุม (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ)

EP1 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ + กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 35:1)

EP2 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ + กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 40:1)

EP3 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ + กากตะกอนดีแคนเตอร์ (กำหนด C/N Ratio 45:1)

การกำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักทั้ง 2 ชนิดใช้วิธีการของ (Tchobanoglous *et al*., 1993) การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ดังแสดงในภาคผนวก ก.

3.3 กระบวนการหมักปุ๋ย

3.3.1 การเตรียมวัสดุหมัก

นำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ ตัดย่อยด้วยเครื่องตัดย่อย ขนาด 7.5 กิโลวัตต์ สามารถสับย่อยทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันได้ ชั่วโมงละ 200 กิโลกรัม ลักษณะเครื่องย่อยทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในภาพที่ 17 เมื่อผ่านการย่อยทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีลักษณะที่ยุ่ยขึ้น ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ หลังผ่านการย่อย แสดงดังภาพที่ 18 และทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ หลังผ่านการย่อย ดังแสดงในภาพที่ 19 ส่วนกากตะกอนดีแคนเตอร์ นำมาร่อนผ่านตะแกรง ที่มีรูขนาด 0.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 20 ในการทดลองครั้งนี้ออกแบบการทดลองเป็น 2 ซ้ำ ปริมาณวัสดุหมักต่อการทดลอง 120 กิโลกรัม ปริมาณวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4

ภาพที่ 17 เครื่องย่อยทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ภาพที่ 18 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ หลังผ่านการย่อย

ภาพที่ 19 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ หลังผ่านการย่อย

ภาพที่ 20 กากตะกอนดีแคนเตอร์ หลังร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4 ปริมาณวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง

ชุดการทดลอง	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	กากตะกอนดีแคนเตอร์
	(กิโลกรัม)	(กิโลกรัม)
CNP1	120	0
CNP2	120	0
NP1-1	74.53	45.47
NP1-2	74.53	45.47
NP2-1	85.71	34.29
NP2-2	85.71	34.29
NP3-1	94.49	25.51
NP3-2	94.49	25.51
รวมชุดการทดลอง NP	**749.46**	**210.54**
CEP1	120	0
CEP2	120	0
EP1-1	82.76	37.24
EP1-2	82.76	37.24

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน	กากตะกอนดีแคนเตอร์
	(กิโลกรัม)	(กิโลกรัม)
EP2-1	94.49	25.51
EP2-2	94.49	25.51
EP3-1	103.45	16.55
EP3-2	103.45	16.55
รวมชุดการทดลอง EP	**801.4**	**158.6**

ดังนั้น ในการหมักปุ๋ย ต้องใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ จำนวน 749.46 กิโลกรัม ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ 801.4 กิโลกรัม และกากตะกอนดีแคนเตอร์ 369.14 กิโลกรัม หลังจากนั้นนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการตัดย่อยเรียบร้อยแล้วมาใส่ถุงขนาด ถุงละ 10 กิโลกรัม และกากตะกอนดีแคนเตอร์ นำมาใส่ถุงขนาด ถุงละ 5 กิโลกรัม เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน และการผสมระหว่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ในช่วงเริ่มต้นการหมัก ลักษณะทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเมื่อนำมาใส่ถุง ถุงละ 10 กิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 21 และกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อนำมาใส่ถุง ถุงละ 5 กิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 22 และวัสดุหมักส่วนที่ต้องเพิ่ม เพื่อให้ได้วัสดุหมักตามการคำนวณปริมาณวัสดุหมัก ทำการชั่งให้มีน้ำหนักตามสัดส่วนที่ต้องเพิ่มของแต่ละชุดการทดลอง เช่น ชุดการทดลอง EP1-1 ใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 82.76 กิโลกรัม กากตะกอนดีแคนเตอร์ 37.24 กิโลกรัม จะต้องใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ 8 ถุง ถุงละ 10 กิโลกรัม กับทะลายที่ต้องเพิ่มอีก 2.76 กิโลกรัม และกากตะกอนดีแคนเตอร์ 7 ถุง ถุงละ 5 กิโลกรัม กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ที่ต้องเพิ่มอีก 2.24 กิโลกรัม ทำให้ง่ายต่อการผสมระหว่าง วัสดุหมักทั้ง 2 ชนิด

ภาพที่ 21 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ถุงละ 10 กิโลกรัม

ภาพที่ 22 กากตะกอนดีแคนเตอร์ ถุงละ 5 กิโลกรัม

เมื่อเริ่มต้นการหมัก นำวัสดุหมักทั้ง 2 ชนิดมาคลุกเคล้าผสมกันในภาชนะพลาสติก เพื่อทำการคุลกเคล้า ผสมระหว่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์ ซึ่งในแต่ละชุดการทดลอง ทำการคลุกเคล้าวัสดุหมัก จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 60 กิโลกรัม ตามสัดส่วนของวัสดุหมักในแต่ละชุดการทดลอง ลักษณะการคลุกเคล้าวัสดุหมัก ดังแสดงในภาพที่ 23

ภาพที่ 23 การคลุกเคล้าวัสดุหมัก (ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์)

3.3.2 การเตรียมสารเร่ง (จุลินทรีย์ ซุปเปอร์ พด.1)

เมื่อคลุกเคล้าวัสดุหมักเรียบร้อยแล้ว ทำการเตรียมสารเร่ง หรือจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายวัสดุหมัก ในการทดลองใช้วัสดุหมัก จำนวน 120 กิโลกรัมต่อชุดการทดลอง มีจำนวน 12 ชุดการทดลอง ที่ทำการเติมสารเร่ง ดังนั้นปริมาณวัสดุหมักทั้งหมด 1,440 กิโลกรัม จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 1 ซอง มีน้ำหนักสุทธิ 100 กรัม ใช้สำหรับการผลิตปุ๋ยหมัก จำนวน 1 ตัน หรือ 1,000 กิโลกรัม ผสมกับน้ำ 20 ลิตร กวนผสมกับน้ำ 10 นาที หลังจากนั้นรดสารละลาย ลงในกองปุ๋ยหมัก (ข้อแนะนำการใช้สารเร่ง ซุปเปอร์ พด.1, กรมพัฒนาที่ดิน) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ วัสดุหมัก 1,440 กิโลกรัม ต้องใช้จุลินทรีย์จำนวน 144 กรัม ผสมกับน้ำ 28.8 ลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที รดให้แก่กองปุ๋ยหมัก ชุดการทดลองละ 2.4 ลิตร แบ่งการรดสารเร่งให้แก่กองปุ๋ยเป็น 2 ชั้น ชั้นละ 1.2 ลิตร เท่ากันทุกชุดการทดลอง จำนวน 12 ชุดการทดลอง

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักปุ๋ยจะประกอบไปด้วย เชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีส ระหว่างกระบวนการหมัก พบแบคทีเรียในกองปุ๋ยหมัก มากที่สุดประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ของจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในกองปุ๋ยหมัก แบคทีเรียจะมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายวัสดุหมัก และทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น แบคทีเรียจะพบได้ตลอดกระบวนการหมัก และยังคงพบได้ที่อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นจนถึง

70 องศาเซลเซียส ผลมาจากการหมักปุ๋ยควบคุมความชื้นระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทำให้ปริมาณแบคทีเรีย พบมากที่สุดในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย และเชื้อราจะพบภายในกองปุ๋ยหมักในช่วงแรกของการหมัก เมื่ออุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นจะพบเชื้อรา บริเวณรอบๆกองปุ๋ยหมัก ซึ่งบริเวณรอบๆกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิและความชื้น ต่ำกว่าภายในกองปุ๋ยหมัก จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา เชื้อราจะมีบทบาทในการย่อยสลายวัสดุหมักให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งมักจะพบเชื้อรามากที่สุดที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส และพบเชื้อรามากในช่วงเริ่มต้นของการหมัก ส่วนแอคติโนมัยซีส พบในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 65-75 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สูง เกิดขึ้นในระยะเวลา 3-7 วันหลังการหมักเท่านั้น ซึ่งแอคติโนมัยซีส มีบทบาทในการย่อยสลายอินทรีย์สาร ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักเฉพาะช่วงที่มีอุณหภูมิสูงเท่านั้น ดังนั้น แบคทีเรีย จะมีบทบาทมากที่สุดในกระบวนการหมักปุ๋ย เนื่องจากพบแบคทีเรีย ตลอดกระบวนการหมักปุ๋ย (อาณัฐ ตันโช, 2549)

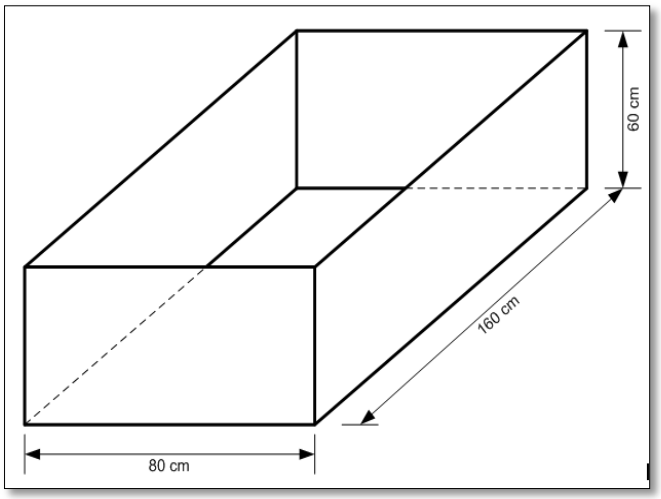
3.3.3 การเริ่มต้นการหมักปุ๋ย

เมื่อคลุกเคล้าวัสดุหมัก และเตรียมสารเร่ง (จุลินทรีย์ ซุปเปอร์ พด.1) เรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นนำวัสดุหมักใส่ในร่องหมักปุ๋ยจำนวน 2 ชั้น ชั้นละ 60 กิโลกรัม ปริมาณวัสดุหมัก ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมของวัสดุหมักของแต่ละชุดการทดลอง และทำการรดน้ำจุลินทรีย์ ซุปเปอร์ พด.1 บนกองปุ๋ย ชั้นละ 1.2 ลิตร จำนวน 2.4 ลิตร ต่อชุดการทดลอง ต่อวัสดุหมัก 120 กิโลกรัม ตามข้อแนะนำการใช้จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.1 ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยทำการรดน้ำจุลินทรีย์ให้ทั่วบริเวณกองปุ๋ยหมัก ซึ่งลักษณะการกองวัสดุหมักในร่องหมักปุ๋ยหมักในแต่ละชั้น ดังแสดงในภาพที่ 24 และลักษณะการกองปุ๋ยหมักอย่างสมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 25 ส่วนชุดควบคุม CNP และ CEP จะกองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ไม่ผ่านการหีบ และผ่านการหีบ ภายในร่องหมักปุ๋ย ไม่มีการรดน้ำ หรือเพิ่มจุลินทรีย์ให้แก่กองปุ๋ยหมัก เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับการย่อยสลายตามธรรมชาติ ลักษณะการกองปุ๋ยหมักของชุดควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 26 ทำการทดลองหมักปุ๋ยในร่องคอนกรีต มีขนาดความกว้าง 80 เซนติเมตร ยาว 160 เซนติเมตร และสูง 60 เซนติเมตร มีปริมาตรรวม 0.768 ลูกบาศก์เมตร ขนาดของร่องปุ๋ยหมักดังแสดงในภาพที่ 27 และทำการหมักปุ๋ยภายใต้โรงเรือนที่สามารถป้องกันแสงแดดและน้ำฝนได้ ลักษณะโรงเรือน ดังแสดงในภาพที่ 28

ภาพที่ 24 ลักษณะการกองวัสดุหมักในแต่ละชั้นเมื่อเริ่มต้นการหมัก

ภาพที่ 25 ลักษณะการกองปุ๋ยหมักอย่างสมบูรณ์เมื่อเริ่มต้นการหมัก

ภาพที่ 26 ลักษณะการกองวัสดุหมักของชุดควบคุม



ภาพที่ 27 ขนาดของร่องหมักปุ๋ย

ภาพที่ 28 โรงเรือนที่ใช้ในการหมักปุ๋ย

3.3.4 การให้อากาศแก่กองปุ๋ยหมัก

การเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมัก เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนภายในกองปุ๋ยหมัก เนื่องกิจกรรมการย่อยสลายวัสดุหมักของจุลินทรีย์ จะใช้ออกซิเจนในระบบหายใจ และจุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์ เพื่อทำการย่อยสลายวัสดุหมัก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องเพิ่มปริมาณอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมัก เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้มีความเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมัก และเป็นการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนได้ออกไซน์ที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักได้อีกด้วย (Diaz *et al*., 2002) ในการทดลองครั้งนี้ทำการออกแบบการเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมัก 2 วิธีด้วยการ คือ การเติมอากาศด้วยการพลิกกลับกองปุ๋ย และการเติมอากาศด้วยโดยใช้เครื่องอัดอากาศเข้าไปภายในกองปุ๋ยหมัก

ก) การเติมอากาศด้วยการพลิกกลับกองปุ๋ย

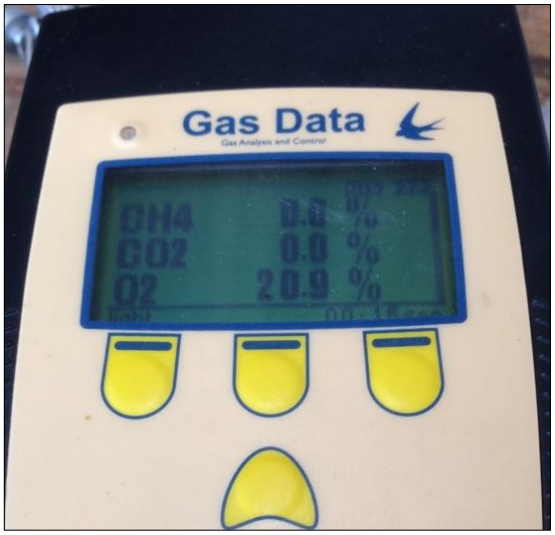
หลังจากเริ่มต้นการหมัก ทำการพลิกกลับกองปุ๋ยในวันที่ 7 หลังการหมัก โดยใช้พลั่ว ในการพลิกกลับกองปุ๋ยหมัก และหลังจากนั้น ทำการพลิกกลับกองปุ๋ย ทุกๆ 7 วัน ตลอดกระบวนการหมักปุ๋ย

ข) การเติมอากาศด้วยการใช้เครื่องอัดอากาศ

หลังจากการเติมอากาศด้วยการพลิกกลับกองปุ๋ย ทำการเติมอากาศด้วยการใช้เครื่องอัดอากาศเข้ากองปุ๋ย ในวันที่ 3 หลังจากการพลิกกลับกองปุ๋ยทุกครั้ง ตลอดกระบวนการหมัก ลักษณะเครื่องอัดอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 29 เครื่องอัดอากาศจะใช้มอเตอร์ ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ ต่อผ่านท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว เจาะรู 3 ด้าน คือด้านบน ด้านซ้าย และด้านขวา ทุกๆ 5 เซนติเมตร อัตราการอัดอากาศเท่ากับ 560 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือเท่ากับ 9.3 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือเท่ากับ 0.155 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ทำการอัดอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมัก ชุดการทดลองละ 1 ชั่วโมง ปริมาณอากาศที่ให้แก่กองปุ๋ย ต่อชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 560 ลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง มีสัดส่วนการเติมอากาศต่อวัสดุหมัดเท่ากับ 4.67 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก และในการเติมอากาศ ทำการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ผสมในอากาศ ด้วยเครื่องวัดก๊าซชีวภาพ เครื่องวัดก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 30 ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ผสมกับอากาศจะมีค่าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็นปริมาณออกซิเจนที่ให้แก่กองปุ๋ยในแต่ละครั้งเท่ากับ 112 ลูกบาศก์เมตรต่อชุดการทดลอง

มีสัดส่วนออกซิเจนต่อวัสดุหมักเท่ากับ 0.93 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544;ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2549)

ภาพที่ 29 เครื่องอัดอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 30 เครื่องวัดก๊าซชีวภาพ (ยี่ห้อ Gas Data รุ่น GFM Series)

3.4 การวิเคราะห์สภาวะกองปุ๋ยระหว่างกระบวนการหมัก

ระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบและดูอัตราการเปลี่ยนแปลงตลอดกระบวนการหมัก ซึ่งพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย ความชื้น พีเอช อินทรีย์คาร์บอน อินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และค่าน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก ซึ่งความถี่การตรวจวัด และวิธีที่ใช้ในการตรวจวัด ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์ ความถี่ที่วิเคราะห์ และวิธีวิเคราะห์ ระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย

พารามิเตอร์	ความถี่ที่วิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
ความชื้น	0, 3, 7, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60	Gravimetric Method (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
พีเอช	0, 3, 7, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60	1/10 (sample/water extract), pH meter (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
อินทรีย์คาร์บอน (%)	0, 7, 15, 30, และ 60	ประยุกต์วิธี Walkley and Black (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
อินทรียวัตถุ (%)	0, 7, 15, 30, และ 60	ประยุกต์วิธี Walkley and Black (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0, 7, 15, 30, และ 60	Kjeldahl Method (กรมพัฒนาที่ดิน , 2551)
ฟอสฟอรัส (%)	0 และ 60	ประยุกต์วิธี Spectrophotometric Molybdovanadophosphate Method (กรมวิชาการเกษตร, 2551)
โพแทสเซียม (%)	0 และ 60	Atomic absorption spectrophotometer (AOAC, 1990)
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	0,15, 30, 45, และ 60	เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน/เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ตารางที่ 5 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ความถี่ที่วิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
น้ำมันปาล์มที่ผสมใน วัสดุหมัก	0, 15, 30 และ 60	การวิเคราะห์หาค่าน้ำมันที่สูญเสียจากกระบวนการผลิต (Work Instruction) (AOCS Official Method Ba 3-38)

3.5 การตรวจติดตามวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้

ในการหมักปุ๋ยเพื่อใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพดิน และใช้ในการเพิ่มคุณค่าสารอาหารให้แก่พืช มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องควบคุมคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้ให้มีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรได้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับมาตรฐานปุ๋ยหมักเอาไว้เพื่อใช้เป็นค่าควบคุมการผลิตปุ๋ยหมัก ดังนั้นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตปุ๋ยหมักจึงจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้ว่ามีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ มาตรฐานของปุ๋ยหมัก เกณฑ์กำหนด และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 6 (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ตารางที่ 6 คุณสมบัติ เกณฑ์กำหนด และวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้

คุณสมบัติ	เกณฑ์กำหนด	วิธีวิเคราะห์
ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร	Dry Screen Analysis ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดรูเปิด 12.5x12.5 มิลลิเมตร
ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	Gravimetric Method
ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	ผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดรูเปิด 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 6 (ต่อ)

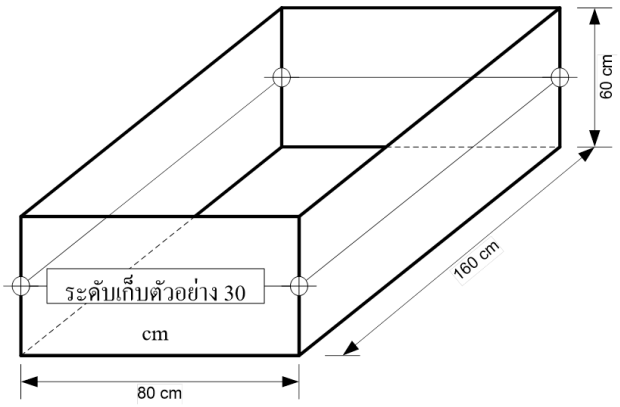
คุณสมบัติ	เกณฑ์กำหนด	วิธีวิเคราะห์
พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ไม่มี	วิธีตรวจพินิจ
ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter; OM)	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	ประยุกต์วิธี Walkley and Black
ความเป็นกรดด่าง (pH)	5.5-8.5	1/10 (Sample/Water Extract), pH Meter
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	ไม่เกิน 20:1	เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด
ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร	Conductivity Meter
ปริมาณธาตุอาหารหลัก		
■ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N)	ไม่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	Kjeldah Method
■ ฟอสฟอรัส (total P_2O_5)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	ประยุกต์ Spectrophotometric Molybdovanadophosphate Method
■ โพแทสเซียม (total K_2O)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	Flame Photometer Method
สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Hydride Vapor Generator และAtomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES
แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES

ตารางที่ 6 (ต่อ)

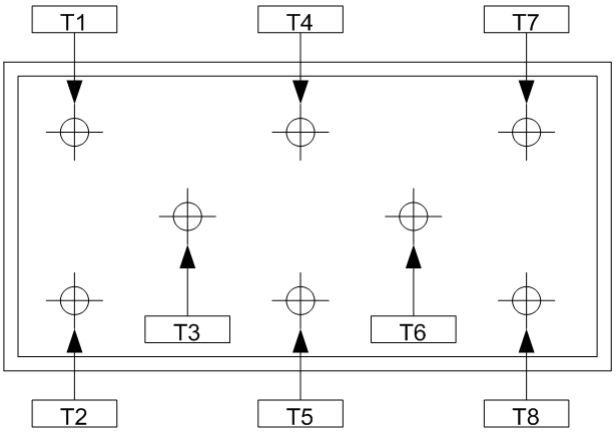
คุณสมบัติ	เกณฑ์กำหนด	วิธีวิเคราะห์
โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES
ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES
ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES
ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Cold Vapor Mercury Analyzer Flame Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ ICP-OES

3.6 การเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก

เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักจำนวน 8 จุดรอบกองปุ๋ย ที่ระดับความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร จำนวน 125 กรัมต่อจุด 1 กิโลกรัมต่อร่อง แล้วนำวัสดุหมักมาคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นแยกออกเป็น 4 ส่วน เลือก 2 ส่วนที่อยู่ตรงกันข้ามกัน นำมาคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้ง จากนั้นทำซ้ำอีกจนกระทั่งเหลือปริมาณตัวอย่างปุ๋ยหมัก 0.5 กิโลกรัม ส่งวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างปุ๋ยระหว่างกระบวนการหมัก ซึ่งระดับความลึกของการเก็บตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 31 และจุดเก็บตัวอย่างบนกองปุ๋ย ดังแสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 31 แสดงระดับความลึกของจุดเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 32 แสดงจุดเก็บตัวอย่างบนกองปุ๋ยหมัก

4 การทดสอบการปลูกพืช

4.1 การเตรียมดิน

การเตรียมดิน คือการทำให้ดินมีสภาพที่เหมาะแก่การปลูกพืช ทำให้ดินที่มีลักษณะแข็งแตกออก ช่วยรักษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ช่วยให้รากพืชสามารถแทรกเข้าไปในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยรักษาความชุ่มชื้นให้แก่ดิน ช่วยให้อากาศสามารถแทรกผ่านเข้าในดินได้อย่างสะดวก (สืบค้นจาก http:/www.thaikasetsart.com, วันที่สืบค้น 10 กรกฎาคม 2558) การเตรียมดินสำหรับการปลูกพืชในกระถาง มีหลายวิธีได้ เช่น

สูตร 1		
ดินร่วนธรรมดา	3	ส่วน
ปุ๋ยหมัก	1	ส่วน
ปุ๋ยคอก	1	ส่วน
สูตร 2		
ดินเหนียวตากแห้งกรอบเป็นผงหยาบ	2	ส่วน
ทรายหยาบ หรือทรายละเอียด	1	ส่วน
ปุ๋ยหมัก	1	ส่วน
ปุ๋ยคอก	1	ส่วน
สูตร 3		
ดินร่วน	1	ส่วน
ทรายก่อสร้าง	1	ส่วน
ปุ๋ยหมัก	1	ส่วน
ปุ๋ยคอก	1	ส่วน

