# การผลิตและการเพิ่มคุณค่าของปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

# Production and Value Added of Compost from Palm Oil Mill Wastes


**วีรยุทธ์ จวนซ้าย**

**Weerayut Juansai**


**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา**

**วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ**

**มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of**

**Master of Science Thesis in Biotechnology**

**Prince of Songkla University**

**2554**


**ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

| | |
|---|---|
| ชื่อวิทยานิพนธ์ | การผลิตและการเพิ่มคุณค่าของปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม |
| ผู้เขียน | นายวีรยุทธ์ จวนซ้าย |
| สาขาวิชา | เทคโนโลยีชีวภาพ |

---

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พูนสุข ประเสริฐสรรพ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธีระ ประเสริฐสรรพ์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หันพงศ์กิตติกูล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พูนสุข ประเสริฐสรรพ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธีระ ประเสริฐสรรพ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. อมรรัตน์ พงศ์ดารา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

**ชื่อวิทยานิพนธ์** การผลิตและการเพิ่มคุณค่าของปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

**ผู้เขียน** นายวีรยุทธ์ จวนซ้าย

**สาขาวิชา** เทคโนโลยีชีวภาพ

**ปีการศึกษา** 2553

## บทคัดย่อ


การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเศษเหลือได้เป็นอย่างดี จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากเส้นใยปาล์มกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นเป็น 50-70 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้น้ำประปา น้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 2 หรือน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และการผลิตปุ๋ยหมักโดยกากตะกอนดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียว (โดยไม่ผสมเส้นใยปาล์ม) ทดลองขนาดกองละ 50 กิโลกรัม โดยใช้หัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 30-40:1 และปรับพีเอชเริ่มต้นให้เป็นกลาง (7.0) ด้วยขี้เถ้าปาล์ม พบว่า การใช้เส้นใยปาล์มผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่มีการปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ มีความเหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยหมักมากที่สุด โดยมีอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการหมัก 65 องศาเซลเซียสในวันที่ 3 ของการหมัก เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก (60 วัน) ปุ๋ยหมักที่ได้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงจาก 36.6:1 เหลือเพียง 17.2:1 ความชื้น 32.9 เปอร์เซ็นต์ ค่าพีเอช 7.83 และมีธาตุอาหาร N-P-K เท่ากับ 1.60-1.64-1.56 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ปุ๋ยหมักมีลักษณะร่วนซุย เปื่อยยุ่ย สีดำเข้ม เมื่อนำปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองไปทดลองปลูกผักบุ้ง พบว่า ที่ระยะเก็บเกี่ยว 28 วัน ผักบุ้งที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยหมักจากเส้นใยผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ ปรับความชื้นโดยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ ให้ผลดีที่สุด โดยทำให้ผักบุ้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี (13.96, 5.34 และ 8.62 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) ดีกว่าชุดควบคุม (ไม่เติมปุ๋ยหมัก) ชุดปุ๋ยหมักที่ใช้น้ำประปาและชุดปุ๋ยหมักที่ใช้น้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 2 เป็นตัวปรับความชื้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดที่ใช้ปุ๋ยหมักด้วยกากตะกอนดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียว ส่วนความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักบุ้งที่ใช้ปุ๋ยหมักที่ปรับความชื้นโดยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ (28.6 เซนติเมตรต่อต้น 11.20 และ 1.34 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) ดีกว่าชุดควบคุม และชุดที่ปรับความชื้นด้วยน้ำประปาตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 2 และชุดที่หมักด้วยกากตะกอนดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียว เมื่อนำปุ๋ยหมักชุดที่ปรับความชื้นโดยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ไปศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติที่ดีขึ้น