การปลูกพืชผักในกระถาง ควรใช้อัตราส่วนของดินต่อปุ๋ยหมัก ในอัตราส่วน 3:1 คลุกเคล้าให้เข้ากัน รดน้ำใช้ชุ่ม ทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำดินที่ผสมกับปุ๋ยหมักเรียบร้อยแล้ว บรรจุลงพาชนะ หรือถุงพลาสติก สามารถปลูกพืชผัก หรือไม้ประดับได้ตามความต้องการ (บัญชา รัตนีทู, 2552) และในการเตรียมดินในการเพาะปลูก ควรใช้อัตราส่วนของดินต่อปุ๋ยคอกในอัตราส่วน 3:1 (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา, 2539) ดังนั้นในการทดสอบในการปลูกพืช ด้วยปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและกากตะกอนดีแคนเตอร์

จะประยุกต์อัตราส่วนระหว่างการเตรียมดินในการเพาะปลูกพืชในกระถาง ที่อัตราส่วน ดินต่อปุ๋ยหมัก 2:1 ซึ่งใช้ดินในการปลูกจำนวน จำนวน 800 กรัม ผสมกับปุ๋ยหมัก 400 กรัม เพื่อใช้ทดสอบในการปลูกพืช ส่วนการทดสอบการใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี จะใช้อัตราส่วนของดินต่อปุ๋ยหมัก 2:1 เช่นกัน หลังจากนั้นคำนวณปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ 400 กรัม เพื่อใช้ในการหาอัตราการใช้ปุ๋ยเคมี สูตรไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

4.2 พืชที่ใช้ในการปลูกทดสอบ

แตงกวา (*Cucusmis Sativus* L.) เป็นพืชตระกูลเดียวกันกับ แตงโม ฟักทอง บวบมะระ เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์แตง แตงกวามีลักษณะลำต้นเป็นเถา มุมลำต้นเป็นเหลี่ยม มีขนปกคลุมบริเวณลำต้น ข้อของลำต้นยาว 10-20 เซนติเมตร ก้านใบยาว 5-10 เซนติเมตร ลักษณะใบหยาบ มีขน และมีมุมใบประมาณ 3-5 มุม เป็นพืชที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ใช้เวลาเพียง 30-45 วัน สามารถเก็บเกี่ยวผลแตงกวา เพื่อการบริโภค หรือจำหน่ายได้ (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา, 2539) ดังนั้นในการทดสอบการปลูกพืช เพื่อศึกษาประสิทธิภาของปุ๋ยหมัก ควรเลือกใช้พืชที่มีการปลูกอย่างแพร่หลาย และมีระยะเวลาในการปลูกที่สั้น เจริญเติบโตเร็ว การทดสอบปุ๋ยด้วยการปลูกพืชครั้งนี้ ทำการทดสอบปลูกแตงกวา เนื่องจากแตงกวาสามารถที่จะมีใบจริง ในช่วงวันที่ 7 หลังจากการปลูก และมีระยะเวลาในการให้ผลผลิต 30-45 วัน จึงสามารถเห็นผลการเจริญเติมโตได้อย่างรวดเร็ว จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาทดสอบ ประสิทธิภาพของปุ๋ยได้ในระยะเวลาอันสั้น

4.3 การวางแผนการทดสอบการปลูกแตงกวา

ในการทดสอบการปลูกแตงกวา แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง โดยการทดลองที่ 1 ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน(ECC) กับปุ๋ยหมักทั่วไป (PPC) กำหนดปริมาณน้ำหนักของปุ๋ยหมักที่เท่ากัน และการทดลองที่ 2 ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (ECF) กับปุ๋ยเคมี (FER) กำหนดธาตุอาหารหลักที่เท่ากัน (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ทั้ง 2 การทดลองจะทำการปลูก ในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ซึ่งจะทำการปลูกจำนวน 12 กระถาง กระถางละ 3 ต้น รดน้ำวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 0.5 ลิตรต่อกระถาง และทำการถอนต้นแตงกวา เพื่อบันทึกการเจริญเติบโตในวันที่ 7, 9, 11, 13, 15, 17,

19, 21, 23, 25, 27 และ วันที่ 29 หลังการปลูก เพื่อบันทึกความยาวลำต้น ความยากราก และน้ำหนักรวมของลำต้น ราก และใบ ของแตงกวา เพื่อนำผลที่ได้จากการปลูก มาทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปุ๋ยหมัก โดยทำการออกแบบการทดลองดังนี้

4.3.1 การทดลองที่ 1 ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับปุ๋ยหมักทั่วไป

เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับปุ๋ยหมักทั่วไป จะใช้ดินในการปลูกจำนวน 800 กรัม ผสมกับปุ๋ยหมัก 400 กรัม ดังแสดงในภาพที่ 33ลักษณะการเตรียมดินกับปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ดังแสดงในภาพที่ 34 และลักษณะการเตรียมดินกับปุ๋ยหมักทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 35 ทำการคลุกเคล้าผสมดินกับปุ๋ยหมัก หลังจากนั้นทดสอบการปลูกแตงกวา กระถางละ 3 ต้น ในการทดลองครั้งนี้ ปริมาณธาตุอาหารหลักจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักในเชิงปริมาณการใช้ปุ๋ยหมักที่เท่ากัน

ภาพที่ 33 แสดงสัดส่วนปุ๋ยหมักจาก EFB กับ ดิน และสัดส่วนปุ๋ยหมักทั่วไป กับดิน

ภาพที่ 34 ลักษณะการเตรียมดินกับปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

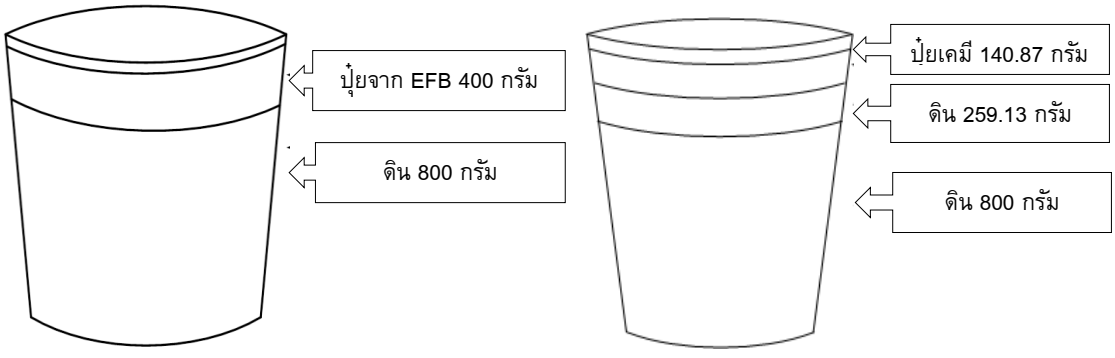
ภาพที่ 35 ลักษณะการเตรียมดิน กับปุ๋ยหมักทั่วไป

4.3.2 การทดลองที่ 2 ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับปุ๋ยเคมี

เปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 400 กรัม กับปุ๋ยเคมี กำหนดปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ที่เท่ากันซึ่งจะใช้หลักการคำนวณโดยใช้ปริมาณปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นหลัก ดังนี้

ปุ๋ยจาก EFB	**ปุ๋ยเคมี**
N avg. = 3.32 % (1,000 g. มี N = 33.20 g.)	N = 46 % (1,000 g. มี N = 460 g.)
P avg. = 0.62 % (1,000 g. มี P = 6.20 g.)	P = 3 % (1,000 g. มี P = 30 g.)
K avg. = 4.53 % (1,000 g. มี K = 45.3 g.)	K = 60 % (1,000 g. มี K = 600 g.)
ดังนั้น ปุ๋ยจาก EFB 400 g. จะมีธาตุอาหาร	ดังนี้ จะต้องใช้ปุ๋ยเคมี ดังนี้
N = (400 x 32.2)/1000 = 12.88 g.	N = (12.88 x 1000)/460 = 28.00 g.
P = (400 x 6.2)/1000 = 2.48 g.	P = (2.48 x 1000)/ 30 = 82.67 g.
K = (400 x 45.3)/1000 = 18.12 g.	K = (18.12 x 1000)/ 600 = 30.2 g.

ปริมาณปุ๋ยเคมี รวมกันต่อกระถางเท่ากับ (N + P + K) = 140.87 กรัม ดังนั้นจะต้องเพิ่มดินเข้าไปในชุดการทดลองของปุ๋ยเคมี เท่ากับ 259.13 กรัม เพื่อให้ได้น้ำหนักรวมเท่ากับ 400 กรัม ดังแสดงในภาพที่ 36

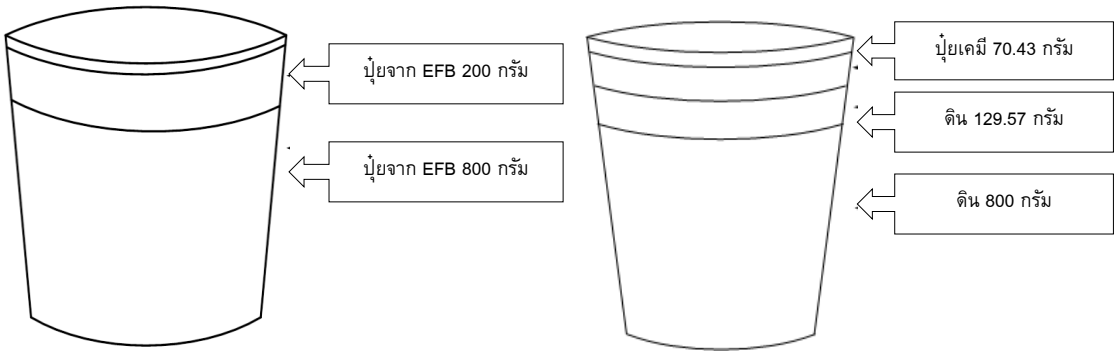


ภาพที่ 36 แสดงสัดส่วนปุ๋ยหมักจาก EFB 400 กรัม กับดิน 800 กรัม และสัดส่วนปุ๋ยเคมี กับดิน

จากการทดลองที่ 2 ใช้ปุ๋ยเคมี จำนวน 140.87 กรัม ปริมาณธาตุอาหารหลักเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยจาก EFB 400 กรัม เมื่อนำไปใส่ให้ต้นแตงกวา ส่งผลให้ต้นแตงกวาเกิดการตาย จึงทำการออกแบบการทดลองใหม่ โดยลดปริมาณปุ๋ยจาก EFB จาก 400 กรัม เหลือเท่ากับ 200 กรัม เพื่อใช้ในการทดสอบการปลูกแตงกวาอีกครั้ง ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณธาตุอาหารหลัก และการใช้ปุ๋ยเคมี ได้ดังนี้

ปุ๋ยจาก EFB	**ปุ๋ยเคมี**
N avg. = 3.32 % (1,000 g. มี N = 33.20 g.)	N = 46 % (1,000 g.) มี N = 460 g.
P avg. = 0.62 % (1,000 g. มี P = 6.20 g.)	P = 3 % (1,000 g. มี P = 30 g.
K avg. = 4.53 % (1,000 g. มี K = 45.3 g.)	K = 60 % (1,000 g. มี K = 600 g.
ดังนั้น ปุ๋ยจาก EFB 200 กรัม จะมีธาตุอาหาร	ดังนี้ จะต้องใช้ปุ๋ยเคมี ดังนี้
N = (200 x 32.2)/1000 = 6.44 g.	N = (6.44 x 1000)/460 = 14.00 g.
P = (200 x 6.2)/1000 = 1.24 g.	P = (1.24x 1000)/ 30 = 41.33 g.
K = (200 x 45.3)/1000 = 9.06 g.	K = (9.06 x 1000)/ 600 = 15.1 g.

ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีต่อกระถาง (N+P+K) = 70.43 กรัม ดังนั้น ต้องเพิ่มปริมาณดินเข้าไปในชุดการทดลองของปุ๋ยเคมี เท่ากับ 129.57กรัม เพื่อให้ได้น้ำหนักรวมเท่ากับ 200 กรัม ดังแสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 แสดงสัดส่วนปุ๋ยหมักจาก EFB 200 กรัม กับดิน 800 กรัม และสัดส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีกับดิน

การทดสอบการปลูกแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการใช้ปุ๋ยหมักจาก EFB กับปุ๋ยเคมี สูตรไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ทำการเตรียมปุ๋ยเคมีในแต่ละสูตร ตามการคำนวณ ลักษณะปุ๋ยเคมีสูตรไนโตรเจน (46-0-0) ดังแสดงในภาพที่ 38 ลักษณะปุ๋ยเคมีสูตรฟอสฟอรัส (0-3-0) ดังแสดงในภาพที่ 39 และลักษณะปุ๋ยสูตรโพแทสเซียม (0-0-60) ดังแสดงในภาพที่ 40 นำปุ๋ยเคมีทั้ง 3 สูตร มาผสมกับดิน 129.57 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน และแบ่งใส่ถุง ถุงละ 200 กรัม เพื่อให้ง่ายแก่การนำไปทดสอบการปลูกแตงกวา

ภาพที่ 38 ลักษณะปุ๋ยเคมีสูตรไนโตรเจน

ภาพที่ 39 ลักษณะปุ๋ยเคมีสูตรฟอสฟอรัส

ภาพที่ 40 ลักษณะปุ๋ยเคมีสูตรโพแทสเซียม

5 การวิเคราะห์มูลค่าปุ๋ยหมักที่ได้ทางเศรษฐ์ศาสตร์

5.1 การศึกษาข้อมูลทางด้านการลงทุนการติดตั้งกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ศึกษาต้นทุนการลงทุนเครื่องจักร ต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่สามารถนำกลับเข้ากระบวนการ และผลตอบแทนที่ได้จากกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

5.2 การศึกษามูลค่าของปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

ศึกษาต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และมูลค่าของปุ๋ยหมักที่ได้จากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เปรียบเทียบกับธาตุอาหารหลักของปุ๋ยเคมี

บทที่ 3

ผลการทดลอง และวิจารณ์

1 การวิเคราะห์องค์ประกอบในวัสดุหมัก

จากการนำวัสดุหมัก คือทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ และกากตะกอนดีแคนเตอร์ มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 71.62:1 ± 0.74 รองลงมาคือ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และกากตะกอนดีแคนเตอร์ เท่ากับ 59.34:1 ± 1.30 และ 18.69:1 ± 0.62 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ของ Hajar (2006) ซึ่งมีค่าระหว่าง 45-64:1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมของวัสดุหมัก เริ่มต้นในกระบวนการหมักปุ๋ยจะต้องอยู่ในช่วงระหว่าง 30-50: 1 (Thambirajah and Kuthutheen, 1989. Suhaimi and Ong, 2001) ดังนั้นหากนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบไปเป็นวัสดุหมักเพียงอย่างเดียวจะทำให้ระยะเวลาในการหมักยาวนานกว่าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และพบว่ากากตะกอนดีแคนเตอร์ มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับ 2.28 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก รองลงมาคือทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ เท่ากับ 0.70 ± 0.01 และ 0.62 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 6 ดังนั้นกากตะกอนดีแคนเตอร์ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ยหมักเพื่อช่วยให้กองปุ๋ยหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม อีกทั้งกากตะกอนดีแคนเตอร์ ยังมีปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม จึงมีความเหมาะสมในการนำมาผลิตปุ๋ยหมัก (Haron *et al*., 2008) และผลของการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน พบว่าช่วยให้ปริมาณไนโตรเจนของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันผลของการหีบ ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันลดลง และในการศึกษา ทำการกำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก คือ 35:1, 40:1 และ 45:1 และแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบตลอดกระบวนการหมักระหว่างทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่าน

การหีบ และทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบโดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ เป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก

เมื่อทำการคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนพบว่าปริมาณการใช้วัสดุหมักทั้ง 2 ชนิดที่เท่ากัน และแหล่งไนโตรเจนที่เท่ากัน ทำให้ชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 40:1 แต่ชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 45:1 ดังแสดงในตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่าปริมาณวัสดุหมักที่เท่ากันผลของการหีบทะลาย ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ

ตารางที่ 7 องค์ประกอบในวัสดุที่ใช้ในการหมักปุ๋ย

ลักษณะสมบัติ	วัสดุหมัก		
	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ	กากตะกอนดีแคนเตอร์
พีเอช	6.19 ± 0.03	6.97 ± 0.07	5.25 ± 0.07
ความชื้น (%)	52.74 ± 2.14	36.00 ± 0.78	51.72 ± 0.76
อินทรีย์คาร์บอน (%w/w)	44.38 ± 1.15	41.33 ± 1.12	42.55 ± 0.85
อินทรียวัตถุ (%w/w)	76.52 ± 1.32	71.26 ± 0.99	73.63 ± 1.27
ไนโตรเจนทั้งหมด (%w/w)	0.62 ± 0.06	0.70 ± 0.01	2.28 ± 0.10
ฟอสฟอรัส (%w/w)	0.02 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.08 ± 0.01
โพแทสเซียม (%w/w)	0.82 ± 0.03	0.67 ± 0.03	0.36 ± 0.08
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	71.62:1 ± 0.74	59.34:1 ± 1.30	18.69:1 ± 0.62

ตารางที่ 8 การคำนวณปริมาณของวัสดุหมักตามอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ปริมาณวัสดุหมักรวม 120 กิโลกรัม		อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน		
		35:1	**40:1**	**45:1**
		(กิโลกรัม)		
การทดลองที่ 1	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ	74.53	85.71	94.49
	กากตะกอนดีแคนเตอร์	45.47	34.29	25.51
การทดลองที่ 2	ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ	82.76	94.49	103.45
	กากตะกอนดีแคนเตอร์	37.24	25.51	16.55

2 การวิเคราะห์สภาวะกองปุ๋ยระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

ในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ออกแบบการทดลองไว้ทั้งหมด 8 ชุดการทดลอง ประกอบด้วยชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ (EP) 4 ชุดการทดลอง และชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ (NP) 4 ชุดการทดลอง โดยการกำหนดอัตราส่วนคาร์บอนของไนโตรเจนเริ่มต้นของการหมักที่แตกต่างกัน คือ 35:1 40:1 และ 45:1 ดังแสดงในตารางที่ 9 ระหว่างกระบวนการหมักทำการตรวจวัด และวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ประสิทธิภาพ และสัดส่วนการผสมระหว่างวัสดุหมักที่เหมาะสม และผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ ตลอดกระบวนการหมักปุ๋ย และตรวจวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลอง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย ในการทดลองครั้งนี้ออกแบบระยะเวลาในการหมักปุ๋ยไว้ที่ 60 วัน

ตารางที่ 9 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก เมื่อเริ่มต้นการทดลอง

ชุดการทดลอง	วัสดุหมัก	อัตราส่วน C:N	
		กำหนด	ผลจริง
CNP	ทะลายหีบไม่หีบ	71.62:1 ± 0.74	71.62:1 ± 0.74
NP1	ทะลายไม่หีบ+ กากตะกอนดีแคนเตอร์	35:1	35.43:1 ± 2.46
NP2	ทะลายไม่หีบ+ กากตะกอนดีแคนเตอร์	40:1	41.05:1 ± 2.65
NP3	ทะลายไม่หีบ+ กากตะกอนดีแคนเตอร์	45:1	45.45:1 ± 2.36
CEP	ทะลายหีบ	59.34:1 ± 1.30	59.34:1 ± 1.30
EP1	ทะลายหีบ+ กากตะกอนดีแคนเตอร์	35:1	35.53:1 ± 1.67
EP2	ทะลายหีบ+ กากตะกอนดีแคนเตอร์	40:1	41.91:1 ± 0.89
EP3	ทะลายหีบ+ กากตะกอนดีแคนเตอร์	45:1	46.39:1 ± 0.00

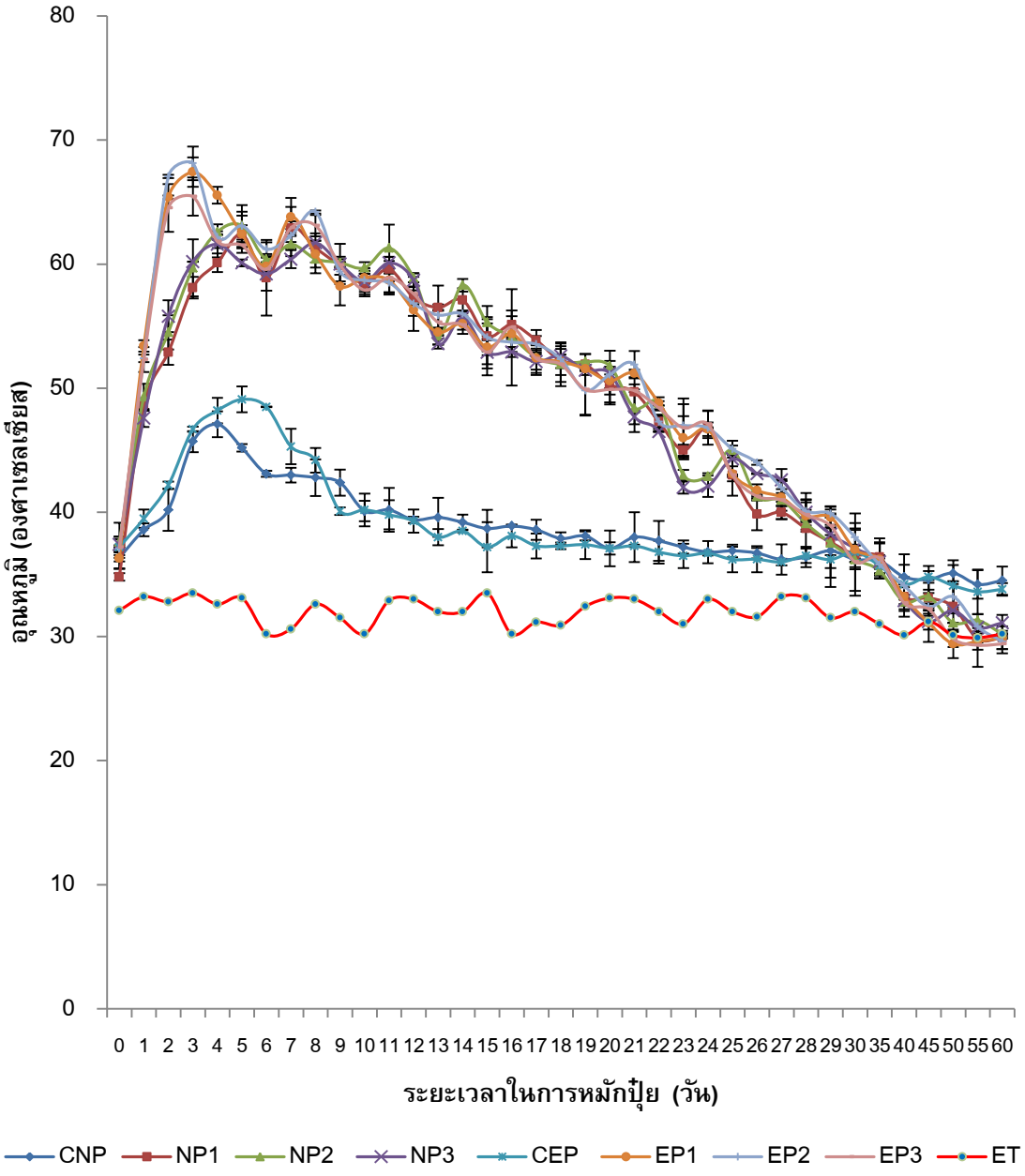
2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันนึ่งผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

2.1.1 อุณหภูมิ

เมื่อเริ่มต้นการหมักชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2 และ EP3 มีอุณหภูมิเท่ากับ 37.2 ± 0.64, 36.3 ± 0.85, 37.1 ± 0.25 และ 37.2 ± 0.86 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกับชุดการทดลอง CNP, NP1, NP2 และ NP3 มีอุณหภูมิ เท่ากับ 36.35 ± 0.86, 34.80 ± 0.30, 37.60 ± 1.56 และ 37.40 ± 0.64 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 41 หลังจากการหมัก 24 ชั่วโมง อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยชุดการทดลอง EP1, EP2 และ EP3 มีอุณหภูมิ เท่ากับ 53.41 ± 0.47, 52.40 ± 0.30 และ 52.30 ± 1.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับ NP1, NP2 และ NP3 ซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับ 48.70 ± 0.51, 49.30 ± 1.07 และ 47.60 ± 0.72 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิของชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ สูงกว่าชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ แสดงให้เห็นว่าภายใน 24 ชั่วโมง จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายวัสดุหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ ได้ดีกว่าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม CEP และ CNP ซึ่งมีอุณหภูมิ เท่ากับ 39.50 ± 0.74 และ 38.60 ± 0.52 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าชุดการทดลองที่ผสม

กากตะกอนดีแคนเตอร์ จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายวัสดุหมัก หลังจากการหมัก 24 ชั่วโมง ได้แก่ เชื้อรา และแบคทีเรีย เชื้อรา มีบทบาทในการย่อยสลายวัสดุหมักให้มีขนาดเล็กลง มักพบเชื้อราจำพวก *Cladosporium sp., Aspergillus sp.,* และ *Mucor sp.,* สามารถเจริญเติมโตได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส ส่วนแบคทีเรีย มีบทบาทในการย่อยสลายวัสดุหมักมากที่สุด มักพบแบคทีเรีย จำพวก *Bacillus subtilis* และ *Bacillus stearothermophilus* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส (อาณัฐ ตันโช, 2549) หลังจากนั้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมักปรับสภาพ จนกลายเป็นสภาพที่สมดุลระหว่างจุลินทรีย์ และสารอาหาร ภายในกองปุ๋ยหมัก ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ อัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการปลดปล่อยความร้อนออกมา ทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะสูงขึ้น และผลมาจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น (Ammonification) ย่อยสลายกรดอะมิโน ให้กลายสภาพเป็นแอมโมเนีย ($NH4^+$) โดยแอมโมนิไฟอิงแบคทีเรีย (Ammonifying Bacteria) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยสูงขึ้นเรื่อยๆ (Jolanun, 2005) ชุดการทดลอง EP1, EP2 และ EP3 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดในวันที่ 3 ของการหมัก โดยมีอุณหภูมิ เท่ากับ 67.42 ± 1.19, 68.12 ± 1.36 และ 65.44 ± 1.53 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม CEP ที่มีอุณหภูมิ เท่ากับ 46.70 ± 0.20 องศาเซลเซียส และชุดการทดลอง NP1, NP2 และ NP3 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดในวันที่ 5 ของการหมัก โดยมีอุณหภูมิเท่ากับ 62.40 ± 1.50, 63.10 ± 1.12 และ 60.10 ± 0.27 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม CNP ที่มีอุณหภูมิ เท่ากับ 45.20 ± 0.31 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่สูงที่สุดระหว่างกระบวนการหมัก พบว่าชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบเกิดขึ้นในวันที่ 3 ของการหมัก แต่ชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบเกิดขึ้นในวันที่ 5 ของการหมัก แสดงให้เห็นว่า จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายวัสดุหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบได้ดีกว่าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบในช่วงแรกของการหมัก ซึ่งอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นในช่วง 2-5 วันแรกของการหมัก โดยอาจเพิ่มขึ้นถึง 60-70 องศาเซลเซียส (ธีระพงศ์ สว่างปัญญางกูร, 2549) หลังจากนั้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักค่อยๆ ลดลง และจุลินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่ม เมโซฟิลิก (Mesophilic Microorganism) มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายวัสดุหมักอีกครั้ง เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ไปเป็นสารประกอบที่มีลักษณะคงตัว หรือที่เรียกว่า

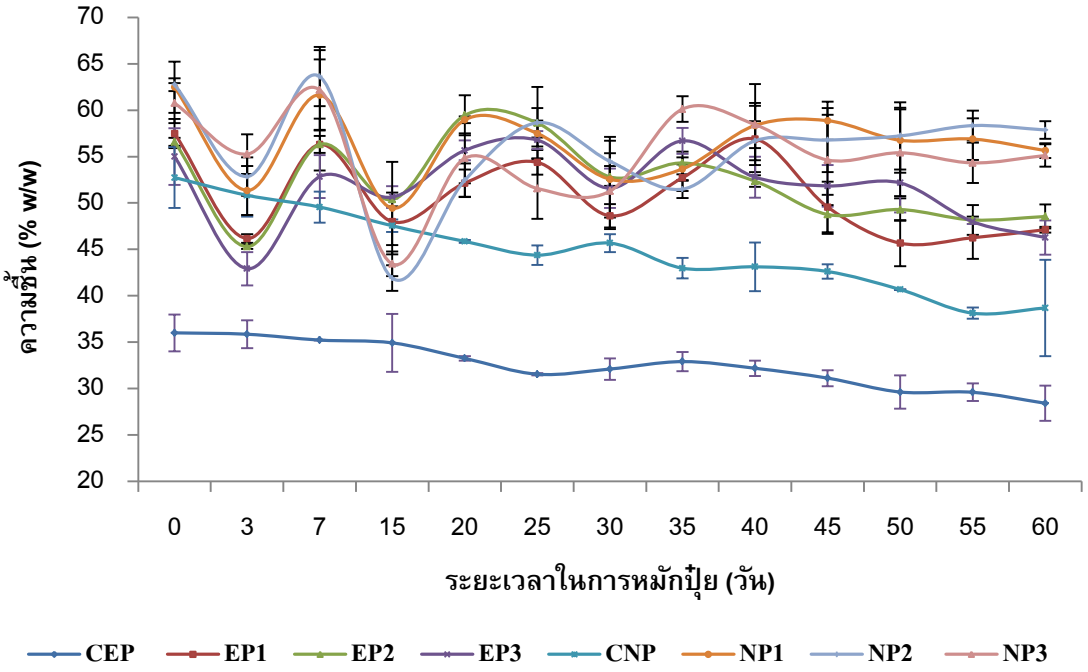
ฮิวมิก จากกระบวนการ ฮิวมิฟิเคชั่น (Humification) นอกจากนั้นยังเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ในการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียไปเป็น ไนไตรท์ และไนเตรท จากนั้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะลดลง (นิสากร ทัดแก้ว, 2555) จนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ย หลังจากวันที่ 30 ของการหมัก ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าวัสดุหมักถูกย่อยสลายจนกลายสภาพเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ หลังจาก 30 วันหลังการหมัก โดยชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ ที่ผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ มีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 36-38 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายนอกมีค่า เท่ากับ 32 องศาเซลเซียส และวันสุดท้ายของการหมัก (วันที่ 60 ของการหมัก) อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะลดลงเทียบเท่ากับอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ย เนื่องจากวัสดุหมักถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลง (Tiquia and Tam, 2000a) ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักค่อนข้างคงที่ โดยชุดการทดลอง EP1, EP2 และ EP3 มีอุณหภูมิ เท่ากับ 29.90 ± 0.92, 29.60 ± 0.62 และ 29.40 ± 0.76 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับชุดการทดลอง NP1, NP2 และ NP3 ซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับ 29.90 ± 0.07, 30.20 ± 0.06 และ 31.10 ± 0.65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก ที่มีค่าเท่ากับ 30.20 องศาเซลเซียส ปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกจัดเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ จึงสามารถนำไปใช้งานได้ แต่อย่างไรก็ตามก่อนนำไปใช้งานต้องพิจารณาสมบัติอื่นๆ ของปุ๋ยหมักด้วยเช่น ลักษณะของวัสดุหมัก และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก (อาณัฐ ตันโช, 2549)



ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

2.1.2 ความชื้น

เมื่อเริ่มต้นการหมักชุดทดลอง CEP, EP1, EP2 และ EP3 มีความชื้น เท่ากับ 36.00 ± 1.98, 57.48 ± 1.57, 56.59 ± 0.42 และ 55.01 ± 3.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และชุดการทดลอง CNP, NP1, NP2 และ NP3 มีความชื้น เท่ากับ 52.74 ± 3.27, 62.48 ± 2.76, 62.76 ± 0.69 และ 60.75 ± 2.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 42 สาเหตุที่ปริมาณความชื้นของชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ ต่ำกว่าชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบเกิดจากกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันทำให้เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุในการหมักปุ๋ย ปริมาณความชื้นต่ำกว่าทะลายที่ไม่ผ่านการหีบ ปริมาณความชื้นของวัสดุหมักที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นระดับที่เหมาะสมในการทำกิจกรรมย่อยสลายของจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ย (Liang *et al*., 2003; Baharuddin *et al*., 2009) หลังจากนั้นปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยหมัก ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการหมัก เนื่องจากในกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการส่งผ่านสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ และเพื่อเพิ่มจำนวนของเซลล์ (Hamoda *et al*., 1998) กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์มีผลให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยสูงขึ้น ทำให้ปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยลดลง ในการทดลองนี้ได้ทำการรดน้ำให้แก่กองปุ๋ยหมักเพื่อควบคุมปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยให้มีปริมาณที่อยู่ในช่วงระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อช่วยให้จุลินทรีย์สามารถทำกิจกรรมย่อยสลายได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เมื่อวัสดุหมักเข้าสู่วันสุดท้ายของการหมัก (วันที่ 60 ของการหมัก) ชุดการทดลอง EP1, EP2 และ EP3 มีปริมาณความชื้น เท่ากับ 47.12 ± 0.31, 48.54 ± 1.30 และ 46.28 ± 1.84 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และชุดการทดลอง NP1, NP2และ NP3 มีปริมาณความชื้น เท่ากับ 55.65 ± 0.79, 57.87 ± 0.96 และ 55.12 ± 1.22 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งยังสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยปริมาณความชื้นต้องไม่เกิน 35-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ดังนั้นก่อนนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้งานควรที่จะกองทิ้งไว้สักระยะหนึ่งเพื่อให้ปริมาณความชื้นลดลง หรือนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปอัดเม็ด ดังแสดงในภาพที่ 43 จะช่วยให้ความชื้นลดลง เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน และมีความสะดวกแก่การเคลื่อนย้าย



ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

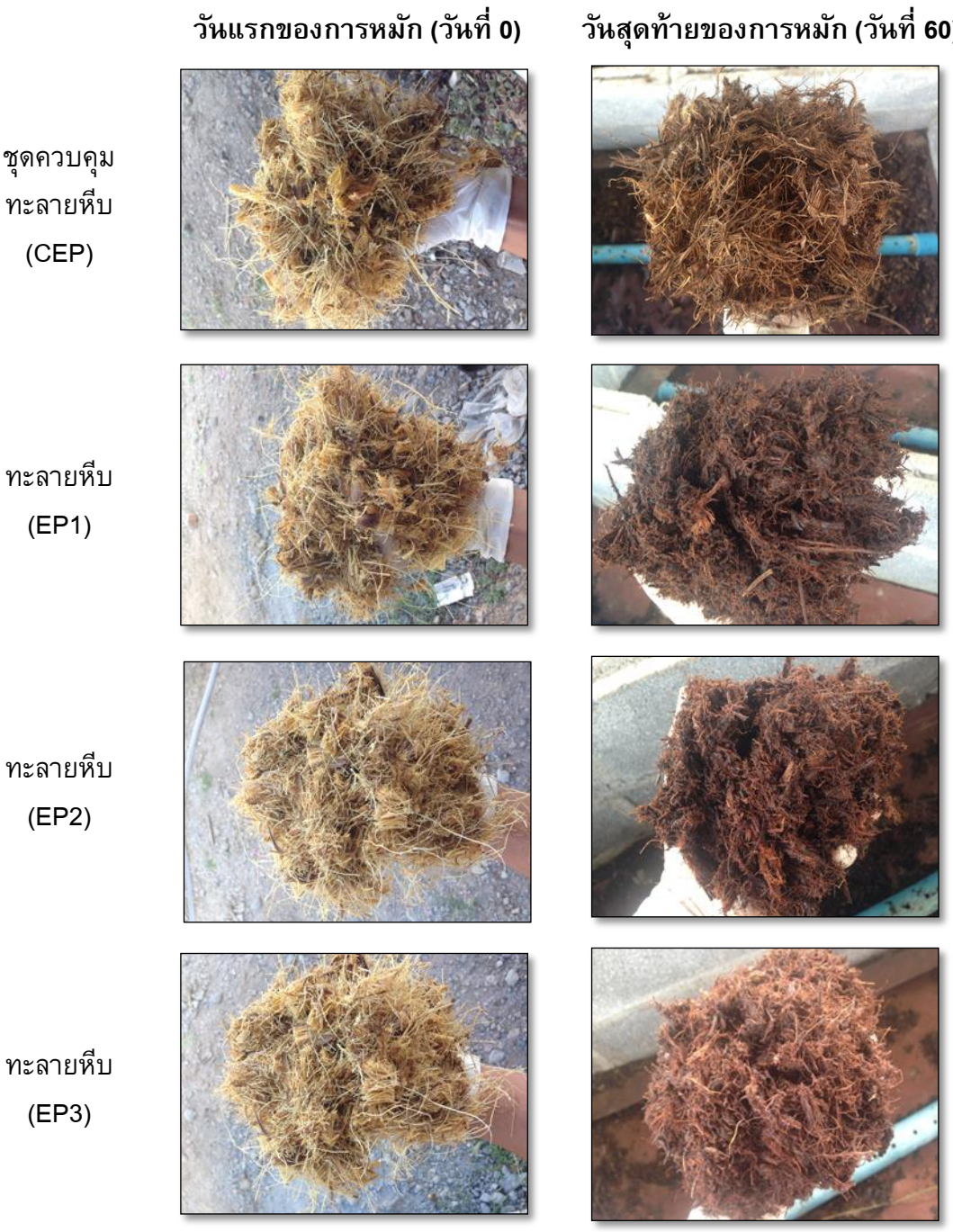
ภาพที่ 43 ลักษณะปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ก่อนอัดเม็ดและหลังการอัดเม็ด

นอกจากนั้นในการทดลองครั้งนี้ยังมีการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพโดยสังเกตจากกลิ่น สี ลักษณะเส้นใยปาล์ม และการยุบตัวของกองปุ๋ยหมัก พบว่าในช่วงแรกของการหมักชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีกลิ่น เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักมากกว่าชุดควบคุม CEP และCNP กลิ่นที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการหมักเกิดขึ้นจากกิจกรรมการย่อยสลายวัสดุหมักของจุลินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมัก เพราะมีปริมาณอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดสภาวะที่ขาดออกซิเจนเกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมัก และผลจากการใช้น้ำผสมจุลินทรีย์ รดกองปุ๋ยหมักทำให้ความชื้นในช่วงแรกของการหมักสูงขึ้น ทำให้บริเวณด้านล่างของกองปุ๋ยเกิดสภาวะขาดออกซิเจน ส่งผลให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะทำการย่อยสลายวัสดุหมัก ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟล์ (H_2S) (Hoyos *et al*., 2002; นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544) ส่งผลให้มีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก เมื่อเวลาในการหมักผ่านไปวัสดุหมักได้ถูกย่อยสลายไป และมีการเติมอากาศสลับกับการพลิกกลับกองปุ๋ยซึ่งเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก ทำให้กลิ่นภายในกองปุ๋ยลดลงตามระยะเวลาการหมัก จนวันสุดท้ายของการหมัก (วันที่ 60 ของการหมัก) ปุ๋ยหมักจากชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 ที่ได้มีกลิ่น หรือกลิ่นคล้ายกลิ่นดินตามธรรมชาติ

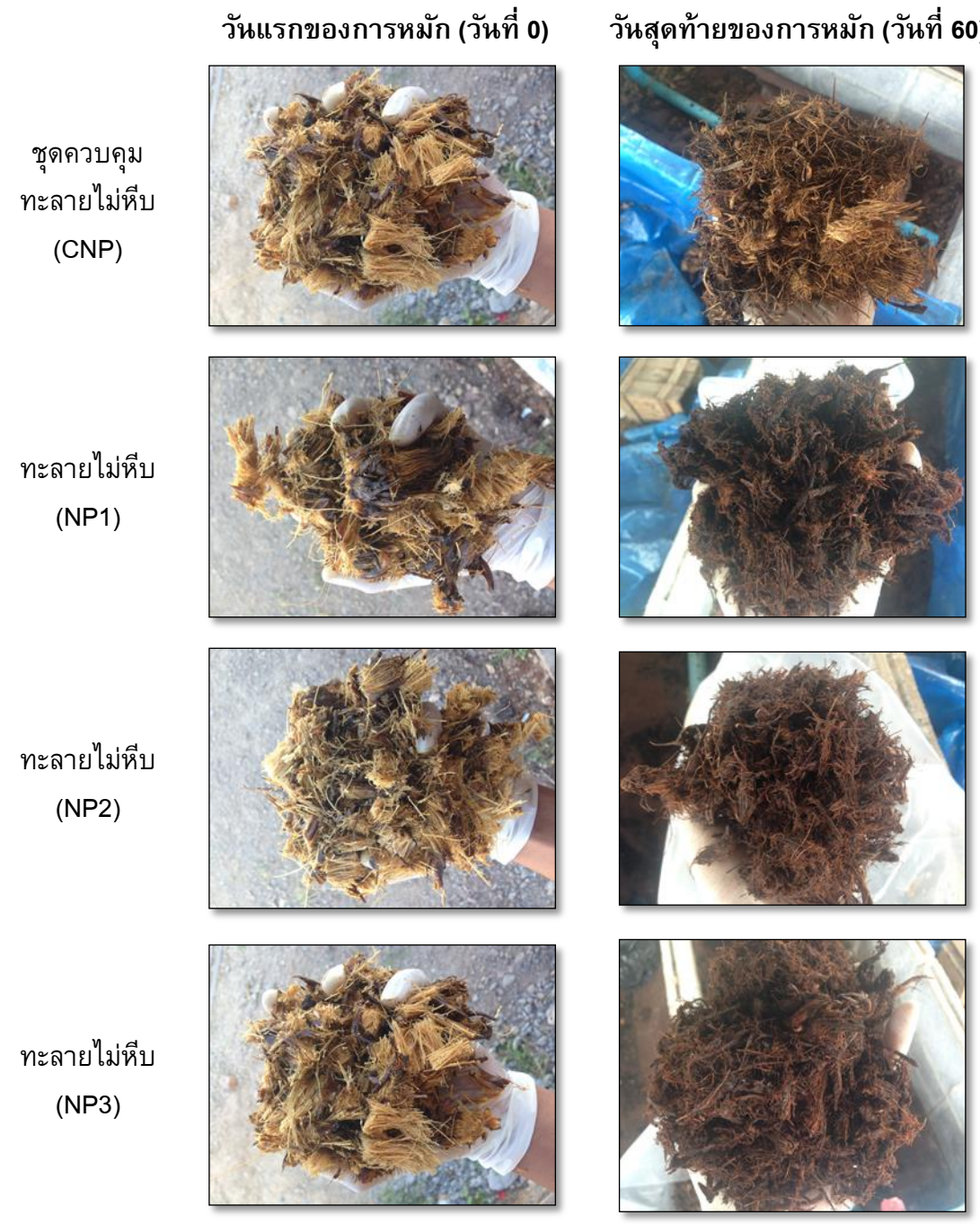
สำหรับสีและลักษณะเส้นใย เมื่อเริ่มต้นการหมักพบว่าสีของชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบจะมีสีน้ำตาลอ่อน และชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบจะมีสีน้ำตาล และทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบจะมีลักษณะเส้นใยที่ยุ่ยกว่าทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ จากนั้นสีของวัสดุหมักในการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีสีน้ำตาลเข้มขึ้นเรื่อยๆตามระยะเวลาการหมัก ดังแสดงในภาพที่ 44 และภาพที่ 45 พร้อมทั้งลักษณะเส้นใยจะมีลักษณะเล็กลง มีความยุ่ยใกล้เคียงกัน สามารถบีบแยกออกจากกันได้ง่ายทั้ง 6 ชุดการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการหมัก (วันที่ 60 ของการหมัก) พบว่าชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 ที่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ มีสีน้ำตาลเข้มปนดำ พร้อมทั้งมีลักษณะของเส้นใยจะมีลักษณะที่เล็กลงมีความยุ่ยมากขึ้น สามารถบีบแยกออกจากกันได้ง่าย และปริมาตรของกองปุ๋ยจะยุบตัวลงประมาณ 1/2 ของปริมาตรเดิม สาเหตุของการยุบตัวของวัสดุหมักเกิดขึ้นจากสารประกอบอินทรีย์บางชนิดถูกย่อยสลายให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544;

Mondini *et al*., 1996) ทำให้กองปุ๋ยยุบตัวลง ยกเว้นชุดควบคุม CEP และ CNP จะมีสีน้ำตาล ลักษณะเส้นใยแข็งกระด้าง และฉีกออกจากกันได้ยาก และปริมาณยุบตัวลงเพียงเล็กน้อย

ผลของการเปลี่ยนแปลงสี ลักษณะเส้นใยปาล์ม และการยุบตัวของชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 สอดคล้องกับการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ (วธิดา คะนะแนม, 2551) และการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันกับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (Schuchardt *et al*., 2002) สีของเส้นใยจะเปลี่ยนเป็นเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นเรื่อยๆ และลักษณะเส้นใยปาล์มจะอ่อนนุ่มตามระยะเวลาการหมัก และยุบตัวลงประมาณ 1/2 ของปริมาตรเดิมเมื่อสิ้นสุดการหมัก และสอดคล้องกับการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน หลังจากการหมัก 30 วัน วัสดุหมักจะมีสีน้ำตาลปนดำ (Dark brown) และ หลังจากการหมัก 60 วัน วัสดุหมักจะมีสีดำ (Blackish) (Baharuddin *et al*., 2009)



ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุหมัก ชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์



ภาพที่ 45 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ของวัสดุหมักชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