โดยการเพิ่มหัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.3 ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งโรคพืช และหัวเชื้อพ.ด.12 ที่มีคุณสมบัติในการเพิ่ม N-P-K โดยการหมักต่อเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า เมื่อหมักต่อโดยใช้หัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.3 ปุ๋ยหมักที่ได้สามารถป้องกันโรคเน่าคอดินในต้นอ่อนคะน้า (*Pythium alphanidermatum*) ได้สูงถึง 71.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งดีกว่าปุ๋ยหมักชุดการทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสูงกว่าชุดควบคุมคือปุ๋ยหมักที่ไม่เติมหัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.3 และชุดที่ไม่มีการเติมปุ๋ยหมักร้อยละ 15.8 และร้อยละ 39.6 ตามลำดับ ความสูงและน้ำหนักของต้นอ่อนคะน้ามีค่าเท่ากับ 4.95 เซนติเมตรต่อต้น และ 0.06 กรัมต่อต้น (ต้นอ่อนคะน้าอายุ 7 วัน) ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยหมักที่หมักต่อโดยใช้หัวเชื้อ พ.ด. 12 ช่วยเพิ่ม N-P-K ได้เป็น 1.95-2.33-1.87 (เพิ่มขึ้น 11.42, 40.36 และ 18.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) เมื่อนำผลการทดลองผลิตปุ๋ยหมักจากเส้นใยปาล์มกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่มีการปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ เพิ่มขนาดการทดลองเป็นกองละ 1,000 กิโลกรัมที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยศึกษารูปแบบการให้อากาศ 3 แบบ คือ พ่นอากาศเข้าใต้กองปุ๋ยหมักโดยไม่มีการคลุมกอง พ่นอากาศเข้าใต้กองปุ๋ยหมักโดยมีการคลุมกองด้วยพลาสติกดำ และให้อากาศโดยการกลับกอง (10 วัน/ครั้ง) พบว่า การให้อากาศด้วยวิธีการพ่นอากาศเข้าใต้กองปุ๋ยหมัก (155 ลิตร/วินาที วันละ 2 ครั้งๆละ 15 นาที) โดยไม่มีการคลุมกอง มีความเหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยหมักมากที่สุด โดยมีอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการหมัก 68.5 องศาเซลเซียส ในวันที่ 14 ของการหมัก เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก (60 วัน) ปุ๋ยหมักที่ได้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 19.16:1 วัตถุอินทรีย์เท่ากับ 54.71 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 50.04 เปอร์เซ็นต์ และมีธาตุอาหาร N-P-K เท่ากับ 1.59-1.61-1.76 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ปุ๋ยหมักมีลักษณะร่วนซุย เปื่อยยุ่ย สีดำเข้ม

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Production and Value Added of Compost from Palm Oil Mill Wastes |
| **Auther** | Mr. Weerayut Juansai |
| **Major Program** | Biotechnology |
| **Academic Year** | 2010 |

## Abstract

Production of compost from palm oil mill wastes gives additional revenue to palm oil mills. In this study, compost was made from decanter cake (DC) only and from a mixture of palm press fiber (PPF) and decanter cake (ratio of 1:1 fresh weight basis). The moisture content was adjusted to 50-70% using either tap water, wastewater from the second pond or decanter effluent. The fermentation was carried out in a 50-kg batch per reactor. The carbon to nitrogen (C/N) ratio was adjusted to 30-40:1 and the initial pH was adjusted to neutral (7.0) by adding palm fiber ash. The mixed culture from Land Development Department (called super LDD.1) was used as an inoculum source. The study found that the best condition for compost production was obtained when the moisture of PPF and DC was treated by the decanter effluent. The maximum temperature was 65 °C on the third day of fermentation. After 60 days in the reactor, the C/N ratio decreased from 36.6:1 to 17.2:1. The compost had 32.9% moisture content, pH 7.83, and N-P-K of 1.60-1.64-1.56 % dry weight, respectively. The mature compost was black and crumbly and was tested by observing the growth response of water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.). Analysis after cultivation (28 days) showed that the water spinach contained total chlorophyll, chlorophyll A and chlorophyll B (13.96, 5.34 and 8.62 mg/g, respectively) significantly ($P \leq 0.05$) higher than the control (no compost was added) and other formulae (the one using tap water and wastewater from the second pond), but there is no significant difference with the decanter cake-originated compost. Height, fresh weight and dry weight of the water spinach (28.6 cm/plant, 11.20 and 1.34 g/plant, respectively) were significantly ($P \leq 0.05$) higher than the control and the one that used tap water for moisture control but not significantly difference from ones that used wastewater from the second pond for moisture control and the decanter cake-originated compost. Improvement of the compost property was investigated by adding inoculum so called Super LDD.3 and LDD.12 for 7 days. It was found that addition of the Super LDD.3 inoculum could