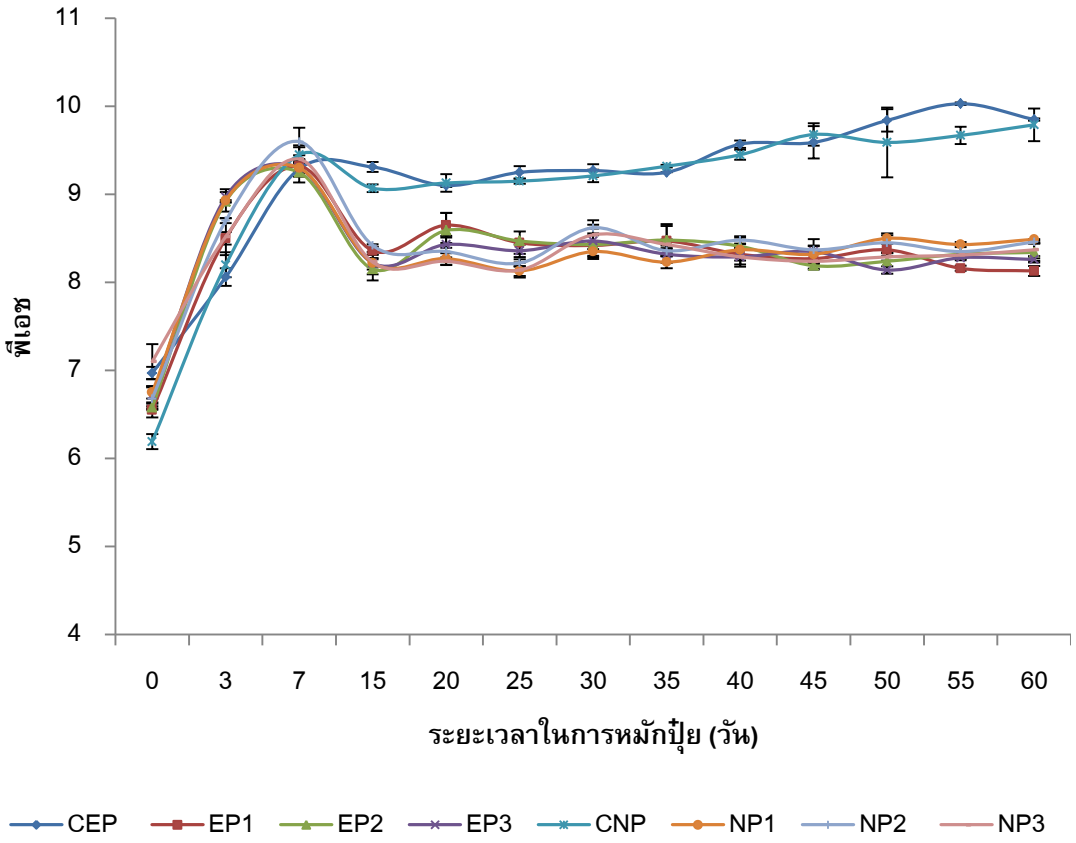
2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ของชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

2.2.1 พีเอช

เมื่อเริ่มต้นการหมักชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2 และ EP3 มีค่าพีเอช เท่ากับ 6.97 ± 0.07, 6.55 ± 0.08, 6.58 ± 0.01 และ 6.72 ± 0.10 และชุดการทดลอง CNP, NP1, NP2 และ NP3 มีค่าพีเอช เท่ากับ 6.19 ± 0.08, 6.75 ± 0.07, 6.68 ± 0.13 และ 7.10 ± 0.20 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 46 หลังจากการหมัก พีเอช จะสูงขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ย่อยสลายโปรตีนกลายเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโน จากนั้นกรดอะมิโนถูกย่อยสลายต่อจนกลายเป็นกรดไขมันและแอมโมเนีย (NH_3) หรือแอมโมเนียอิออน (NH_4^+) โดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น (Ammonification) (Delaune *et al*., 2004) พีเอชในกองปุ๋ยหมักมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 7 ของการหมัก ชุดการทดลอง EP1, EP2 และ EP3 มีค่าพีเอช เท่ากับ 9.32 ± 0.07, 9.25 ± 0.11 และ 9.30 ± 0.10 ตามลำดับ และชุดการทดลอง NP1, NP2 และ NP3 มีค่าพีเอช เท่ากับ 9.30 ± 0.06, 9.60 ± 0.16 และ 9.40 ± 0.16 ตามลำดับ หลังจากนั้น พีเอช ลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากจุลินทรีย์ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) จะแปรสภาพแอมโมเนีย หรือแอมโมเนียอิออน ไปเป็นไนไทรต์ (NO_2) และไนเตรท (NO_3) ตามลำดับ โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออน (H^+) ออกมา ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด (Eklind and Kirchmann, 2000) และผลมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายวัสดุหมักยังมีผลให้พีเอช ลดลงอีกด้วยเพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมามีสภาวะเป็นกรด (Peigne and Girardin, 2004) เมื่อสิ้นสุดการหมัก (วันที่ 60 ของการหมัก) ชุดการทดลอง EP1, EP2 และ EP3 มีค่าพีเอช เท่ากับ 8.13 ± 0.06, 8.34 ± 0.11 และ 8.26 ± 0.01 ตามลำดับ และชุดการทดลอง NP1, NP2 และ NP3 มีค่าพีเอช เท่ากับ 8.49 ± 0.00, 8.46 ± 0.01 และ 8.37 ± 0.07 ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุม CEP และ CNP มีค่าพีเอชเท่ากับ 9.85 ± 0.01 และ 9.79 ± 0.18 ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่กำหนด พีเอช อยู่ในช่วงระหว่าง 5.50-8.50 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) พบว่าปุ๋ยหมักทั้งหมดมีค่า พีเอชผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นชุดควบคุม CEP และ CNP มีค่าพีเอชสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในการทดลองครั้งนี้ สอดคล้องกับการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันผสมมูลแพะ

มูลวัว และมูลไก่ เป็นตัวเร่งในกระบวนการหมัก และชุดควบคุม เมื่อเริ่มต้นการหมักจะมีค่าพีเอช เท่ากับ 6.9, 8.0, 7.9 และ 6.6 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักพบว่า พีเอช อยู่ในช่วงระหว่าง 8.01-9.05 (Yahya *et al*., 2010) นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานผลิตน้ำตาล และไวน์ พบว่า พีเอชสูงขึ้นในช่วงแรกของการหมัก โดยมีค่าพีเอชระหว่าง 8-9 และพีเอชจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนวันสุดท้ายของการหมัก (วันที่ 83) จะมีค่าพีเอช อยู่ในช่วงระหว่าง 7.64-8.41 (Diaz *et al*., 2002)



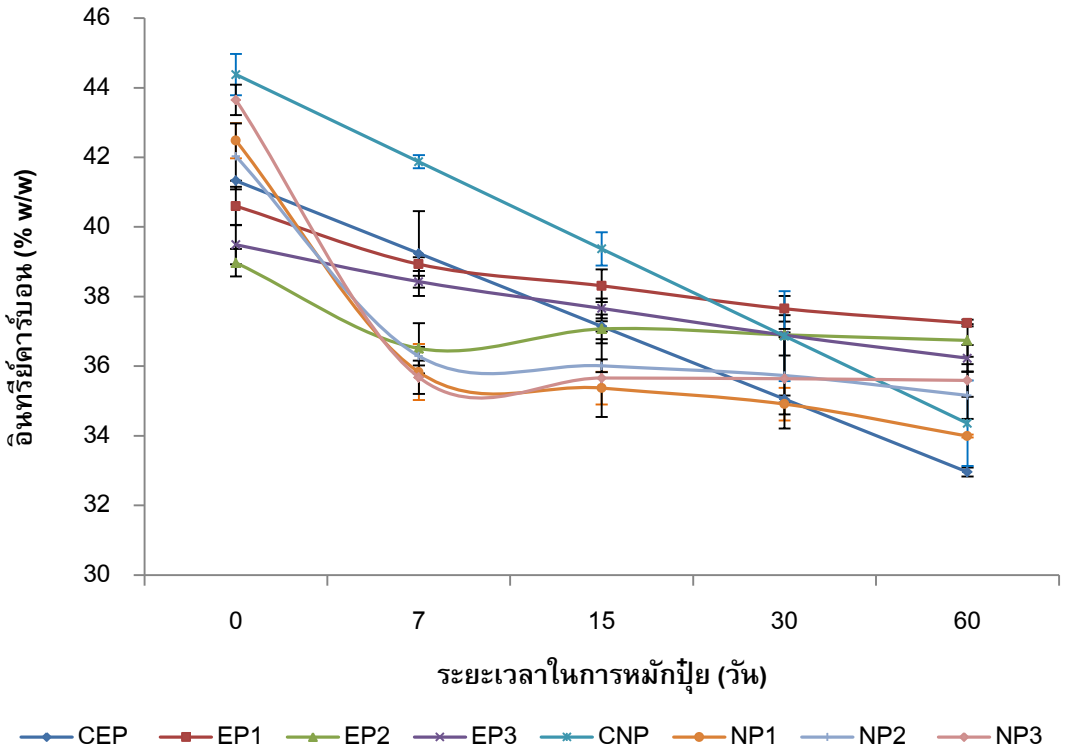
ภาพที่ 46 การเปลี่ยนแปลงพีเอช ภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

2.2.2 อินทรีย์คาร์บอน

เมื่อเริ่มต้นการหมักชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2 และ EP3 มีค่าอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 41.33 ± 0.00, 40.60 ± 0.55, 38.97 ± 0.40 และ 39.49 ± 0.57 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และชุดการทดลอง CNP, NP1, NP2 และ NP3 มีค่าอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 44.38 ± 0.59, 42.48 ± 0.51, 42.03 ± 0.95 และ 43.65 ± 0.57 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 47 หลังจากการหมักปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจะลดลงเรื่อยๆ การที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงเนื่องมาจากจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน และสร้างส่วนประกอบของเซลล์ นอกจากนั้นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนบางส่วนจะแปรสภาพไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Huang *et al*., 2004) เมื่อวันที่ 30 ของการหมัก ชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงเหลือ เท่ากับ 37.65 ± 0.37, 36.90 ± 0.07, 36.89 ± 0.58, 34.91 ± 0.47, 35.73 ± 1.12 และ 35.64 ± 0.47 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมัก(วันที่ 60 หลังการหมัก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของชุดการทดลองที่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 37.24 ± 0.10, 36.74 ± 0.47, 36.23 ± 0.38, 33.99 ± 0.04, 35.61 ± 0.68 และ 35.59 ± 0.47 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่า ชุดควบคุม CEP และ CNP ที่มีค่าเท่ากับ 32.96 ± 0.13 และ 34.36 ± 1.23 เนื่องจากการใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ เป็นแหล่งไนโตรเจนในการหมักปุ๋ย และกากตะกอนดีแคนเตอร์มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูง ทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนถูกเพิ่มเข้ามาในกองปุ๋ย ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของชุดการทดลองที่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าชุดควบคุม

การทดลองครั้งนี้เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของชุดการทดลองที่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 สอดคล้องกับการผลิตปุ๋ยหมักจากเส้นใยปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ และปรับความชื้นด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และน้ำประปา พบว่าเมื่อวันที่ 60 หลังการหมักปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงอยู่ในช่วงระหว่าง 30.9 ถึง 34.8 เปอร์เซ็นต์ (วีรยุทธ์ จวนซ้าย, 2554) เช่นเดียวกันกับการทดลองการผลิตปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยผสมสลัดจ์สิ่งปฏิกูล เมื่อเวลาผ่านไป 100 วันหลังเริ่มต้นการหมัก มีอินทรีย์คาร์บอน เท่ากับ 34.91 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Guoxue *et al*., 2001) นอกจากนั้นการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลาย

เปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน เมื่อครบ 90 วันหลังเริ่มต้นการหมัก พบว่าอินทรีย์คาร์บอนมีค่า เท่ากับ 33.10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (วธิดา คะนะแนม, 2551) และการทดลองผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ช่วยในการปรับความชื้นให้แก่กองปุ๋ยหมัก เมื่อครบ 70 วันหลังเริ่มต้นการหมัก พบว่าอินทรีย์คาร์บอนมีค่า เท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเมื่อเริ่มต้นการหมักที่ 42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Schuchardt *et al*., 2002)



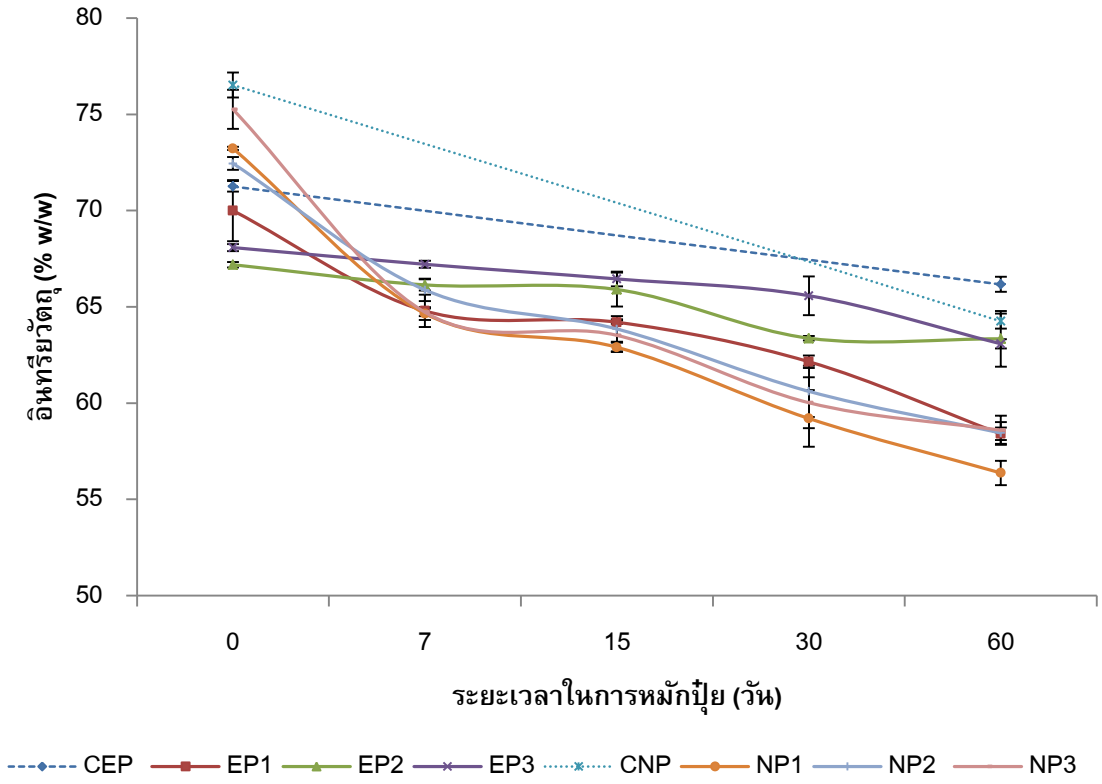
ภาพที่ 47 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

2.2.3 อินทรียวัตถุ

เมื่อเริ่มต้นการหมักชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2 และ EP3 มีอินทรียวัตถุเท่ากับ 71.26 ± 0.27, 70.00 ± 1.58, 67.19 ± 0.14 และ 68.08 ± 0.18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และชุดการทดลอง CNP, NP1, NP3 และ NP3 มีอินทรียวัตถุเท่ากับ 76.52 ± 0.65, 73.23 ± 0.08, 72.45 ± 0.34 และ 75.62 ± 1.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 48 หลังจากการหมัก อินทรียวัตถุจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ตามระยะเวลาการหมัก และจะสอดคล้องกับการลดลงของอินทรีย์คาร์บอน เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนเป็นส่วนหนึ่งของอินทรียวัตถุ (Fang *et al*., 1999) เมื่ออินทรีย์คาร์บอนถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลที่เล็กลง และใช้เป็นพลังงานให้แก่จุลินทรีย์ ในการสร้างเซลล์ใหม่ เพื่อเพิ่มจำนวนของเซลล์ในกองปุ๋ยหมัก อีกทั้งอินทรีย์คาร์บอนบางส่วนถูกแปรสภาพไปเป็นคาร์บอนไดออกไซน์ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนภายในกองปุ๋ยหมัก และเนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนเป็นส่วนหนึ่งของอินทรียวัตถุ ทำให้อินทรียวัตถุมีแนวโน้มการลดลงตามสัดส่วนการลดลงของอินทรีย์คาร์บอน ตามระยะเวลาในการหมักปุ๋ย ตลอดเวลาที่จุลินทรีย์ทำกิจกรรมย่อยสลายวัสดุหมัก (Huang *et al*., 2004) เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 58.40 ± 0.33, 63.34 ± 1.44, 63.08 ± 0.24, 56.37 ± 0.64, 58.45 ± 0.57 และ 58.59 ± 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม CEP และ CNP ที่มีค่าเท่ากับ 66.17 ± 0.40 และ 64.26 ± 0.40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่กำหนดให้ปริมาณอินทรียวัตถุต้องไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2551) พบว่าทุกชุดการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุ ผ่านมาตรฐานทั้งหมด ยกเว้นชุดควบคุม หากพิจารณาคุณสมบัติอื่นร่วม เช่น ลักษณะของเส้นใยปาล์ม และสีของวัสดุหมัก พบว่าเส้นใยปาล์มยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ และสีของวัสดุหมักยังคงเป็นสีน้ำตาล จึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

การทดลองครั้งนี้เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ สอดคล้องกับการทดลองการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ เป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าเมื่อสิ้นสุดการหมัก วันที่ 90 ของการหมัก อินทรียวัตถุมีค่า เท่ากับ 57.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (วธิดา คะนะแนม, 2551) เช่นเดียวกันกับการทดลองการผลิตปุ๋ยหมักจากเส้นใยปาล์ม กับกาก

ตะกอนดีแคนเตอร์ ปรับความชื้นด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และน้ำประปา พบว่า ภายใน 60 วันหลังการหมัก ปริมาณอินทรียวัตถุลดลงจาก 67.74, 77.92 และ 69.83 เปอร์เซ็นต์ เหลือเท่ากับ 54.71, 62.63 และ 55.72 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (วีรยุทธ์ จวนซ้าย, 2554)



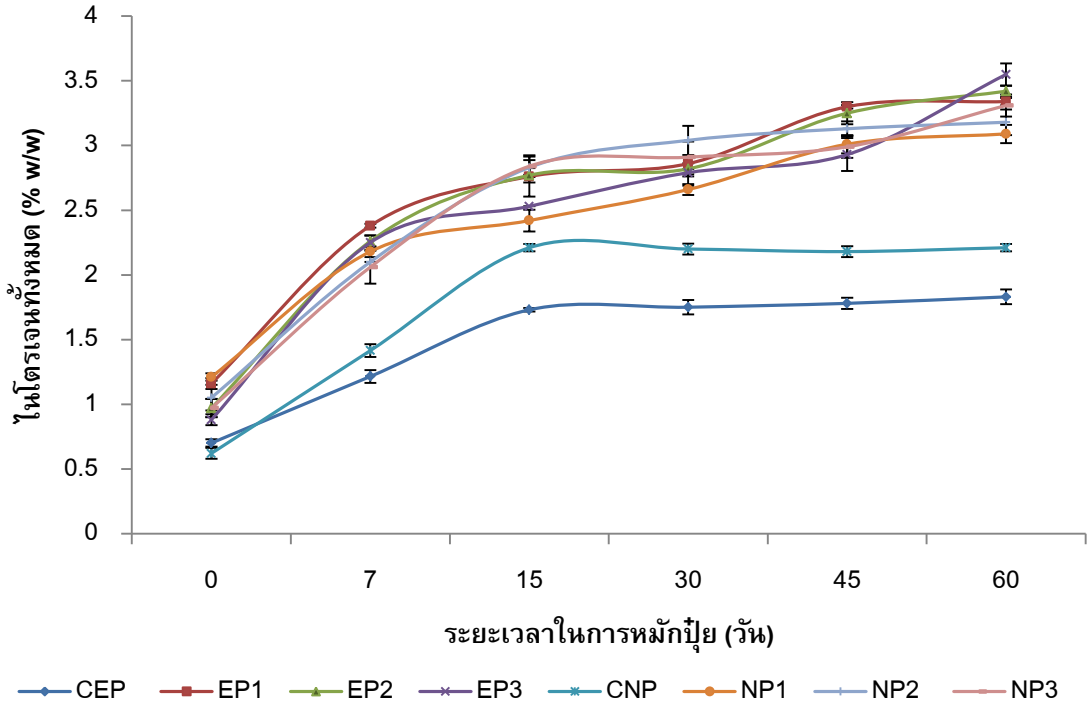
ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

2.2.4 ไนโตรเจนทั้งหมด

เมื่อเริ่มต้นการหมักชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2 และ EP3 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.70 ± 0.03, 0.16 ± 0.04, 0.97 ± 0.97 และ 0.88 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และชุดการทดลอง CNP, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.62 ± 0.04, 1.21 ± 0.03, 1.05 ± 0.10 และ 0.97 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 49 หลังจาก 15 วันหลังเริ่มต้นการหมัก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของชุดการทดลองที่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และวันที่ 30 หลังการหมักชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 2.86 ± 0.17, 2.82 ± 0.04, 2.79 ± 0.03, 2.66 ± 0.04, 3.04 ± 0.11 และ 2.91 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม CEP และ CNP มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.75 ± 0.06 และ 2.20 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ การผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ มีปริมาณไนโตรเจนผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่กำหนดปริมาณไนโตรเจนต้องไม่ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2551) การที่ปริมาณไนโตรเจนของวัสดุหมักสูงขึ้น มีผลมาจากจุลินทรีย์ใช้ไนโตรเจนเป็นอาหารหลักในการสร้างส่วนประกอบของเซลล์ และเพิ่มจำนวนเซลล์ภายในกองปุ๋ยหมัก ร่วมกับอินทรีย์คาร์บอน แต่สัดส่วนการใช้อินทรีย์คาร์บอนจะสูงกว่าการใช้ไนโตรเจน และผลจากอินทรีย์คาร์บอนบางส่วนถูกแปรสภาพไปเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซน์ ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนสะสมในวัสดุหมักสูงขึ้น (Huang *et al*., 2004) หลังจากนั้นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามระยะเวลาการหมัก เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนยังคงถูกใช้ไปในระหว่างกิจกรรมการย่อยสลายวัสดุหมัก มากกว่าไนโตรเจน ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนสะสมในวัสดุหมัก สูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก และเมื่อสิ้นสุดการหมัก (วันที่ 60 ของการหมัก) ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 3.34 ± 0.03, 3.42 ± 0.04, 3.55 ± 0.08, 3.09 ± 0.07, 3.18 ± 0.19 และ 3.31 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามดำดับ พบว่าทุกชุดการทดลองที่ผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ส่วนชุดควบคุม CEP และ CNP ถึงแม้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.83 ± 0.06 และ 2.21 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะสมบัติอื่น

เช่น ลักษณะเส้นใยปาล์ม พบว่าวัสดุยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน ไนโตรเจนของชุดควบคุม CNP สูงกว่า CEP เมื่อสิ้นสุดการหมัก เนื่องจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบมีความชื้น เท่ากับ 52.74 ± 3.27 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ เท่ากับ 36.00 ± 1.98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความชื้นของชุดควบคุม CNP มีความเหมาะสมที่ทำให้จุลินทรีย์ตามธรรมชาติ สามารถทำกิจกรรมการย่อยสลายวัสดุหมักของชุดการทดลอง CNP ได้ดีกว่าชุดการทดลอง CEP ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุชุดการทดลอง CNP ถูกใช้ไปมากกว่า ชุดการทดลอง CEP หลังจากกองทิ้งไว้ 30 วัน ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนของชุดควบคุม CNP สูงกว่า CEP เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน

การทดลองครั้งนี้ ชุดการทดลองที่ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ใกล้เคียงกับการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ เป็นแหล่งไนโตรเจน เมื่อเริ่มต้นการหมักจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.64 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดการหมักมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 3.30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (วธิดา คะนะแนม, 2551) และชุดควบคุม (CEP และ CNP) สอดคล้องกับการทดลองของ Thambirajah และคณะ (1995) ที่ทำการทดลองการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเพียงอย่างเดียวเมื่อสิ้นสุดการหมัก (60 วัน) มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