prevent damping off of kale seedlings (*Pythium alphanidermatum*) up to 71.25 %, which were 15.8 and 39.6 % higher than the control (no addition of Super LDD.3) and without compost, respectively. The height and weight were 4.95 cm/plant and 0.06 g/plant (7 days of kale seedlings), respectively. The compost inoculated with LDD.12 could increased the N-P-K content to 1.95-2.33-1.87 % (% increase 11.42, 40.36 and 18.35% respectively). The experiment for the PPF and DC with decanter cake effluent was scale-up to a pile of 1,000 kg at the palm oil mill to study the effects of different aeration methods. The conventional turning pile (every 10 days) was compared with the covered air-fed static pile and open air-fed static pile. The aeration was given twice a day at 155 L/sec for 15 min. It was found that the open air-fed static pile yielded the best results regarding to the C/N ratio, organic matter content and N-P-K value. The maximum temperature was 68.5°C on the $14^{th}$ day of fermentation. At the end of the fermentation (60 days), the compost was black and crumbly with the C/N ratio of 19.16:1. It contained 54.71% organic matter, 50.04 % moisture and N-P-K value of 1.59-1.61-1.76 % dry weight.

# สารบาญ


หน้า

บทคัดย่อ……..... (3)

Abstract……..... (5)

กิตติกรรมประกาศ……... (7)

สารบาญ……... (8)

LIST OF TABLE…… (10)

LIST OF FIGURE……... (12)

บทที่

1. บทนำ

บทนำต้นเรื่อง……... 1

การตรวจเอกสาร……. 2

1. กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม…… 2

2. องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก……... 3

3. จุลินทรีย์และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการทำปุ๋ยหมัก……... 5

4. การพัฒนาหัวเชื้อของกรมพัฒนาที่ดิน……..... 8

5. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำปุ๋ยหมัก…… 10

6. ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก…… 14

7. มาตรฐานปุ๋ยหมัก……... 14

8. ลักษณะของปุ๋ยหมักที่ดี…….. 15

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำปุ๋ยหมัก……. 15

วัตถุประสงค์……... 22

ขอบเขตการวิจัย…….. 22

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……. 22

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ……. 23

อุปกรณ์……... 25

# สารบาญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| วิธีวิเคราะห์…….. | 26 |
| วิธีการทดลอง…….. | 30 |
| 3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง | |
| 1. องค์ประกอบของวัสดุเศษเหลือที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก……. | 36 |
| 2. ผลของวัตถุดิบต่อประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมัก…… | 38 |
| 3. ผลของการทดสอบคุณภาพปุ๋ยหมักโดยการปลูกพืช……... | 49 |
| 4. ผลของการเพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้กับปุ๋ยหมัก……. | 55 |
| 4.1 ผลของการควบคุมโรคพืช…… | 55 |
| 4.2 ผลของการเพิ่มธาตุอาหารแก่พืช…….. | 58 |
| 5. ผลของการผลิตปุ๋ยหมักขนาดกองละ 1 ตันที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม……... | 59 |
| 6. ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม…… | 69 |
| 4. สรุปและข้อเสนอแนะ……..... | 72 |
| เอกสารอ้างอิง……... | 74 |
| ภาคผนวก……. | 83 |
| ก ข้อมูลทางสถิติ……. | 84 |
| ข วิธีการวิเคราะห์…… | 87 |
| ประวัติผู้เขียนและการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ……... | 108 |