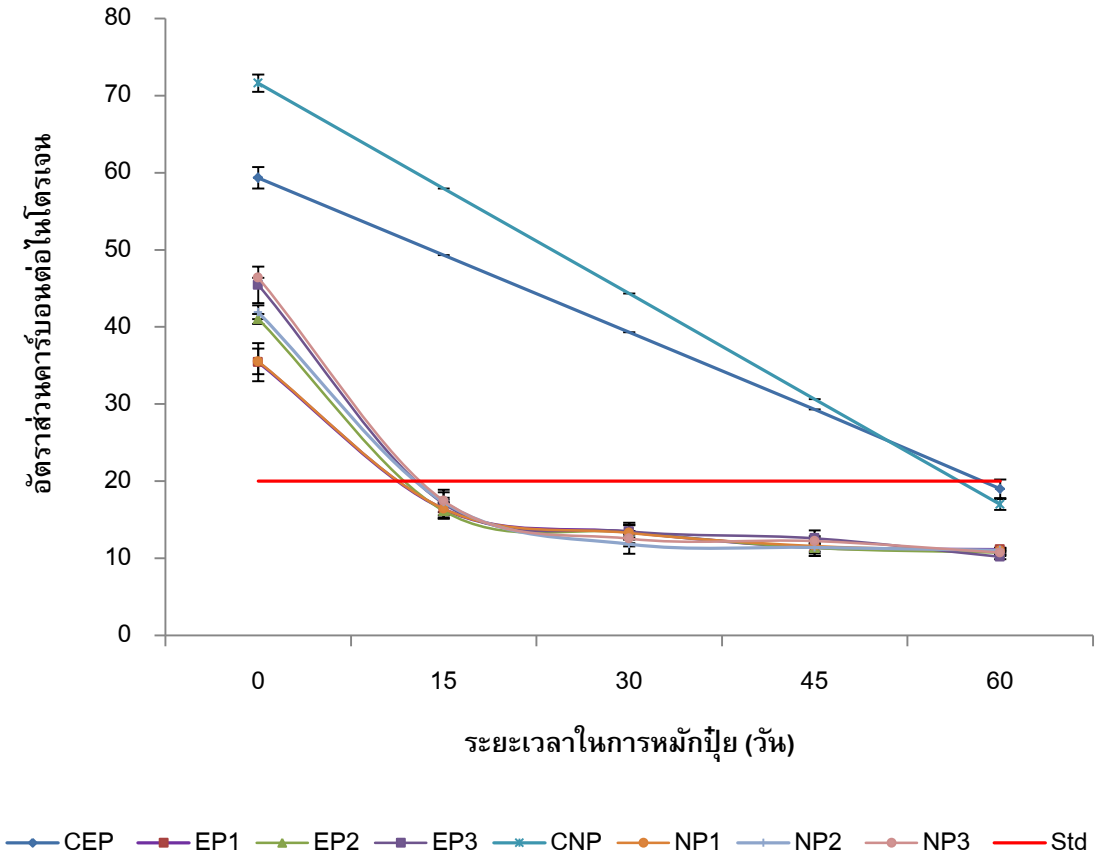
2.2.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

เมื่อเริ่มต้นการหมักชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2 และ EP3 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 59.34:1 ± 1.37, 35.43:1 ± 2.46, 41.05:1 ± 0.65 และ 45.45:1 ± 2.36 และชุดการทดลอง CNP, NP1, NP2 และ NP3 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 71.62:1 ± 1.12, 35.53:1 ± 1.67, 41.91:1 ± 0.89 และ 46.39:1 ± 0.00 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 50 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น ที่เหมาะสมในการหมักปุ๋ยควรมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 30-50:1 จะช่วยให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายวัสดุหมักของจุลินทรีย์ดีที่สุด (Thambirajah and Kuthutheen, 1989) หลังจากการหมักในวันที่ 15 ของการหมัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจุลินทรีย์ ย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนให้มีขนาดเล็กลง เพื่อใช้อินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน ในการสร้างส่วนประกอบของเซลล์

เพื่อเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมัก และอินทรีย์คาร์บอนบางส่วนถูกแปรสภาพไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซน์ ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนสะสมในวัสดุหมักสูงขึ้น เมื่อวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก มีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็ว อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักในชุดการทดลอง EP1, EP2 และ EP3 เท่ากับ 16.39:1, 16.15:1 และ 17.08:1 ตามลำดับ และชุดการทดลอง NP1, NP2 และ NP3 เท่ากับ 16.43:1, 17.28:1 และ 17.47:1 ตามลำดับ พบว่าทะลายที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ มีปริมาณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ใกล้เคียงกันในวันที่ 15 ของการหมัก ซึ่งมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต้องไม่เกิน 20:1 (Samudro and Hermana, 2007) แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักในวันที่ 15 หลังการหมัก พบว่าชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 51.70-56.23 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วงอุณหภูมิ ที่จุลินทรีย์ในกลุ่ม เทอร์โมฟิลิค ยังคงทำงาน (Thermophlic Microorganisms) ช่วงอุณหภูมิ ระหว่าง 50-70 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ยังคงทำกิจกรรมย่อยสลายวัสดุหมัก ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีความสามารถในการย่อยสลายวัสดุหมักได้อย่างเร็วมาก (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2549) บ่งบอกถึงการย่อยสลายวัสดุหมักยังไม่สมบูรณ์ และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบอื่น เช่น ลักษณะเส้นใยปาล์ม พบว่ายังคงมีความแข็งกระด้าง ไม่ร่วนซุย และยังคงฉีกแยกออกจากกันได้ยาก จึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม CEP และ CNP อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 49.33:1 ± 0.00 และ 57.96:1 ± 0.00 ตามลำดับ ซึ่งชุดควบคุมยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ และเมื่อพิจารณาในวันที่ 30 ของการหมัก พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงระหว่าง 11.84-14.24:1 อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยลดลงเทียบเท่ากับอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ย แสดงว่ากระบวนการหมักเสร็จสมบูรณ์ และได้สารคงตัวที่มีประโยชน์ต่อพืช (นิสากร ทัดแก้ว, 2555) และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ลักษณะเส้นใย พบว่าเส้นใยมีความนุ่ม สามารถฉีกแยกออกจากกันได้ง่าย และมีสีน้ำตาลปนดำ บ่งชี้ว่าการทดลองครั้งนี้ ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 สามารถนำไปใช้งานหลังจากวันที่ 30 ของการหมัก และวันสุดท้ายของการหมัก (วันที่ 60 หลังการหมัก) ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ

11.14:1 ± 0.24, 10.74:1 ± 0.44, 10.20:1 ± 0.31, 11.00:1 ± 0.00, 11.05:1 ± 0.28 และ 11.75:1 ± 0.28 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และชุดควบคุม CEP และ CNP มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 19.00:1 ± 1.20 และ 17.00:1 ± 0.71 ตามลำดับ ถึงแม้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของชุดควบคุมจะต่ำกว่า 20:1 เมื่อพิจารณาคุณสมบัติอื่น เช่น ลักษณะเส้นใยปาล์ม พบว่า เส้นใยปาล์มมีลักษณะแข็งกระด้าง ฉีกออกจากกันได้ยาก ยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

จากการทดลองในครั้งนี้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สอดคล้องกับการทดลองผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ผสมกับมูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ มูลวัว และมูลแพะ ภายในระยะเวลา 90 วัน หลังการหมัก พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก เท่ากับ 12.1:1, 18.6:1, 18.1:1 และ 14.1:1 ตามลำดับ (Thambirajah *et al*., 2009) และเช่นเดียวกันกับการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน โดยกำหนดอัตราส่วนเริ่มต้นที่ 35:1 เมื่อวันที่ 15 ของการหมักพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักลดลงเหลือ เท่ากับ 16:1 และวันสุดท้ายของการหมัก วันที่ 90 หลังเริ่มต้นการหมัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ เท่ากับ 10:1 (วธิดา คะนะแนม, 2551) และสอดคล้องกับการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันผสมกับมูลไก่ วันที่ 60 หลังการหมัก มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 12.1:1 (Thambirajah *et al*., 1995) จึงสรุปได้ว่า การผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน โดยใช้วัสดุหมักร่วมที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง ช่วยให้วัสดุหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 และวัสดุหมักย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ ภายในระยะเวลา 1-2 เดือน หลังเริ่มต้นการหมัก



ภาพที่ 50 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในกองปุ๋ยหมักตลอดกระบวนการหมัก เปรียบเทียบระหว่างการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบกับกากตะกอนดีแคนเตอร์

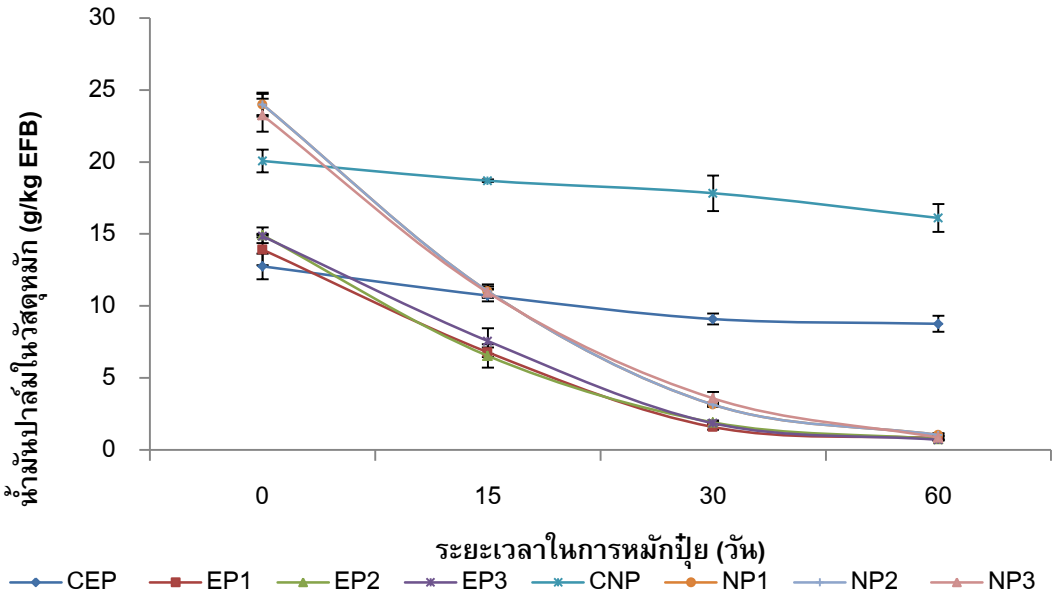
2.2.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก

เมื่อเริ่มต้นการหมักชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2 และ EP3 มีปริมาณน้ำมันปาล์มผสมอยู่ในวัสดุหมัก เท่ากับ 12.75 ± 0.89, 13.91 ± 1.09, 14.91 ± 0.55 และ 14.84 ± 0.07 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก และชุดการทดลอง CNP, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก เท่ากับ 20.07 ± 0.79, 23.99 ± 0.83, 22.51 ± 0.74 และ 23.24 ± 1.15 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 51 ซึ่งผลของการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมักลดลงประมาณ 7.32-9.08 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก การคำนวณปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก

ดังแสดงในภาคผนวก ก. หลังจากการหมัก 15 วันพบว่า ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 ปริมาณน้ำมันปาล์มลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่า เท่ากับ 6.78 ± 0.34, 6.53 ± 0.81, 7.56 ± 0.89, 11.02 ± 0.47, 11.02 ± 0.35 และ 10.93 ± 0.27 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก ตามลำดับ มีอัตราการลดลง เท่ากับ 51.25, 56.20, 49.05, 54.06, 51.44 และ 52.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก (ซุปเปอร์ พ.ด.1) จะมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายไขมันได้ 2 ชนิดคือ จุลินทรีย์ จำนวน 2 สายพันธุ์ ซึ่งมีจุลินทรีย์แต่ละชนิดไม่ต่ำกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัม ในช่วง 15 วันแรกของการหมัก อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักค่อนข้างสูง อยู่ในช่วงระหว่าง 50-70 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเป็นช่วงที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตและทำกิจกรรมย่อยสลายวัสดุของจุลินทรีย์ (อานัฐ ตันโช, 2549) ส่งผลให้น้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก ถูกย่อยสลายจนลดลงตามระยะเวลาการหมัก ส่วนชุดควบคุม CEP และ CNP มีน้ำมันปาล์ม เท่ากับ 10.72 ± 0.41 และ 18.70 ± 0.08 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก มีอัตราการลดลง เท่ากับ 15.92 และ 6.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมัก (วันที่ 60 ของการหมัก) ชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณน้ำมันปาล์มผสมอยู่ในวัสดุหมัก เท่ากับ 0.81 ± 0.17, 0.75 ± 0.07, 0.70 ± 0.03, 1.04 ± 0.08, 1.04 ± 0.11 และ 0.86 ± 0.16 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก ตามลำดับ มีอัตราการลดลงเท่ากับ 94.17, 94.96, 95.28, 95.66, 95.38 และ 96.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งชุดควบคุม CEP และ CNP มีค่าเท่ากับ 8.76 ± 0.57 และ 16.11 ± 0.98 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก ตามลำดับ มีอัตราการลดลง เท่ากับ 31.29 และ 19.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการย่อยสลายวัสดุหมักของจุลินทรีย์ สามารถลดปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมักได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 60 วันหลังการหมัก

การเปลี่ยนแปลงน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก สอดคล้องกับการทดลองการย่อยสลายกากไขมันโดยวิธีการทำปุ๋ยหมัก ในการทดลองใช้กากไขมันจากถังดักไขมัน มาผสมกับขี้เลื่อย และขุยมะพร้าว โดย แบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง ซึ่งการทดลองที่ 1 กากไขมัน กับขี้เลื่อย และการทดลองที่ 2 กากไขมัน กับขุยมะพร้าว โดยมีปริมาณกากไขมันผสมอยู่ 16.97 และ 16.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า อัตราการย่อยสลายไขมันอยู่ที่ 2.7 และ 9.9 กรัมต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก การทดลองที่ 1 ใช้เวลา 48 วัน และการทดลองที่ 2 ใช้เวลา 13 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดกากไขมันได้มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลา พบว่า การใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุหมักร่วมกับกากไขมัน มีประสิทธิภาพการย่อยสลายไขมัน ได้

ดีกว่าการใช้ขี้เลื่อยเป็นวัสดุหมักร่วม หลังจากนั้นทำการทดลองเพิ่มเติมโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุหมักร่วมในการย่อยสลายกากไขมัน โดยการเปรียบเทียบกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเป็นการทดลองที่ 3 และการหมักแบบใช้อากาศ เป็นการทดลองที่ 4 โดยมีปริมาณกากไขมันเริ่มต้นที่ 31.76 และ 33.44 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราการย่อยสลายกากไขมัน มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 65 และ 30 ตามลำดับ ซึ่งเห็นว่า การย่อยสลายกากไขมันด้วยการผลิตปุ๋ยหมักร่วม กับขุยมะพร้าว โดยวิธีเติมอากาศ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้ดีที่สุด โดยสามารถกำจัดไขมันได้มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 30 วัน หลังจากนั้นทำการทดลองการหมักแบบใช้อากาศเพิ่มเติม โดย กำหนดปริมาณไขมันที่ผสมกับวัสดุหมัก เริ่มต้นเท่ากับ 33.44, 41.85 และ 50.03 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการย่อยสลายไขมันมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในวันที่ 35, 47 และ 58 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า กากไขมัน 40-60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถนำมาผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากขุยมะพร้าว โดยระบบใช้อากาศสามารถลดปริมาณกากไขมันในปุ๋ยหมักได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะเวลาในการหมักน้อยกว่า 60 วัน (สมเดช ใจเพ็ชร์, 2543)



ภาพที่ 51 ปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมักตลอดกระบวนการ ชุดการทดลองทะลายเปล่า ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่หีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

3 ผลของการติดตามคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้ เปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

3.1 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ปริมาณธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นธาตุอาหารที่พืชมีความต้องการในปริมาณมาก โดยทั่วไปปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมัก ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา และปริมาณธาตุอาหารหลักของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก จึงต้องมีการกำหนดปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมัก เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพของปุ๋ยหมัก

3.1.1 ไนโตรเจน

เมื่อเริ่มต้นการหมักชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2, EP3, CNP, NP1, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.70 ± 0.03, 1.16 ± 0.04, 0.97 ± 0.07, 0.88 ± 0.08, 0.62 ± 0.04, 1.21 ± 0.03, 1.05 ± 0.10 และ 0.97 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8 และเมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ เป็นแหล่งไนโตรเจนมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 3.34 ± 0.03, 3.42 ± 0.04, 3.55 ± 0.08, 3.09 ± 0.07, 3.18 ± 0.10 และ 3.31 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้น เท่ากับ 65.26, 71.64, 75.21, 60.84, 66.98 และ 70.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และชุดควบคุมทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและ ไม่ผ่านการหีบ (CEP และ CNP) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 1.83 ± 0.06 และ 2.21 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 61.74 และ 71.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ต้องไม่ต่ำกว่า 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

3.1.2 ฟอสฟอรัส

เมื่อเริ่มต้นการหมัก ชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2, EP3, CNP, NP1, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.18 ± 0.04, 0.28 ± 0.00, 0.34 ± 0.03, 0.27 ± 0.03, 0.21 ± 0.03, 0.25 ± 0.01, 0.46 ± 0.00 และ 0.39 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 8 เมื่อสิ้นสุดการหมักชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.68 ± 0.08, 0.58 ± 0.10, 0.57 ± 0.03,

0.64 ± 0.04, 0.59 ± 0.03 และ 0.66 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งชุดควบคุม CEP และ CNP มีปริมาณฟอสฟอรัส ในวันสุดท้ายของการหมัก เท่ากับ 0.39 ± 0.04 และ 0.40 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งทุกชุดการทดลองผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมด ยกเว้นชุดควบคุม CEP และ CNP ที่มีค่าฟอสฟอรัสต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

การทดลองครั้งนี้ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จะมีปริมาณสูงกว่าการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผสมกับกากปฏิกูล เมื่อสิ้นสุดการหมัก ในวันที่ 90 หลังการหมักมีปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Kala *et al*., 2009) และการทดลองครั้งนี้ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้มีค่าต่ำกว่า การผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก วันที่ 51 หลังการหมัก มีปริมารฟอสฟอรัส เท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Yahya *et al*., 2010)

3.1.3 โพแทสเซียม

เมื่อเริ่มต้นการหมัก ชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2, EP3, CNP, NP1, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณโพแทสเซียม เท่ากับ 0.39 ± 0.11, 0.54 ± 0.10, 0.55 ± 0.08, 0.36 ± 0.01, 0.41 ± 0.03, 0.69 ± 0.07, 0.59 ± 0.04 และ 0.40 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 10 เมื่อสิ้นสุดการหมักชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP1, NP2 และ NP3มีค่าโพแทสเซียม เท่ากับ 4.59 ± 0.03, 4.33 ± 0.06, 4.43 ± 0.08, 4.47 ± 0.10, 4.38 ± 0.08 และ 4.99 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่ามีอัตราการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียม เท่ากับ 88.24, 87.30, 91.87, 84.56, 86.53 และ 91.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งชุดควบคุม CEP และ CNP มีปริมาณโพแทสเซียมในวันสุดท้ายของการหมัก เท่ากับ 0.42 ± 0.01 และ 0.52 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียม เท่ากับ 7.14 และ 21.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งทุกชุดการทดลองผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมด ยกเว้ยชุดควบคุม CEP ที่มีค่าโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

จากการทดลองครั้งนี้ ปริมาณโพแทสเซียมที่ได้มีค่าสูงกว่าการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ในวันที่ 60 หลังการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียม เท่ากับ 2.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Baharuddin *et al*., 2009) และการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ วันที่ 51 หลังการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมเท่ากับ 2.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Yahya *et al*., 2010)

ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม) ที่ได้จากการผลิตปุ๋ยหมัก จากชุดการทดลอง CEP, EP1, EP2, EP3, CNP, NP1, NP2 และ NP3 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ ที่กำหนดให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ต้องไม่ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัสต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และโพแทสเซียมต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2551) พบว่าชุดการทดลองที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ เป็นแหล่งไนโตรเจน ได้แก่ ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณธาตุอาหารหลักผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ยกเว้นชุดควบคุม CEP และ CNP ที่มีปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ต่ำกว่ามาตรฐาน และเมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติอื่น เช่นการย่อยสลายของวัสดุหมัก พบว่าวัสดุหมักยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

ตารางที่ 10 ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ของชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่หีบกับกากตะกอนดีแคนเตอร์

ชุดการทดลอง	ธาตุอาหารหลัก					
	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)		ฟอสฟอรัส (%)		โพแทสเซียม (%)	
	วันที่ 0	วันที่ 60	วันที่ 0	วันที่ 60	วันที่ 0	วันที่ 60
CEP	0.70 ± 0.03	1.83 ± 0.06	0.18 ± 0.04	0.39 ± 0.04	0.39 ± 0.11	0.42 ± 0.01
EP1	1.16 ± 0.04	3.34 ± 0.03	0.28 ± 0.00	0.68 ± 0.08	0.54 ± 0.10	4.59 ± 0.03
EP2	0.97 ± 0.07	3.42 ± 0.04	0.34 ± 0.03	0.58 ± 0.10	0.55 ± 0.08	4.33 ± 0.06
EP3	0.88 ± 0.04	3.55± 0.08	0.27 ± 0.03	0.57 ± 0.03	0.36 ± 0.01	4.43 ± 0.08
CNP	0.62 ± 0.04	2.21± 0.03	0.21 ± 0.03	0.40 ± 0.03	0.41 ± 0.03	0.52 ± 0.01
NP1	1.21± 0.03	3.09 ± 0.07	0.25 ± 0.01	0.64 ± 0.04	0.69 ± 0.07	4.47 ± 0.10
NP2	1.05 ± 0.10	3.18 ± 0.10	0.46 ± 0.00	0.59 ± 0.03	0.59 ± 0.04	4.38 ± 0.08
NP3	0.97 ± 0.07	3.31 ± 0.08	0.39 ± 0.03	0.66 ± 0.03	0.40 ± 0.00	4.99 ± 0.00

3.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 11.14:1 ± 0.24, 10.74:1 ± 0.44, 10.20:1 ± 0.31, 11.00:1 ± 0.00, 11.05:1 ± 0.28 และ 10.75:1 ± 0.28 ตามลำดับ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน บ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ของการย่อยสลายวัสดุหมัก หากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูง เมื่อนำไปใช้ ทำให้เกิดการย่อยสลายลงในดิน และหากใช้กับสภาพดินที่มีการระบายอากาศไม่ดี อาจทำให้พืชเกิดการเน่าเปื่อยในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน อีกทั้งยังก่อให้เกิดกรดอินทรีย์ที่เป็นพิษต่อพืชได้ ทุกชุดการทดลองมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ต้องไม่สูงกว่า 20:1 (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

3.3 ค่าการนำไฟฟ้า

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 1.93 ± 0.16, 1.84 ± 0.13, 2.08 ± 0.06, 2.04 ± 0.08, 1.90 ± 0.11 และ 1.74 ± 0.44 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเค็มของเกลือที่ละลายน้ำได้ ในปุ๋ยหมักค่าความนำไฟฟ้าไม่ควรเกิน 6 เดซิซีเมนต่อเมตร เนื่องจากหากสูงเกินไป มีผลต่อการดูดน้ำไปใช้ และการเจริญเติมโตของพืชได้ ทุกชุดการทดลองมีค่าผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ต้อง ไม่เกิน 6 เดซิซีเมนต่อเมตร (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