## LIST OF TABLES


| Table | | Page |
|---|---|---|
| 1 | Amount of liquid and solid wastes in palm oil mill.……. | 3 |
| 2 | Microorganisms occurred in compost …….. | 7 |
| 3 | Chemical compositions of palm pressed fiber (PPF) and decanter cake……... | 37 |
| 4 | Chemical compositions of decanter effluent and second pond wastewater of a palm oil mill……... | 38 |
| 5 | Chemical compositions of palm ash from boiler …….. | 38 |
| 6 | Effects of various raw materials on the compositions of composts from palm oil mill wastes at 60 days incubation……. | 48 |
| 7 | Quality of the composts produced from this study compared to the compost standard…….. | 49 |
| 8 | Effect of LDD.3 and *Trichoderma harzianum* in the composts on inhibition of *Pythium alphanidermatum* causes of kale seedling rot…… | 56 |
| 9 | Effect of LDD.12 addition with 1% rice bran to compost and continued fermentation for 7 days……..... | 59 |
| 10 | Chemical compositions of large scale composts (1,000 kilograms) with different aeration systems after 60 days…… | 66 |
| 11 | Quality of large scale composts (1,000 kilograms) with different aeration compared to the compost standard…… | 67 |
| 12 | Chlorophyll A of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill waste (P≤0.05)……. | 84 |
| 13 | Chlorophyll B of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill waste (P≤0.05)……. | 84 |
| 14 | Total chlorophyll of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill waste (P≤0.05)…….. | 85 |
| 15 | Fresh weight of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill waste (P≤0.05)……. | 85 |

## LIST OF TABLES (Continued)


| Table | | Page |
|---|---|---|
| 16 | Dry weight of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill waste (P≤0.05)…… | 86 |
| 17 | Height of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill waste (P≤0.05)…… | 86 |
| 18 | Absorption (420 nm) of phosphorus at different concentrations…….. | 93 |
| 19 | Absorption (550 nm) of glucose and xylose at different concentrations…….. | 101 |

## LIST OF FIGURES


| Figure | | Page |
|---|---|---|
| 1 | Structure of cellulose…….. | 5 |
| 2 | Chart of compost process…… | 11 |
| 3 | The different aeration systems for large scale compost production (1,000 kilograms)……... | 35 |
| 4 | Temperature, pH and moisture content during fermentation of compost (50 kg/batch) from palm oil mill wastes……... | 42 |
| 5 | CMCase, xylanase and lignin peroxidase during fermentation of compost (50 kg/batch) from palm oil mill wastes..……. | 44 |
| 6 | Total nitrogen, organic carbon, C/N ratio and organic matter during fermentation of compost (50 kg/batch) from palm oil mill wastes…….. | 46 |
| 7 | Total chlorophyll, chlorophyll A and chlorophyll B of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) after using compost from palm oil mill wastes…… | 51 |
| 8 | Height, fresh weight and dry weight of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) after using compost from palm oil mill wastes……... | 53 |
| 9 | Characteristics of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) stems, leaves and roots on day 28 of cultivation after using different compost……... | 54 |
| 10 | Characteristic of young plant (top and side) on the day 7 of cultivation after using compost for each treatment as follows…….. | 57 |
| 11 | Characteristics of three aeration systems of compost from the palm oil mill wastes…….. | 60 |
| 12 | Temperature change during the fermentation of 1,000 kilograms of compost from palm oil mill wastes……... | 61 |
| 13 | Moisture content during the fermentation of 1,000 kilograms of compost from palm oil mill wastes..…….. | 63 |
| 14 | C/N ratio, organic matter, organic carbon and total nitrogen during 40-60 days of 1,000 kilograms of compost……..... | 65 |