3.4 อินทรียวัตถุ

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีปริมาณอินทรียวัตถุ เท่ากับ 58.40 ± 0.33, 63.34 ± 1.44, 63.08 ± 0.24, 56.37 ± 0.64, 58.45 ± 0.57 และ 58.59 ± 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ปริมาณอินทรียวัตถุ คือ ส่วนของซากพืช ซากสัตว์ ที่กำยังย่อยสลาย รวมทั้งเซลล์ของจุลินทรีย์ทั้งที่มีชีวิตอยู่ และส่วนตายแล้ว ในปุ๋ยหมัก อินทรียวัตถุจึงเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพปุ๋ยหมัก ทุกชุดการทดลองมีอินทรียวัตถุสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ต้องไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

3.5 ขนาดของปุ๋ยหมัก

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ขนาดของปุ๋ยหมัก ของชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 จะมีค่าน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร ขนาดของปุ๋ยบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของการย่อยสลาย วัสดุหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว ต้องสามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12.5 x 12.5 มิลลิเมตรได้ หากมีขนาดใหญ่กว่านี้แสดงว่าวัสดุหมักย่อยสลายไม่สมบูรณ์ ทุกชุดการทดลองมีค่าผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ต้องไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

3.6 ปริมาณหิน กรวด ขนาดตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร ขึ้นไป

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ทำการทดสอบปริมาร หิน กรวด ขนาดตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรขึ้นไป โดยการร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 5 มิลลิเมตร (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 ไม่พบ หิน กรวด ที่มีขนาดเกิน 5 มิลลิเมตร ปริมาณหิน และกรวด เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เนื่องจากไม่มีประโยชน์ต่อพืช และเป็นพาระในการขนส่ง อีกทั้งเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้จำหน่ายนำวัสดุเหล่านี้มาใส่ในปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มน้ำหนักปุ๋ย เพื่อช่วยเพิ่มผลประโยชน์ทางการค้า (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

3.7 สารหนู

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาณสารหนูที่ผสมในปุ๋ยหมัก ของชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 เท่ากับ 0.273 ± 0.39, 0.050 ± 0.07, 0.098 ± 0.14, 0.099 ± 0.14, 0.720 ± 0.88, และ 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตร กำหนด ต้องมีปริมาณสารหนูไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งทุกชุดการทดลองผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมด

3.8 แคดเมียม

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาณแคดเมียมที่ผสมในปุ๋ยหมัก ของชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 เท่ากับ 0.125 ± 0.03, 0.149 ± 0.00, 0.147 ± 0.00, 0.149 ± 0.00, 0.175 ± 0.03 และ 0.149 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตร กำหนด ปริมาณแคดเมียมต้องไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งทุกชุดการทดลองผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมด

3.9 โครเมียม

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาณโครเมียมที่ผสมในปุ๋ยหมัก ของชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 เท่ากับ 1.741 ± 0.42, 1.790 ± 0.13, 1.919 ± 0.08, 1.814 ± 0.18, 1.967 ± 0.11 และ 2.130 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ปริมาณโครเมียมต้องไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งทุกชุดการทดลองผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมด

3.10 ทองแดง

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาณทองแดงที่ผสมในปุ๋ยหมัก ของชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 เท่ากับ 55.28 ± 5.53, 55.78 ± 3.14, 58.91 ± 1.59, 56.36 ± 0.15, 60.67 ± 1.95 และ 59.99 ± 0.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ปริมาณทองแดงต้องไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งทุกชุดการทดลองผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมด

3.11 ตะกั่ว

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาณตะกั่วที่ผสมในปุ๋ยหมัก ของชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 เท่ากับ 1.49 ± 0.84, 1.27 ± 0.38, 1.53 ± 0.77, 1.04 ± 0.21, 1.30 ± 0.21 และ 1.91 ± 0.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ปริมาณตะกั่วต้องไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งทุกชุดการทดลองผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมด

3.12 ปรอท

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 ไม่พบปริมาณปรอท ปนเปื้อนในปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ปริมาณปรอทต้องไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งทุกชุดการทดลองผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมด

จากการติดตามคุณสมบัติของปุ๋ยที่ได้จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ชุดการทดลอง EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 โดยการตรวจสอบ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม อินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ค่าการนำไฟฟ้า ขนาดของปุ๋ย ปริมาณหิน กรวด ขนาด 5 มิลลิเมตรขึ้นไป สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และปรอท ดังแสดงในตารางที่ 11 ตามมาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด พบว่าทุกชุดการทดลองมีค่าผ่านตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด จึงจัดเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

ตารางที่ 11 ผลของการติดตามคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้ เปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

รายการวิเคราะห์	ชุดการทดลอง					
	EP1	EP2	EP3	NP1	NP2	NP3
ไนโตรเจนทั้งหมด (%w/w)	3.34 ± 0.03	3.42 ± 0.04	3.55 ± 0.08	3.09 ± 0.07	3.18 ± 0.10	3.31± 0.08
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%w/w)	0.68 ± 0.08	0.58 ± 0.10	0.57 ± 0.03	0.64 ± 0.03	0.59 ± 0.03	0.66 ± 0.03
โพแทสเซียมทั้งหมด (%w/w)	4.59 ± 0.03	4.33 ± 0.06	4.43 ± 0.08	4.47 ± 0.10	4.38 ± 0.08	4.99 ± 0.00
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%w/w)	58.40 ± 0.33	63.34 ± 1.44	63.08 ± 0.24	56.37 ± 0.64	58.45 ± 0.57	58.59 ± 0.75
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	11.14 ± 0.24	10.74 ± 0.44	10.20 ± 0.31	11.00 ± 0.00	11.05 ± 0.28	10.75 ± 0.28
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	1.93 ± 0.16	1.84 ± 0.13	2.08 ± 0.06	2.04 ± 0.08	1.90 ± 0.11	1.74 ± 0.04
ขนาดของปุ๋ยต้องไม่เกิน 12.5X12.5 มิลลิเมตร	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ปริมาณหิน กรวด ขนาดตั้งแต่ 5 มิลิเมตร ขึ้นไป	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
สารหนู (mg/kg)	0.27 ± 0.39	0.05 ± 0.07	0.10 ± 0.14	0.10 ± 0.14	0.07 ± 0.88	0.00 ± 0.00

ตารางที่ 11 (ต่อ)

รายการวิเคราะห์	ชุดการทดลอง					
	EP1	EP2	EP3	NP1	NP2	NP3
แคดเมียม (mg/kg)	0.12 ± 0.03	0.15 ± 0.00	0.15 ± 0.00	0.15 ± 0.00	0.18 ± 0.03	0.15 ± 0.00
โครเมียม (mg/kg)	1.74 ± 0.42	1.79 ± 0.13	1.92 ± 0.08	1.81 ± 0.18	1.97 ± 0.11	2.13 ± 0.19
ทองแดง (mg/kg)	55.28 ± 5.53	55.78 ± 3.14	58.91 ± 1.59	56.36± 0.15	60.67 ± 1.95	59.99 ± 0.36
ตะกั่ว (mg/kg)	1.49 ± 0.84	1.27 ± 0.38	1.53 ± 0.77	1.04 ± 0.21	1.29 ± 0.21	1.91 ± 0.26
ปรอท (mg/kg)	0	0	0	0	0	0

4 ผลของการปลูกแตงกวาเพื่อทดสอบคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้

4.1 ผลของการปลูกแตงกวาโดยใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักทั่วไป

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

เมื่อเริ่มต้นการปลูก ชุดการทดลอง ที่ใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีใบจริงเกิดขึ้น ในวันที่ 7 ของการปลูกทุกกระถาง เร็วกว่าชุดการทดลอง ที่ใช้ปุ๋ยหมักทั่วไปในการปลูก มีใบจริงเกิดขึ้น ในวันที่ 7 ของการปลูกไม่ครบทุกกระถาง และลักษณะสีของใบ ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีสีเขียวเข้มกว่า ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักทั่วไป ต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 400 กรัม ในวันที่ 7 ของการปลูกดังแสดงในภาพที่ 52 และต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักทั่วไป 400 กรัม ดังแสดงในภาพที่ 53

ภาพที่ 52 ต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 400 กรัม วันที่ 7 ของการปลูก

ภาพที่ 53 ต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักทั่วไป 400 กรัม วันที่ 7 ของการปลูก

เมื่อสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างในวันที่ 29 หลังการปลูก พบว่า ชุดการทดลองที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีจำนวนของใบ มากกว่าชุดการทดลองที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักทั่วไป และการปลูกแตงกวาด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เริ่มให้ดอกในวันที่ 27 หลังการปลูก ส่วนชุดการทดลองที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักทั่วไป เริ่มให้ดอกในวันที่ 30 หลังการปลูก ซึ่งให้ดอกช้ากว่า 3 วัน ต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 400 กรัม ในวันที่ 29 หลังการปลูก ดังแสดงในภาพที่ 54 และต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักทั่วไป 400 กรัม ในวันที่ 29 หลังการปลูก ดังแสดงในภาพที่ 55

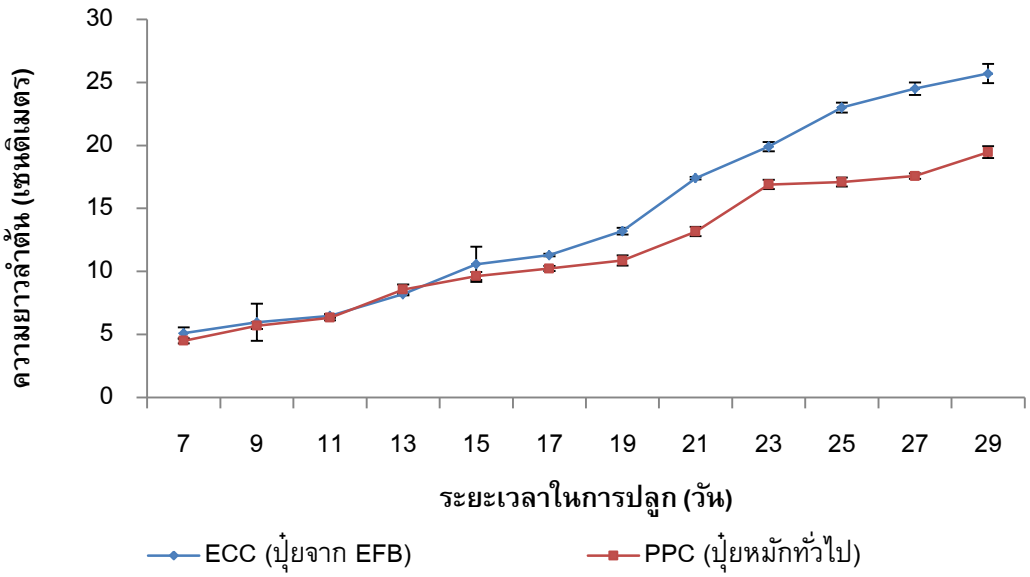
ภาพที่ 54 ต้นแตกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 400 กรัม วันที่ 29 ของการปลูก

ภาพที่ 55 ต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักทั่วไป 400 กรัม วันที่ 29 ของการปลูก

4.1.2 การตรวจวัดความยาวของลำต้น

ผลการปลูกแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยที่ได้จากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและปุ๋ยหมักชีวภาพทั่วไป ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง คือ ECC (ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) และ PPC (ปุ๋ยหมักทั่วไป) โดยกำหนดปริมาณน้ำหนักปุ๋ยที่เท่ากัน คือ 400 กรัม

ต่อกระถาง เมื่อวันที่ 7 หลังการปลูก พบว่าความยาวของลำต้นแตงกวา ชุดการทดลอง ECC และ PPC เท่ากับ 5.10 ± 0.46 และ 4.50 ± 0.20 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 56 ไม่มีความแตกต่างกันมากในช่วง 7 วันแรกหลังการปลูก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปหลังจากวันที่ 19 หลังการปลูก ความยาวของลำต้นแตงกวา ชุดการทดลอง ECC มีค่ามากกว่า PPC เท่ากับ 2.33 เซนติเมตร และวันสุดท้ายของการเก็บตัวอย่าง วันที่ 29 หลังการปลูก ความยาวของต้นแตงกวา ชุดการทดลอง ECC และ PPC เท่ากับ 25.70 ± 0.75 และ 19.47 ± 0.46 เซนติเมตร ตามลำดับ การปลูกแตงกวาด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน สามารถให้ความยาวของลำต้นได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักทั่วไป เท่ากับ 6.23 เซนติเมตร หรือคิดเป็น 24.24 เปอร์เซ็นต์

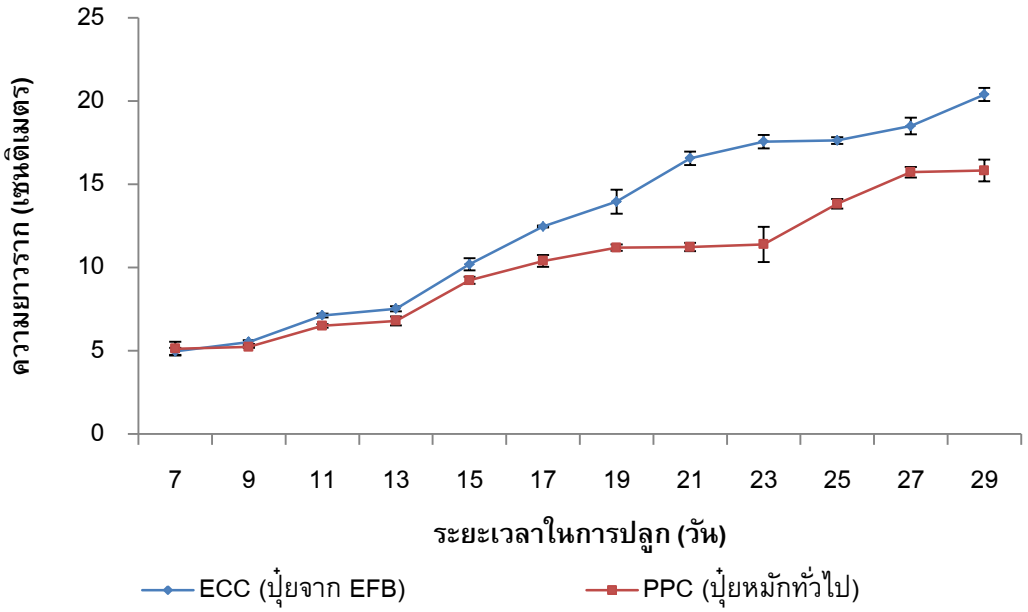


ภาพที่ 56 ความยาวลำต้นของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยหมักทั่วไป

4.1.3 การตรวจวัดความยาวราก

ผลการการปลูกแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยหมัก จากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยหมักชีวภาพทั่วไป ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง คือ ECC (ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) และ PPC (ปุ๋ยหมักทั่วไป) โดยกำหนดปริมาณน้ำหนักปุ๋ยที่เท่ากัน คือ 400 กรัม เมื่อวันที่ 7 หลังการปลูก ความยาวรากของแตงกวา ชุดการทดลอง ECC และ PPC

เท่ากับ 4.97 ± 0.21 และ 5.13 ± 0.42 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 57 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันมากในช่วง 7 วันแรกหลังการปลูก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปหลังจากวันที่ 21 หลังการปลูก ความยาวรากของแตงกวา ชุดการทดลอง ECC มีค่ามากกว่า PPC เท่ากับ 5.34 เซนติเมตร และวันสุดท้ายของการเก็บตัวอย่าง วันที่ 29 หลังการปลูก ความยาวรากของแตงกวา ชุดการทดลอง ECC และ PPC เท่ากับ 20.40 ± 0.40 และ 15.83 ± 0.65 เซนติเมตร ตามลำดับ การปลูกแตงกวาด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน สามารถให้ความยาวรากได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักทั่วไป 4.57 เซนติเมตร หรือคิดเป็น 22.40 เปอร์เซ็นต์

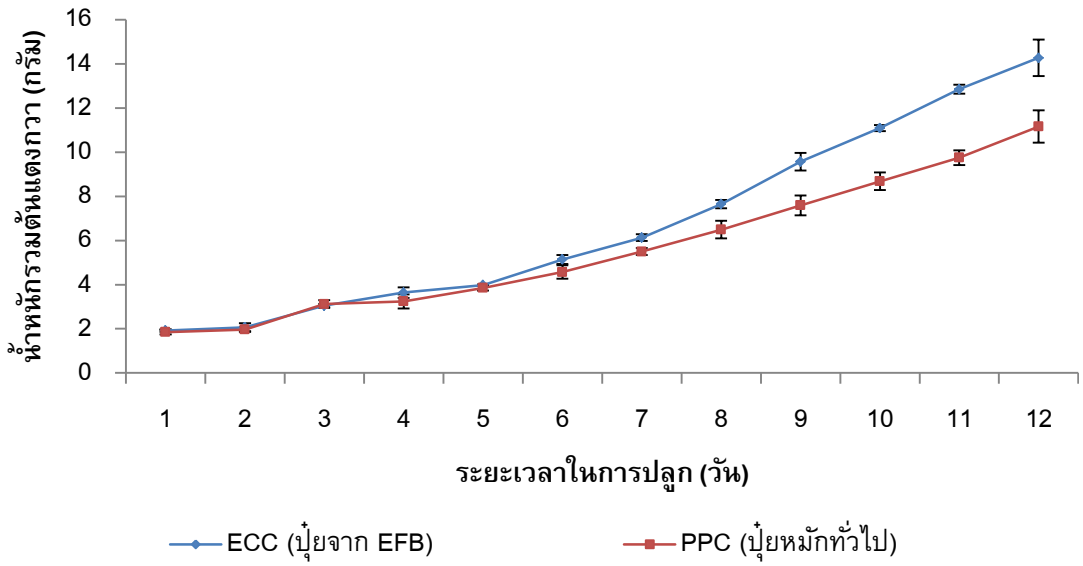


ภาพที่ 57 ความยาวรากของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยหมักทั่วไป

4.1.4 การตรวจวัด น้ำหนักรวม ลำต้น ราก และใบ

ผลการการปลูกแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยที่ได้จากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยหมักชีวภาพทั่วไป ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง คือ ECC (ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) และ PPC (ปุ๋ยหมักทั่วไป) โดยกำหนดปริมาณน้ำหนักปุ๋ยที่เท่ากัน คือ 400 กรัม เมื่อวันที่ 7 หลังการปลูก น้ำหนักรวมของลำต้น ราก และใบ ชุดการทดลอง ECC และ PPC เท่ากับ 1.92 ± 0.06 และ 1.85 ± 0.11 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 58 ไม่มีความ

แตกต่างกันมากในช่วง 7 วันแรกหลังการปลูก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปหลังจากวันที่ 21 หลังการปลูก น้ำหนักรวมของลำต้น ราก และใบ ชุดการทดลอง ECC มีค่ามากกว่า PPC เท่ากับ 1.16 กรัม และวันสุดท้ายของการเก็บตัวอย่าง วันที่ 29 หลังการปลูก น้ำหนักรวมของลำต้น ราก และใบ ชุดการทดลอง ECC และ PPC เท่ากับ 14.27 ± 0.83 และ 11.16 ± 0.73 กรัม ตามลำดับ การปลูกแตงกวาด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน สามารถให้น้ำหนักรวมของลำต้น ราก และใบ มากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักทั่วไป 3.11 กรัม หรือคิดเป็น 21.79 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 58 น้ำหนักรวม ของลำต้น ใบ และราก ของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยหมักทั่วไป

จากการทดลองปลูกแตงกวา ด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักทั่วไป โดยการกำหนด ปริมาณปุ๋ยหมักที่เท่ากัน เท่ากับ 400 กรัม และทำการบันทึก ความยาวลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักรวมลำต้น ราก และใบ วันที่ 29 หลังการปลูก การใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีความยาวลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักรวม ของลำต้น ราก และใบ สูงกว่าการใช้ปุ๋ยหมักทั่วไป เท่ากับ 24.32, 22.30 และ 21.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจาก ลักษณะของปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีลักษณะที่ยุ่ยกว่า และมีขนาดของเม็ดปุ๋ยที่เล็กกว่าปุ๋ยหมักทั่วไป ขนาดปุ๋ยหมักที่เล็กกว่า ส่งผล

ให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่า และโครงสร้างของดิน เมื่อผสมกับปุ๋ยหมักดีกว่า สอดคล้องกับการศึกษาเปรียบเทียบผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ต่อคุณสมบัติและโครงสร้างดิน โดยควบคุมการปลูกผักคะน้าที่แตกต่างกัน คือระยะการเตรียมดิน และการคลุมหน้าดิน เพื่อต้องการเปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ และเคมีของดิน พบว่าการใช้ปุ๋ยหมัก ทั้งที่อัดเม็ด และไม่อัดเม็ดคลุมหน้าดินมีผลต่อโครงสร้างของดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยการคลุมดินทำให้มีความหนาแน่นของดิน น้อยกว่าการไม่คลุมดิน ส่วนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ผ่านการอัดเม็ดคลุมดิน ทำให้ดินมีค่าความพรุน มากกว่าการใช้ปุ๋ยอัดเม็ด (สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ และคณะ, 2550) และจากการศึกษาเปรียบเทียบคุณค่าของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ที่มีขนาดแตกต่างกัน คือ 3 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 8 มิลลิเมตร โดยการทดสอบการปลูกผักบุ้งจีน พบว่า ขนาดของปุ๋ยที่แตกต่างกันมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต แม้ว่าอัตราการใช้ปุ๋ยสูงเหมือนกันก็ตาม ผลของการใช้ปุ๋ยขนาด 3 มิลลิเมตร จะให้อัตราการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน มากกว่าปุ๋ยขนาด 8 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญ (มงคล ต๊ะอุ่น และคณะ, 2546)

4.2 ผลของการปลูกแตงกวาโดยใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นแตงกวา

เมื่อเริ่มต้นการปลูก ชุดการทดลอง ที่ใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี ให้ใบจริงในวันที่ 7 หลังการปลูกทุกชุดการทดลอง จำนวนใบและสีของใบไม่มีความแตกต่างกันมากนักในช่วง 7 วันแรกหลังการปลูก ต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 200 กรัม ในวันที่ 7 ดังแสดงในภาพที่ 59 และต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยเคมี ในวันที่ 7 ดังแสดงในภาพที่ 60 หลังจากวันที่ 7 ของการปลูก พบว่า ลักษณะทั่วไป ทั้งจำนวนใบ ความเข้มของใบ ชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี มีจำนวนใบ และสีของใบเข้มกว่าชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดหลังจากวันที่ 15 หลักการปลูก

ภาพที่ 59 ต้นแตงกวาปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 200 กรัม วันที่ 7 ของการปลูก

ภาพที่ 60 ต้นแตงกวาปลูกด้วยปุ๋ยเคมี วันที่ 7 ของการปลูก

เมื่อสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างในวันที่ 29 หลังการปลูก พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี มีจำนวนใบมากกว่า ชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน อีกทั้งชุดการทดลองที่ปลูกด้วยปุ๋ยเคมี เริ่มให้ดอกในวันที่ 25 หลังการปลูก ส่วนชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เริ่มให้ดอก หลังจากวันที่ 27 หลังการปลูก ซึ่งให้ดอกช้ากว่า 2 วัน ต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 200 กรัม ในวันที่ 29