## LIST OF FIGURES (Continued)


| Figure | | Page |
|---|---|---|
| 15 | Compost characteristics of 50 kilograms and 1,000 kilograms fermentations….. | 68 |
| 16 | Standard curve of phosphorus……. | 93 |
| 17 | Standard curve of xylose……..... | 102 |
| 18 | Standard curve of glucose……... | 102 |

# บทที่ 1

# บทนำ

## บทนำต้นเรื่อง

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะทางภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร กระบี่ ตรัง และสตูล ซึ่งปัจจุบันปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นทุกๆปี ส่งผลให้มีจำนวนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยจำนวนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั่วประเทศไทยมีทั้งสิ้น 66 โรงงาน ซึ่งโรงงานเกือบทั้งหมดตั้งอยู่ในภาคใต้ เนื่องจากมีพื้นที่ปลูกจำนวนมาก ประกอบกับรัฐบาลมีนโยบายให้ปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานทดแทนของประเทศ แต่กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมีวัสดุเศษเหลือหลายชนิดและปริมาณมาก ทั้งของแข็งและของเหลว หากมีการกำจัดหรือมีการนำมาใช้ประโยชน์ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและผลพลอยได้เหล่านั้นโดยตรง ทั้งยังเสียโอกาสที่ทำให้เกิดผลกำไรกับโรงงาน

ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดวัสดุเศษเหลือหลายชนิด ได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยปาล์ม กะลาผลปาล์ม กากเมล็ดในปาล์ม และน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต (palm oil mill effluent; POME) ความแตกต่างของวัสดุเศษเหลือขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบ (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2542) เนื่องจากสภาพในปัจจุบันเกิดการแข่งขันกันสูงมากในเชิงอุตสาหกรรม การประยุกต์ใช้วัสดุเศษเหลือให้เหมาะสม มีความสำคัญมากต่อการพัฒนาศักยภาพการผลิตให้สูงขึ้น เนื่องจากเป็นตัวช่วยที่สำคัญที่จะเพิ่มผลกำไรให้กับโรงงาน อีกทั้งยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง ตัวอย่างเช่น การทำปุ๋ยหมักจากกากตะกอนดีแคนเตอร์และเส้นใยปาล์ม ซึ่งจากการศึกษาของภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) รายงานว่าผลของอัตราส่วนของเส้นใยปาล์มต่อกากตะกอนดีแคนเตอร์ (1:1, 3:1 และ 5:1) ในการทำปุ๋ยหมักโดยใช้หัวเชื้อ พด.1 ปรับความชื้นให้ได้ 50-70 เปอร์เซ็นต์ และปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-8 โดยใช้ขี้เถ้าปาล์ม พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของเส้นใยปาล์มและกากตะกอนดีแคนเตอร์เท่ากับ 1:1 และใช้ระยะเวลาในการหมัก 40-45 วัน

แม้ว่างานวิจัยการผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนดีแคนเตอร์และเส้นใยปาล์มจะได้ผลดี แต่เป็นการทดลองในถังปฏิกรณ์ที่มีตะแกรงล้อมรอบระดับขนาดเล็ก (50 กิโลกรัมต่อชุด) และใช้เชื้อ พ.ด. 1 (ภาณุพงศ์ บางรักษ์, 2548) ซึ่งปัจจุบันได้พัฒนาสายพันธุ์จุลินทรีย์เป็นซุปเปอร์ พ.ด. 1 และต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้นโดยการนำวัสดุเศษเหลืออื่นๆ ที่เหมาะสมต่อการ

เจริญของจุลินทรีย์ และที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมักมาใช้ในกระบวนการผลิต เช่น น้ำเสียในระบบบำบัด และน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ มาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยใช้เป็นส่วนผสมในการทำปุ๋ยหมัก และขยายขนาดการทดลองเป็น 1,000 กิโลกรัม รวมทั้งการเพิ่มคุณค่าของปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