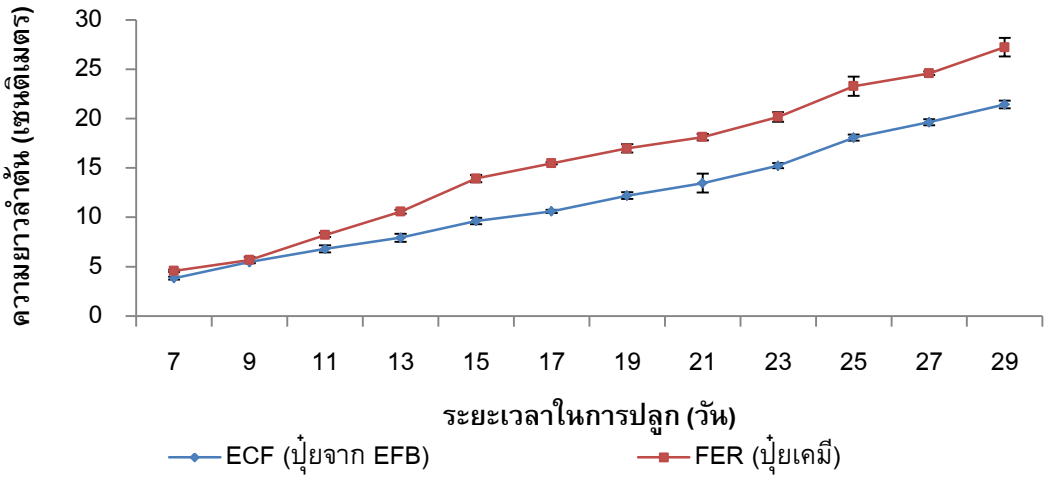
หลังการปลูก ดังแสดงในภาพที่ 61 และต้นแตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยเคมี ในวันที่ 29 หลังการปลูก ดังแสดงในภาพที่ 62

ภาพที่ 61 ต้นแตงกวาปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 200 กรัม วันที่ 29 ของการปลูก

ภาพที่ 62 ต้นแตงกวา ปลูกด้วยปุ๋ยเคมี ในวันที่ 29 ของการปลูก

4.2.2 การตรวจวัด ความยาวของลำต้น

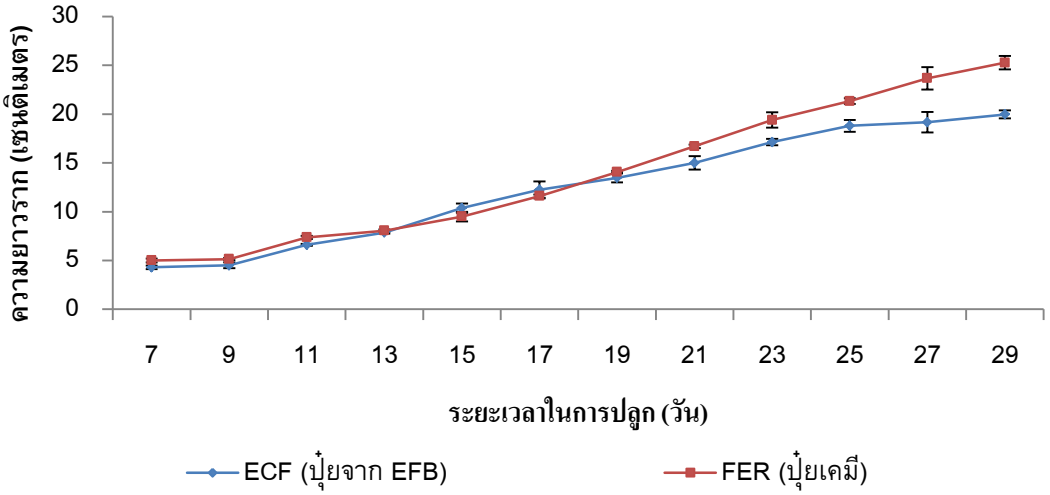
ผลการการปลูกแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมี (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม) ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง คือ ECF (ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) และ FER (ปุ๋ยเคมี) โดยกำหนดปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ทั้ง 2 ชุดการทดลองให้มีปริมาณที่เท่ากัน และใส่ให้แก่ต้นแตงกวาในวันที่ 5 หลังการปลูก เมื่อวันที่ 7 หลังการปลูก พบว่าความยาวของลำต้นแตงกวา ชุดการทดลอง ECF และ FER เท่ากับ 3.83 ± 0.15 และ 4.57 ± 0.11 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 63 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันมากในช่วง 7 วันแรกหลังการปลูก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปความยาวลำต้นเริ่มมีความแตกต่างกัน และหลังจากวันที่ 13 หลังการปลูก ความยาวของลำต้นของแตงกวา ชุดการทดลอง ECF มีค่าน้อยกว่า FER เท่ากับ 2.64 เซนติเมตร และวันสุดท้ายของการเก็บตัวอย่าง วันที่ 29 หลังการปลูก ความยาวของต้นแตงกวา ชุดการทดลอง ECF และ FER เท่ากับ 21.43 ± 0.40 และ 27.23 ± 0.93 เซนติเมตร ตามลำดับ การปลูกแตงกวาด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีความยาวของลำต้นน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 5.80 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าปริมาณธาตุอาหารหลักที่เท่ากันประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันต่ำกว่า ปุ๋ยเคมี สำหรับความยาวของลำต้นแตงกวา 21.30 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 63 ความยาวลำต้นของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมี

4.2.3 การตรวจวัด ความยาวราก

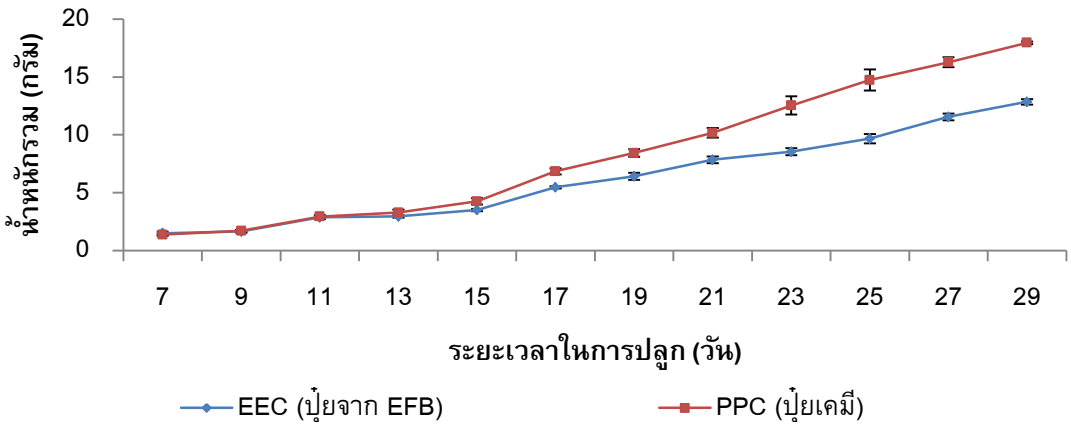
ผลการการปลูกแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและปุ๋ยเคมี (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม) ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง คือ ECF (ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) และ FER (ปุ๋ยเคมี) โดยกำหนดปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ทั้ง 2 ชุดการทดลองให้มีปริมาณที่เท่ากัน และ ใส่ให้แก่ต้นแตงกวาในวันที่ 5 หลังการปลูก เมื่อวันที่ 7 หลังการปลูก ความยาวรากของแตงกวา ชุดการทดลอง ECF และ FER เท่ากับ 4.30 ± 0.17 และ 5.00 ± 0.20 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 64 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันมากในช่วง 7 วันแรกหลังการปลูก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปความยาวรากจะมีความยาวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีความแตกต่างกันหลังจากวันที่ 21 หลังการปลูก ความยาวรากของแตงกวา ชุดการทดลอง ECF มีค่าน้อยกว่า FER เท่ากับ 1.70 เซนติเมตร และวันสุดท้ายของการเก็บตัวอย่าง วันที่ 29 หลังการปลูก ความยาวรากของแตงกวา ชุดการทดลอง ECF และ FER เท่ากับ 19.97 ± 0.40 และ 25.27 ± 0.68 เซนติเมตร ตามลำดับ การปลูกแตงกวาด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีความยาวรากน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 5.30 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าปริมาณธาตุอาหารหลักเท่ากันประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันต่ำกว่า ปุ๋ยเคมี สำหรับความยาวรากของแตงกวา 20.97 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 64 ความยาวรากของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมี

4.2.4 การตรวจวัด น้ำหนักรวม ลำต้น ราก และใบ

ผลการการปลูกแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและปุ๋ยเคมี (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม) ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง คือ ECF (ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน) และ FER (ปุ๋ยเคมี) โดยกำหนดปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ทั้ง 2 ชุดการทดลองให้มีปริมาณที่เท่ากัน และ ใส่ให้แก่ต้นแตงกวาในวันที่ 5 หลังการปลูก เมื่อวันที่ 7 หลังการปลูก พบว่าความน้ำหนักรวมของลำต้น ราก และใบของแตงกวา ชุดการทดลอง ECF และ FER เท่ากับ 1.49 ± 0.13 และ 1.37 ± 0.11 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 65 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันมากในช่วง 7 วันแรกหลังการปลูก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปน้ำหนักรวมของลำต้น ราก และใบ จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีความแตกต่างกันหลังจากวันที่ 17 หลังการปลูก น้ำหนักรวมของลำต้น ราก และใบ ของแตงกวา ชุดการทดลอง ECF มีค่าน้อยกว่า FER เท่ากับ 1.39 กรัม และวันสุดท้ายของการเก็บตัวอย่าง วันที่ 29 หลังการปลูก น้ำหนักรวมของลำต้น ราก และใบ ของแตงกวา ชุดการทดลอง ECF และ FER มีค่าเท่ากับ 12.85 ± 0.24 และ 17.95 ± 0.11 กรัม ตามลำดับ การปลูกแตงกวาด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีความน้ำหนักรวมของลำต้น ราก และใบ น้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 5.29 กรัม แสดงให้เห็นว่าปริมาณธาตุอาหารหลักที่เท่ากัน ประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันต่ำกว่า ปุ๋ยเคมี สำหรับความยาวรากของแตงกวา 28.41 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 65 น้ำหนักรวมของลำต้น ใบ และราก ของแตงกวา เปรียบเทียบระหว่างการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมี

จากการทดลองปลูกแตงกวา ด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี โดยการกำหนด ปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 13.72 กรัม ฟอสฟอรัส เท่ากับ 2.16 กรัม และโพแทสเซียม เท่ากับ 14.60 กรัม และทำการบันทึก ความยาวลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักรวมลำต้น ราก และใบ วันที่ 29 หลังการปลูก การใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีความยาวลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักรวม ของลำต้น ราก และใบต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเท่ากับ 21.30, 20.97 และ 28.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการปลูกจะเป็นการผสมแม่ปุ๋ย สูตรไนโตรเจน 46 เปอร์เซ็นต์ สูตรฟอสฟอรัส 3 เปอร์เซ็นต์ และสูตรโพแทสเซียม 60 เปอร์เซ็นต์ พืชสามารถนำธาตุอาหารหลักไปใช้ได้ทันที ทำให้ประสิทธิภาพการปลูกแตงกวาด้วยปุ๋ยเคมี ดีกว่าการปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

การศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมี โดยการทดสอบการปลูกข้าวโพดฝักอ่อน ซึ่งใช้ปุ๋ยเคมี (ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0) ปุ๋ยมูลเป็ด และปุ๋ยอินทรีย์ RBI ส่งเสริมความสูงของลำต้น และราก ที่ระยะเวลา 30 และ 50 วัน พบว่าการใช้ปุ๋ยเคมี ช่วยส่งเสริมความสูงของลำต้นและรากมากกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ อีกทั้งการใช้ปุ๋ยเคมีส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวโพด สูงกว่าการใช้ปุ๋ยมูลเป็ด และปุ๋ยอินทรีย์ (ชวนพิศ อรุณรังสิกุล, 2548)

5 การวิเคราะห์มูลค่าปุ๋ยหมักที่ได้ทางเศรษฐศาสตร์

5.1 การลงทุนเครื่องจักรในกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก ขนาดกำลังการผลิตที่ 30 ตันทะลายผลปาล์มสดต่อชั่วโมง จะสามารถผลิตผลปาล์มสดได้ 720 ตันต่อวัน และปริมาณทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของผลปาล์มสด ดังนั้น จะมีปริมาณทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเกิดขึ้นวันละ ประมาณ 180 ตัน ซึ่งปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบางแห่ง มีการเพิ่มกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เพื่อนำน้ำมันปาล์มที่ผสมในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันกลับเข้ากระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันก่อนหีบมีค่าเท่ากับ 0.002083 กิโลกรัมต่อทะลายเปล่า 1 กิโลกรัม ผลของการหีบทะลายทำให้ปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีค่าเท่ากับ 0.001361 กิโลกรัมต่อทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1 กิโลกรัม ซึ่งสามารถนำน้ำมันกลับเข้ากระบวนการผลิตได้ เท่ากับ 0.00722 กิโลกรัมต่อทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1 กิโลกรัม ซึ่งสามารถคำนวณผลตอบแทนจากกระบวนการหีบทะลายได้ดังนี้

- ลงทุนเครื่องจักร	=	3,000,000 บาท
- ค่าบำรุงรักษาต่อปี	=	416,000 บาท
- ค่าไฟฟ้าต่อปี	=	1,584,000 บาท
- ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันต่อปี	=	54,000 ตัน
- น้ำมันที่นำกลับได้ต่อปี	=	388.8 ตัน
- ราคาน้ำมันเฉลี่ยต่อกิโลกรัม	=	30 บาท
- รายได้ต่อปี	=	11,664,000 บาท

จากข้อมูลเบื้องต้นสามารถคำนวณผลตอบแทนที่ได้จากกระบวนหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ในส่วนการนำน้ำมันกลับเข้ากระบวนการ ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การคำนวณผลตอบแทนที่ได้จากกระบวนการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

รายการ	เดือน												รวม
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
ลงทุนเครื่องจักร (บาท)	3,000,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,000,000
ค่าบำรุงรักษา (บาท)	0	0	19,500	0	0	188,500	0	0	19,500	0	0	188,500	416,000
ค่าไฟฟ้า (55 kw)	132,000	132,000	132,000	132,000	132,000	132,000	132,000	132,000	132,000	132,000	132,000	132,000	1,584,000
												รายจ่ายสุทธิ	5,000,000
ผลตอบแทน (บาทต่อเดือน)	972,000	972,000	972,000	972,000	972,000	972,000	972,000	972,000	972,000	972,000	972,000	972,000	11,664,000
												กำไรสุทธิ	6,664,000

หมายเหตุ

1. คิดจำนวนวันทำงานที่ 25 วัน ต่อเดือน หรือ 300 วัน ต่อปี
2. ราคาน้ำมันปาล์ม กิโลกรัมละ 30 บาท
3. เครื่องจักรขนาด 55 กิโลวัตต์ คิดค่าไฟฟ้าที่ 4 บาทต่อหน่วย

5.2 การผลิตปุ๋ยหมัก

5.2.1 ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมัก

เครื่องตัดย่อยทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ขนาด 7.5 กิโลวัตต์ สามารถตัดย่อยทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันได้ 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราค่าไฟฟ้า กิโลวัตต์ละ 5 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการตัดย่อยทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เท่ากับ 0.19 บาทต่อกิโลกรัม และวัสดุหมักเมื่อผ่านการหมักปุ๋ยปริมาณลดลง เท่ากับ 1/2 ของปริมาตรเดิม ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการผลิตปุ๋ยหมัก ในการตัดย่อยวัสดุหมัก เท่ากับ 0.38 บาทต่อปุ๋ยหมัก 1 กิโลกรัม

เครื่องอัดอากาศ ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ อัตราค่าไฟฟ้า 5 บาทต่อกิโลวัตต์ ให้อากาศแก่วัสดุหมักจำนวน 120 กิโลกรัม ต่อ 1 ครั้ง ระยะเวลาในการหมัก ที่สามารถนำปุ๋ยหมักไปใช้งานได้ หลังจาก 30 วัน ทำการเติมอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศ 4 ครั้ง การเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมัก จำนวน 4 ครั้ง จะมีค่าไฟฟ้า เท่ากับ 22.5 บาท ต่อวัสดุหมัก 120 กิโลกรัม หรือคิดเป็นกิโลกรัมวัสดุหมัก เท่ากับ 0.25 บาทต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก เมื่อผ่านการหมักปุ๋ยปริมาตรลดลง เท่ากับ 1/2 ของปริมาตรเดิม ดังนั้นการเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมัก มีค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.50 บาทต่อกิโลกรัมปุ๋ยหมัก

ค่าแรงในการพลิกกลับกองปุ๋ยหมัก ใช้คนงาน จำนวน 1 คน การพลิกกลับกองปุ๋ย จำนวน 4 ครั้ง ครั้งละ 0.5 วัน (สำหรับการหมักที่ 30 วัน) วัสดุหมักที่พลิกกลับกอง 1,440 กิโลกรัม ค่าแรงวันละ 300 บาท (คิดค่าแรงขั้นต่ำ) ค่าแรงต่อวัสดุหมัก 0.5 วัน พลิกกลับจำนวน 4 ครั้ง เท่ากับ 0.42 บาทต่อกิโลกรัมวัสดุหมัก เมื่อผ่านการหมักปุ๋ย ปริมาตรลดลง เท่ากับ 1/2 ของปริมาตรเดิม ดังนั้นค่าแรงในการพลิกกลับกองปุ๋ย มีค่าเท่ากับ 0.84 บาทต่อกิโลกรัมปุ๋ยหมัก

เมื่อพิจารณาต้นทุนสำหรับการเตรียมวัสดุหมัก การเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมัก และค่าแรงคนงานในการพลิกกลับกองปุ๋ย มีค่าใช้จ่ายต่อปุ๋ยหมัก (0.38 + 0.50 + 0.84) เท่ากับ 1.72 บาทต่อกิโลกรัมปุ๋ยหมัก

5.2.2 การใช้ปุ๋ยหมักทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันทดแทนปุ๋ยเคมีในสวนปาล์มน้ำมัน

การใส่ปุ๋ยปาล์มน้ำมันในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี สูตรไนโตรเจน (21-0-0) ฟอสฟอรัส (0-3-0) และโพแทสเซียม (0-0-60) จะมีสัดส่วนการใช้ปุ๋ยเท่ากับ 3.0: 1.0: 4.5 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และในแต่ละปีจะแบ่งการใส่ปุ๋ย จำนวน 2 ครั้ง หรือ 6 เดือนต่อ 1 ครั้ง สัดส่วนที่ใช้แต่ละครั้ง เท่ากับ 1.5: 0.5: 2.25 กิโลกรัมต่อต้นต่อครั้ง (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2558) หากคิดเปอร์เซ็นต์ธาตุอาหารหลักของปุ๋ยที่ใส่ในแต่ละครั้งสามารถคำนวณได้ดังนี้

สูตรไนโตรเจน (21-0-0)	= 1.5 x 21	=	31.5	เปอร์เซ็นต์
สูตรฟอสฟอรัส (0-3-0)	= 0.5 x 3	=	1.5	เปอร์เซ็นต์
สูตรโพแทสเซียม (0-0-60)	= 2.25 x 60	=	135	เปอร์เซ็นต์

หากนำปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มาใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมัก มีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 3.32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.62 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และโพแทสเซียม เท่ากับ 4.53 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยทำการทดแทนการใช้ปุ๋ยสูตรไนโตรเจนให้มีปริมาณ เท่ากับ 31.5 เปอร์เซ็นต์ จะต้องใช้ปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันดังนี้

ปริมาณการใช้ปุ๋ยหมัก	= 31.5 / 3.32	=	9.49	กิโลกรัม

ผลของการใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน นอกเหนือจากการทดแทนปุ๋ยเคมีสูตรไนโตรเจนแล้ว ยังสามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีสูตรฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมได้ดังนี้

ฟอสฟอรัส	= 9.49 x 0.62	=	5.88	เปอร์เซ็นต์
โพแทสเซียม	= 9.49 x 4.53	=	42.99	เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น ผลของการใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 9.49 กิโลกรัมต่อต้นต่อครั้ง สามารถให้ปริมาณฟอสฟอรัสในแต่ละครั้ง ได้มากกว่าปริมาณที่กำหนด เท่ากับ 4.38 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณโพแทสเซียมที่ได้น้อยกว่าปริมาณที่กำหนด เท่ากับ 92.01 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการใส่ปุ๋ยแต่ละครั้ง ต้องเพิ่มปริมาณปุ๋ยเคมีสูตรโพแทสเซียม ดังนี้

โพแทสเซียม = 92.01 / 60 = 1.54 กิโลกรัม

ดังนั้น หากนำปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มาใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี โดยการใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 9.49 กิโลกรัมต่อต้นต่อครั้ง สามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมได้ เท่ากับ 0.71 กิโลกรัม จึงจำเป็นต้องเพิ่มปุ๋ยโพแทสเซียม เท่ากับ 1.54 กิโลกรัมต่อครั้ง เพื่อให้ได้ปริมาณธาตุอาหารหลัก เท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราส่วน 1.5: 0.5: 2.25 กิโลกรัมต่อต้นต่อครั้ง และการใช้ปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 18.98 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี สามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราส่วน 3.0: 1.0: 1.42 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และต้องเพิ่มปุ๋ยสูตรโพแทสเซียม 3.08 กิโลกรับต่อต้นต่อปี เพื่อให้ได้ปริมาณธาตุอาหารหลักตามที่กำหนด คือ (3.0: 1.0: 4.5) กิโลกรัมต่อต้นต่อปี

5.2.3 กรณีศึกษา การใช้ปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันทดแทนปุ๋ยเคมี ในสวนปาล์มน้ำมัน จำนวน 20,000 ไร่

สวนปาล์มน้ำมันที่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ จำนวน 20,000ไร่ อัตราการปลูกไร่ละ 25 ต้น ปริมาณต้นปาล์มน้ำมันทั้งหมด เท่ากับ 500,000 ต้น มีค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมี โดยคิดราคาปุ๋ยเคมี กิโลกรัมละ 20 บาท ดังนี้

สูตรไนโตรเจน = 3 x 500,000 x 20	=	30	ล้านบาทต่อปี
สูตรฟอสฟอรัส = 1 x 500,000 x 20	=	10	ล้านบาทต่อปี
สูตรโพแทสเซียม = 4.5 x 500,000 x 20	=	45	ล้านบาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายปุ๋ยเคมีต่อปี	=	85	ล้านบาทต่อปี

หากนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี จะต้องใช้ปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมีสูตรโพแทสเซียมดังนี้

ปริมาณการใช้ปุ๋ยหมัก = 18.98 x 500,000 = 9,490,000 กิโลกรัมต่อปี
โพแทสเซียม = 3.08 x 500,000 = 1,540,000 กิโลกรัมต่อปี

ผลของการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เพื่อใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน 20,000 ไร่ หรือ 500,000 ต้น สามารถสรุปปริมาณการทดแทนปุ๋ยเคมีได้ดังนี้

ไนโตรเจน = 3 x 500,000 = 1,500,000 กิโลกรัมต่อปี
ฟอสฟอรัส = 1 x 500,000 = 500,000 กิโลกรัมต่อปี
โพแทสเซียม = 1.42 x 500,000 = 710,000 กิโลกรัมต่อปี

การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก 9,490,000 กิโลกรัม มีต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมัก เท่ากับ 1.72 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 16,322,800 บาทต่อ 9,490,000 กิโลกรัมปุ๋ยหมัก

ดังนั้นหากผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มาทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี สามารถลดต้นทุนในการซื้อปุ๋ยเคมีได้ดังนี้

ไนโตรเจน = 1,500,000 x 20 = 30 ล้านบาทต่อปี
ฟอสฟอรัส = 500,000 x 20 = 10 ล้านบาทต่อปี
โพแทสเซียม = 710,000 x 20 = 14.2 ล้านบาทต่อปี
ต้นทุนปุ๋ยหมัก = 9,490,000 x 1.72 = 16.322 ล้านบาทต่อปี
รวมทั้งหมด = (30 + 10 + 14.2) -16.322 = 37.89 ล้านบาทต่อปี

การผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในสวนปาล์มน้ำมันสามารถลดต้นทุนค่าปุ๋ยได้ เท่ากับ 37.89 ล้านบาทต่อปี และมีค่าใช้จ่ายสำหรับ

ต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมัก เท่ากับ 1.72 บาทต่อกิโลกรัม ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มเติม ปีละ 30.8 ล้านบาท ยังคงมีต้นทุนสำหรับการผลิตปุ๋ยหมัก และการซื้อปุ๋ยสูตรโพแทสเซียม เท่ากับ 47.11 ล้านบาทต่อปี สำหรับสวนปาล์มน้ำมัน 20,000 ไร่

ปริมาณทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ เท่ากับ 54,000,000 กิโลกรัมต่อปี สามารถผลิตปุ๋ยหมักได้ เท่ากับ 27,000,000 กิโลกรัม ปริมาณการใช้ปุ๋ยหมัก สำหรับ สวนปาล์มน้ำมัน 20,000 ไร่ เท่ากับ 9,490,000 กิโลกรัม ผลของการหมักปุ๋ยทำให้ปริมาตรของปุ๋ยหมักลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นปริมาณทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก เท่ากับ 18,980,000 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็น 35.15 เปอร์เซ็นต์ ของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นตลอดทั้งปี สำหรับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ที่มีกำลังการผลิต 30 ตันผลปาล์มทะลายสดต่อชั่วโมง ส่วนที่เหลืออีก 64.85 เปอร์เซ็นต์ หากนำไปผลิตปุ๋ยหมักเพิ่มเติม สามารถผลิตปุ๋ยหมักได้ เท่ากับ 17,510,000 กิโลกรัม

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ โดยกำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน คือ 35:1, 40:1 และ 45:1 ประกอบด้วย 8 ชุดการทดลอง คือ CEP, EP1, EP2, EP3, CNP, NP1, NP2 และ NP3 เมื่อเข้าสู่วันที่ 30 ของการหมัก พบว่าชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 วัสดุหมักมีลักษณะที่ยุ่ย สามารถแยกออกจากกันได้ง่าย มีสีน้ำตาลปนดำ ไม่มีกลิ่น อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยลดลงเทียบเท่าอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ย และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 13.40:1, 13.38:1, 13.49:1, 13.29:1, 11.84:1 และ 12.55:1ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่า 20:1 บ่งชี้ว่าการย่อยสลายวัสดุหมักเสร็จสมบูรณ์ และเมื่อพิจารณาชุดควบคุม (CEP และ CNP) มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 39.32:1 และ 44.33:1 บ่งชี้ว่า การย่อยสลายยังไม่สมบูรณ์ และจากการทดลองครั้งนี้พบว่า ผลของการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันไม่มีผลต่อประสิทธิภาพและระยะเวลาในการหมักปุ๋ย เนื่องจากผลของการหมักปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบไม่มีความแตกต่างกัน อีกทั้งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นการหมักที่แตกต่างกันคือ 35:1, 40:1 และ 45:1 ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพและระยะเวลาในการหมักปุ๋ย

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย (วันที่ 60 ของการหมัก) พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ EP1, EP2, EP3, NP1, NP2 และ NP3 มีค่าผ่านตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 3.34, 3.42, 3.55, 3.09, 3.18 และ 3.31 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.68, 0.58, 0.57, 0.64, 0.59 และ 0.66 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และโพแทสเซียม เท่ากับ 4.59, 4.33, 4.43, 4.47, 4.38 และ 4.99 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งธาตุอาหารทั้ง 6 ชุดการทดลองผ่านตามมาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด จึงจัดเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพเหมาะแก่การนำไปใช้งาน สำหรับชุดควบคุม (CEP และ CNP) ถึงแม้จะมีปริมาณไนโตรเจนที่สูงกว่า

มาตรฐานกำหนดคือ 1.83 และ 2.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับฟอสฟอรัสที่มีค่า เท่ากับ 0.39 และ 0.40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และโพแทสเซียมมีค่า เท่ากับ 0.42 และ 0.52 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่ายังมีปริมาณธาตุอาหารหลักต่ำกว่ามาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด และเมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก พบว่าวัสดุหมักยังแข็งกระด้าง ฉีกออกจากกันได้ยาก บ่งบอกถึงการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก พบว่าตลอดระยะเวลาการหมัก (60 วัน) ผลของการหมักปุ๋ยสามารถย่อยสลายน้ำมันที่ผสมในวัสดุหมัก ทั้งชุดการทดลองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ และไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ทุกชุดการทดลอง เมื่อนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้งาน ช่วยลดผลกระทบจากมลพิษทางน้ำที่เกิดจากน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก ที่เกิดจากการชะล้างเมื่อฝนตกลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

ดังนั้นเมื่อต้องจัดการทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและกากตะกอนดีแคนเตอร์ ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก โดยการนำมาหมักปุ๋ยควรออกแบบระบบแบบสามารถเติมอากาศเข้ากองปุ๋ยหมักได้ และในการหมักหากใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 10 กิโลกรัม น้ำหนักเปียก ควรใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ 2.17 กิโลกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งจะให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นในการหมักที่ 45:1

จากการทดลองการปลูกแตงกวาเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (ECC) กับปุ๋ยหมักทั่วไป (PPC) แตงกวาที่ปลูกปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีปริมาณน้ำหนักรวม เมื่อสิ้นสุดการปลูก มากกว่าการใช้ปุ๋ยหมักทั่วไป เท่ากับ 3.11 กรัม มีความแตกต่างกัน 21.79 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสามารถใช้ทดแทนปุ๋ยหมักทั่วไปได้ ส่วนการทดลองการปลูกแตงกวาเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (ECF) กับปุ๋ยเคมี (FER) แตงกวาที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน มีน้ำหนักรวมน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 5.29 กรัม มีความแตกต่างกัน 28.41 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยเคมีสามารถถูกนำไปใช้ในพืชได้โดยตรง

ผลจากการศึกษาคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้ สามารถประมาณการการนำปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี ในสวนปาล์มน้ำมันของโรงงานได้ โดยใช้ปุ๋ยจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 9.49 กิโลกรัม ร่วมกับปุ๋ยโพแทสเซียม 1.54 กิโลกรัม

สำหรับการใช้ปุ๋ยที่อัตราส่วน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 3.0: 1.0: 4.5 พบว่าสามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ทั้งหมด แต่จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมผสม เท่ากับ 1.54 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ทำให้ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี มีปริมาณธาตุอาหารหลักเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมี โดยมีต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมัก เท่ากับ 1.7 บาทต่อกิโลกรัม และหากนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักใช้ในสวนปาล์มน้ำมัน จำนวน 20,000 ไร่ ต้องใช้ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน จำนวน 9,490,000 กิโลกรัม มีต้นทุนในการผลิตปุ๋ย เท่ากับ 16,322,800 บาท รวมกับค่าปุ๋ยสูตรโพแทสเซียม เท่ากับ 30.8 ล้านบาทต่อปี รวมมีค้าใช้จ่าย เท่ากับ 47.11 ล้านบาทต่อปี สามารถลดต้นทุนในการใช้ปุ๋ยเคมีจาก 85 ล้านบาทต่อปี ได้เท่ากับ 37.89 ล้านบาทต่อปี

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการนำกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพหมักร่วมกับทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์ เป็นแหล่งไนโตรเจน จะเป็นการช่วยจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการคัดแยกจุลินทรีย์ ที่มีประสิทธิภาพสูง ในการย่อยสลายเซลลูโลส ที่เป็นองค์ประกอบหลักของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2546. สารเร่งประเภทจุลินทรีย์ พด.1 พด.2 พด.3 สำหรับเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลผลิตทางการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 5 หน้า

กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. การผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้สารเร่งซุปเปอร์ พด. 1. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2 หน้า

กรมวิชาการเกษตร. 2551. คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. สำนักงานวิจัยพัฒนาปัจจัยผลผลิตทางการเกษตร กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ: 52 หน้า

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

เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา และภัสรา ชวประดิษฐ์. 2539. การปลูกแตงกวา. กลุ่มพืชผัก กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมเกษตรและสหกรณ์. http://www.vegatweb.com/doc/. 24 กรกฎาคม 2558

ชวนพิศ อรุณรังสิกุล, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, วาสนาบุณณวน และไพรสน รุจิคุณ. 2548. อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมีที่มีต่อผลผลิตข้าวโพดฟักอ่อน. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43: สาขาพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 441-448.

ชาติ เจียมไชยศรี. 2542. การจัดการมูลฝอย: ในเอกสารประกอบการบรรยายสำหรับการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การจัดการมูลฝอยและของเสียและของเสียอันตราย วันที่ 30-31 มกราคม 2542. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 111 หน้า

ไทยเกษตรศาสตร์. 2558. การเตรียมดินปลูกพืชในกระถาง (Online): http:/www.thaikasetsart.com. 10 กรกฎาคม 2558

ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2551. สาระน่ารู้ทางการเกษตร. กระบวนการไร้ของเสียในอุสากรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม (ออนไลน์). http:/share.psu.ac.th/blog/marky11/22623. 14 สิงหาคม 2557

ธีระพงศ์ สว่างปัญญางกูร. 2549. คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกองระบบเติมอากาศ. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร และอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. 2547. การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. 96 หน้า

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

นิสากร ทัดแก้ว. 2555. การหมักปุ๋ยด้วยเปลือกไข่ มูลวัว และขี้เลื่อยที่มีการเติมอากาศแบบแพสซีฟ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บริษัท พิทักษ์ปาล์มออยล์ จำกัด. 2556. ของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ. ข้อมูลจากการศึกษาของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ. 24 สิงหาคม 2556

บัญชา รัตนีทู. 2552. ปุ๋ยอินทรีย์ฟื้นฟูสภาพดิน. วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์.

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

มงคล ต๊ะอุ่น, สันติภาพ ปัญจพรรค์, กิตติชัย ไตรรัตนศิริ, พัชรี ธีรจินดาขจร และวุฒิศักดิ์ สิมโฮง. 2546. อิทธิพลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดขนาดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: สาขาพืช สาขาส่งเสริม และนิเทศศาสตร์เกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 154-162.

วธิดา คะนะแนม. 2552. ผลของมูลไก่ กากตะกอนดีแคนเตอร์ และดินแดงในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วีรยุทธ์ จวนซ้าย. 2554. การผลิตและการเพิ่มคุณค่าของปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. 2533. ปุ๋ยหมัก. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน กรุงเทพมหานคร. 72 หน้า

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2558. วิชาการปาล์มน้ำมัน (ออนไลน์). การจัดการสวปาล์มน้ำมัน http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/management.html. 19 มกราคม 2558

สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากปาล์มน้ำมันและพืชน้ำมัน. 2558. โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้กระบวนการทอดผลปาล์มภายใต้สภาพสุญญากาศ (ออนไลน์). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/factory.php. 29 กันยายน 2558

สมเดช ใจเพ็ชร์. 2543. การย่อยสลายกากไขมันโดยวิธีการทำปุ๋ยหมัก. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 142 หน้า

สถาบันอาหาร. 2558. อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน และผลิตภัณฑ์เกี่ยวเนื่อง (ออนไลน์). กระทรวงอุตสาหกรรม. http://fic.nfi.or.th/food/upload/doc/12_EU.doc. 14 กรกฎาคม 2558

สมศักดิ์ วังใน. 2541. การตรึงไนโตรเจน: ไรโซเบียม- พืชตระกูลถั่ว. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 252 หน้า

สุขทัย พงศ์พัฒนศิริ, กฤษณา เผือกนอก และจุฑารัตน์ สิทธิบาล. 2550. อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดต่อการฟื้นฟูคุณสมบัติของดิน. การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 601-608.

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

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. 2556. สถิติปาล์มน้ำมัน (ออนไลน์). ปาล์มน้ำมัน คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้). http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/trends/01-04.php. 29 กันยายน 2556

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร.2558. ข้อมูลโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในภาคใต้จำแนกรายจังหวัด(ออนไลน์).ปาล์มน้ำมัน คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้). http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/trends/01-05.php. 2 กันยายน 2558

สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดตรัง. 2556. โครงการเพิ่มมูลค่าผลผลิตปาล์มน้ำมัน กิจกรรมพัฒนาขีดความสามารถในด้านการใช้เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด และส่งเสริมการผลิตแบบไร้ของเสีย และนำของเสียมาเพิ่มมูลค่า. ฝ่ายส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 16 หน้า

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

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติประยุกต์. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. 300 หน้า

Amal, N.M.T., Fat, A.Z., Wan, N.F.M.F., Noorhalieza, A. and Onn, H. 2008. The usage of Empty Fruit Bunche (EFB) and Palm Pressed Fibre (PPF) as substrates for cultivation of Pleurotus ostreatus. Journal Teknologi 49 (F) Dis: 96-189.

Astimar, A.A. and Wahid, M.B. 2006. Supply outlook of oil palm biomass in Malaysia. Proceeding of the Seminar on Ecomat Research and Promotion. Organized by Beijing Forestry and Parks Department of International Cooperation, Beijing, China, July 24-25: pp. 13-26.

Bahauuddin, A.S., Kazunori, N., Abd-Aziz, S., Tabatabaei, M., Abdul Rahman, N.A., Has-san M.A., et al. 2009. Characteristics and microbial succession in co-composting of oil palm empty fruit bunches and partially treated palm oil mill effluent. The Open Biotechnology Journal 3: 92-100.

Delaune, P.B., Moore, P.A., Daniel, J.T.C. and Lemunyon, J.L. 2004. Effect of chemical and microbial amendments on ammonia volatization 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.

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.

Ghabane, J., William, S.P.M.P., Bhidyadhar, R., Bhilawe, P., Anand, D., Vaidya, A.N. and Wate, S.R. 2012. Additives aided composting of green waste: effects on organic matter degradation, compost maturity and quality of the finished compost. Bioresource Technology 114: 382-388.

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.

Hajar, H.H.Z. 2006. Bioethanol production from Empty Fruit Bunch (EFB) of oil palm. Bachelor of Chemical Engineering, University College of Engineering Malaysia.

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

Haron, K., Mohammed, A.T., Halim, R.M. and Din, A.K. 2008. Palm-based bio-fertilizer from decanter cake and boiler ash of palm oil mill, Malaysian Palm Oil Board (MPOB). Information Series (MPOB TT N0.412): pp. 1-4.

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

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

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

Jolanun, B., Tripetchkul, S., Chiemchaisri, C., Chaiprasert, P. and Towprayoon, S. 2005. Effect of Moisture Content on Fed Batch Composting Reactor of Vegetable and Fruit Wastes. Environmental Technology, Vol. 26. pp 293-301.

Kabbashi, N.A., Alam, M.Z. and Aminuddin, M. 2006. Bio-Composting process development by SSF for utilization agro-industrial wastes. In: 3rd Kuala Lumpur international Conference on biomedical engineering.

Kala, D.R., Rosennani, A.B., Fauziah, C.I. and Thohirah, L.A. 2009. Composting oil palm wastes and sludge sewage for use in potting media of ornamental plants. Malaysia. J. Soil Sci. 13: 77-91.

Khalil, H.P.S.A., Hanida, S., Kang, C.W. and Fuaad N.A. 2007. Agro-hybrid composite: the effects on mechanical and physical properties of oil palm fiber (EFB)/glass hybrid reinforced polyster composites. Journal of Reinforced Plastic Composites 26(2): 18-203.

Larney, F.J. and Hao, X. 2007. A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. Biosource Technology 97: 3221-3227.

Lgwe, J.C. and Onyegbado, C.C. 2007. A review of Palm Oil Mill Effluent (POME) waste treatment. Global Journal of Environmental Research 1(2):54-62.

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.

Lorestani, A.A.Z. 2006. Biological treatment of palm oil effluent (POME) using an up-flow anaerobic sludge fixed film (UASFF) bioreactor. Ph.D. thesis, School of Chemical Engineering, University Sains Malaysia.

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

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.

Nelson, V.L., Crowe, T.G., Shah, M.A. and Watson, L.G. 2006. Temperature and turning energy of composting feedlot manure at different moisture contents in southern Alberta. J. Bios. Engg. 48: 31-37.

Pleanjai, S., Gheewala, S.H. and Garivait S. 2004. Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective. In The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environmental (SEE).

Polprasert, C. 1989. Organic Waste Recycling. Environmental Engineering Division, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Rasapoor, M., Nasrabadi, T., Kamali, M. and Hoveidi, H. 2009. The effect of aeration rate on generate decompost quality, using aerated static pile method. J. Waste Manag. 29: 570-573.

Richard, L.T. 1996. Municipal Solid Waste Composting: Biological Processing. Cornell Composting Science and Engineering: http://compost.css.cornell.edu/%20MSWFactSheets/msw.fs2.html. 7 September 2015

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

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.

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.

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. 1997. Effect of temperature aeration and moisture on co_2 formation in bench-scale continuously thermophilic composting of solid waste. Apply and Environmental Microbiology 33(2): 345-350.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vital, S. 1993. Intergrated solid waste management engineering principles and management issues. Mcgraw-Hill, Inc. 978 pp.

Thambirajah, J.J. and Kuthubutheen, A.J. 1989. Composting of palm press fiber. Bio. Wastes. 27:257-269.

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.

Thambirajah, J.J., Benabbas, L., Bauer, M., Thornhill, N.F. 2009. Cause and effect analysis in chemical process utilizing XML plant connectivity and quantitative process history, Comput. Chem. Eng., 33:503-512.

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

Yahya, A., PuaySye, C., AbiodunIshola, T., and Suryanto, H. 2010. Department of Biological and Agricultural, Factuly of Engineering, University Putra Malasia. Journal of Bioresource Technology. 8736-8741.

ภาคผนวก ก.

การกำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

1 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีค่า C = 44.38 % w/w, N = 0.62 % w/w

กากตะกอนดีแคนเตอร์มีค่า C = 42.55 % w/w, N = 2.28 % w/w

ดังนั้นหากต้องการค่า C/N ratio ของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ 35:1 จะกำหนด ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันจำนวน 1 กิโลกรัม ผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ X กิโลกรัม

ดังนั้น

ดังนั้น $\frac{C \text{ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน} + C \text{ กากตะกอนดีแคนเตอร์}}{N \text{ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน} + N \text{ กากตะกอนดีแคนเตอร์}} = \frac{35}{1}$

$$\frac{44.38+42.55X}{0.62+2.28X} = \frac{35}{1}$$

$$44.38 + 42.55X = \frac{35}{1}(0.62 + 2.28X)$$

$$44.38 + 42.55X = 21.7 + 79.8X$$

$$44.38 - 21.70 = (79.80 - 42.55)X$$

$$22.68 = 37.25X$$

$$X = \frac{22.68}{37.25}$$

$$X = 0.61$$

เมื่อต้องการอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ *35:1* ใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันจำนวน 1 กิโลกรัม ผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ 0.61 กิโลกรัม แต่ในการทดลองจะมีปริมาตรของวัสดุหมักทั้ง 2 ชนิดรวมกัน 120 กิโลกรัม ดังนั้น

ปริมาณทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ใช้คือ $\frac{1}{1.61}(120)$ = 74.53 กิโลกรัม

ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่ใช้คือ $\frac{0.61}{1.61}(120)$ = 45.47 กิโลกรัม

2 ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ กับกากตะกอนดีแคนเตอร์

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีค่า C = 41.33 % w/w, N = 0.70 % w/w

กากตะกอนดีแคนเตอร์มีค่า C = 42.55 % w/w, N = 2.28 % w/w

ดังนั้นหากต้องการค่า C/N ratio ของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ 35:1 จะกำหนด ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันจำนวน 1 กิโลกรัม ผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ X กิโลกรัม

ดังนั้น

ดังนั้น $\frac{C \text{ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน} + C \text{ กากตะกอนดีแคนเตอร์}}{N \text{ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน} + N \text{ กากตะกอนดีแคนเตอร์}} = \frac{35}{1}$

$$\frac{41.33+42.55X}{0.70+2.28X} = \frac{35}{1}$$

$$41.33 + 42.55X = \frac{35}{1}(0.70 + 2.28X)$$

$$41.33 + 42.55X = 24.5 + 79.8X$$

$$41.33 - 24.50 = (79.80 - 42.55)X$$

$$16.83 = 37.25X$$

$$X = \frac{16.83}{37.25}$$

$$X = 0.45$$

เมื่อต้องการอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 35:1 ใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันจำนวน 1 กิโลกรัม ผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ 0.45 กิโลกรัม แต่ในการทดลองจะมีปริมาตรของวัสดุหมักทั้ง 2 ชนิดรวมกัน 120 กิโลกรัม ดังนั้น

ปริมาณทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ใช้คือ $\frac{1}{1.45}(120)$ = 82.76 กิโลกรัม

ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่ใช้คือ $\frac{0.45}{1.45}(120)$ = 37.24 กิโลกรัม

3 การคำนวณปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมในวัสดุหมัก

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (EFB 5.2371 กรัม) ปริมาณน้ำมันปาล์มเท่ากับ 0.1091 กรัม ดังนั้น EFB 1 กิโลกรัม จะมีน้ำมันปาล์มเท่ากับ (1000/5.2371) x 0.1091 = 20.83 กรัม หรือเท่ากับ 0.002083 กิโลกรัมต่อทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1 กิโลกรัม

ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการหีบ (EFB Pressed 5.4217 กรัม) มีปริมาณน้ำมันปาล์มเท่ากับ 0.0738 กรัม ดังนั้น EFB Pressed 1 กิโลกรัม จะมีน้ำมันปาล์มเท่ากับ (1000/5.4217) x 0.0738 = 13.61 กรัม หรือเท่ากับ 0.001361 กิโลกรัม ต่อทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1 กิโลกรัม

ดังนั้นผลของการหีบทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน สามารถนำน้ำมันกลับเข้ากระบวนการผลิตได้จำนวน 7.22 กรัม หรือ 0.00722 กิโลกรัมต่อทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 1 กิโลกรัม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายณัฏฐาทัศน์ เจ้ยเปี้ยว
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510920034
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ปริญญา อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม) (เกียรตินิยมอันดับ 2)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2551

ทุนการศึกษา

โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาทุนเลขที่ MSD56I0157

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Nutthatus Cherypiew. And Thunwadee Tachapattaworakul Suksaroj. 2014. Waste Management in the Oil Palm Industry: Case study of Co-Composting of Oil Palm Empty Fruit Bunches and Sludge from the Decanter Proceeding of Fifth TheIIER-Science plus International Conference, Singapore, 08th November 2014, ISBR: 978-93-84209-62-9.