## การตรวจเอกสาร

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ได้แก่ เส้นใยปาล์ม กากตะกอนดีแคนเตอร์ น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ น้ำทิ้งในระบบบำบัดบ่อที่ 2 และขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำ นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการผลิตปุ๋ยหมัก โดยเติมหัวเชื้อ ซุปเปอร์ พ.ด.1 ช่วยให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น และเสริมหัวเชื้อที่มีคุณสมบัติพิเศษเพื่อช่วยให้คุณสมบัติของปุ๋ยหมักดีขึ้น ได้แก่ หัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.3 และหัวเชื้อ พ.ด.12 นอกจากนี้ยังศึกษาในระดับโรงงานโดยทำการทดลองขนาดกองละ 1,000 กิโลกรัม เพื่อสามารถปรับใช้ให้เกิดประโยชน์กับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มต่อไป

### 1. กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มอาจจำแนกได้ 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ การผลิตแบบไม่ใช้น้ำและแบบใช้น้ำ แต่ส่วนใหญ่เป็นแบบใช้น้ำ แบ่งย่อยออกเป็น 2 ประเภท คือแบบใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน และไม่ใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน ซึ่งเป็นการผลิตแบบมาตรฐานใช้ในโรงงานขนาดกลางและขนาดใหญ่ ขั้นตอนการผลิตเริ่มจากการนำทะลายสดอบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 120-130 องศาเซลเซียส ความดัน 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาประมาณ 45 นาที ทะลายปาล์มที่อบแล้วจะนำไปป้อนเข้าเครื่องแยกผลปาล์ม ผลปาล์มที่ได้จะถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์มซึ่งภายในมีใบพัดกวนผลปาล์มให้เส้นใยฉีกย่อยออกมาจากเมล็ด หลังจากนั้นป้อนเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัดน้ำมันที่ได้จะส่งเข้าเครื่องดีแคนเตอร์ ซึ่งจะแยกน้ำมันออกจากน้ำ กากเส้นใย และสิ่งเจือปน บางโรงงานใช้เครื่องเหวี่ยงแทนการใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน น้ำมันที่ได้จะนำเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อให้น้ำมันมีความสะอาดขึ้น จากนั้นนำไปไล่ความชื้นด้วยเครื่องสุญญากาศให้ได้มาตรฐานแล้วนำไปเก็บในถังเก็บขนาดใหญ่เพื่อเตรียมส่งโรงงานกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์ต่อไป (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และคณะ, 2533)

จาก Table 1 เป็นวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ทั้งส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลว ได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยปาล์ม กะลาผล

ปาล์ม กากปาล์ม และน้ำทิ้ง ซึ่งความแตกต่างของวัสดุเศษเหลือขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบ (พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2542) ซึ่งวัสดุเศษเหลือเหล่านี้หากไม่ได้รับการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์จะก่อมีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางที่จะนำวัสดุเศษเหลือเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด

Table 1. Amount of liquid and solid wastes in palm oil mill

| Composition | Content |
|---|---|
| **By-product on solid (percent of palm fruit bunch)** | |
| Palm empty fruit bunch | 20 |
| Shell | 6 |
| Decanter cake | 4 |
| Palm press fiber | 11 |
| **By-product on liquid (cubic meters per ton)** | |
| Palm steam effluent | 0.20 |
| Decanter effluent | 0.35 |
| Purification effluent | 0.20 |
| Hydrocyclone effluent | little |
| **PORIM/PRIM(1981) (cubic meters per ton of oil)** | |
| Palm steam effluent | 0.90 |
| Separator sludge | 1.50 |
| Hydrocyclone effluent | 0.10-0.20 |

Source : Fires (1990 อ้างโดย พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, 2542)

**2. องค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก**

ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่เกิดจากการใช้เศษพืชในไร่นา ของเหลือทางการเกษตร จากโรงงานอุตสาหกรรม วัชพืชต่างๆมาหมักรวมกับมูลสัตว์หรือปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งจุลินทรีย์ที่มีการสลายตัวเร็วขึ้น จนกระทั่งเศษพืชเปลี่ยนสภาพเป็นของเปื่อยยุ่ยมีสีน้ำตาลปนดำแล้วจึง

นำไปใช้ในการปลูกพืชได้ (ปฐพีชล วายุอัคคี, 2533) หรือปุ๋ยหมัก อาจหมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการนำเศษซากพืชและซากสัตว์ตามธรรมชาติ โดยเฉพาะเศษพืชที่เหลือจากการเกษตรมากองหมักให้เน่าเปื่อยย่อยสลายจนกลายเป็นปุ๋ย จะเห็นได้จากเมื่อก่อนเกษตรกรมักนำเศษพืชจากการดายหญ้าหรือการกำจัดวัชพืช มาสุมกองที่โคนต้นไม้ นานๆเข้าเศษพืชเน่าเปื่อยกลายเป็นปุ๋ยทำให้พืชต้นนั้นเจริญงอกงามดี ในปัจจุบันมีการพัฒนากรรมวิธีการทำปุ๋ยหมักให้ได้ผลเร็วและมีคุณค่ามากขึ้นโดยกระบวนการหมักในโรงเรือน มีการอัดเม็ดเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับปุ๋ย (วัลลภ พรหมทอง, 2542)

สารลิกโนเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในสัดส่วนองค์ประกอบที่แตกต่างกันตามชนิดของพืช (Ahmed *et al*., 2001) ลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบของเซลล์พืชเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะเนื้อไม้และเซลล์พืชที่ตายแล้ว จุลินทรีย์เป็นตัวการสำคัญในการย่อยองค์ประกอบของสารเหล่านี้โดยมีการสร้างเอนไซม์ออกมาย่อย ได้แก่ hemicellulolytic enzyme, cellulolytic enzyme และ ligninolytic enzyme (Maijala, 2000) เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นที่จะต้องรู้กระบวนการย่อยสลายสารของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง (Ohkuma *et al*., 2001) องค์ประกอบเหล่านี้เชื้อจุลินทรีย์มีความสามารถในการย่อยสลายได้ยากโดยเฉพาะอย่างยิ่งลิกนิน (Tuomela, 2002) นอกจากองค์ประกอบหลักทั้งสามชนิดแล้ว ยังมี สารอินทรีย์อื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งถูกย่อยสลายได้ง่าย เช่น แป้ง และเพคติน แต่สารอินทรีย์ขนาดเล็กเหล่านี้มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (McCarthy, 1987 อ้างโดย ธัญญา ศรีโพธิ์, 2538) องค์ประกอบสำคัญของลิกโนเซลลูโลส ซึ่งรวมถึงวัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม มีดังนี้

**2.1 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)**

ลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งแตกแขนงประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด ได้แก่ ไซโลส อะลาไบโนส กาแลคโตส แมนโนส และกลูโคส เฮมิเซลลูโลสจับกับเซลลูโลสจะช่วยให้โครงสร้างของผนังเซลล์พืชมีความแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้ยังจับกับลิกนินทำให้พันธะแข็งแรงขึ้นแต่สามารถย่อยได้โดยจุลินทรีย์ เฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของลิกโนเซลลูโลสประมาณ20-40 เปอร์เซ็นต์ (Saddler *et al*., 1983 อ้างโดย ธัญญา ศรีโพธิ์, 2538)

**2.2 เซลลูโลส (cellulose)**

เซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช ซึ่งจัดเป็นส่วนของเยื่อใย ทนต่อการย่อยด้วยกรดหรือด่าง ประกอบด้วยกลูโคสจำนวนมากเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะเบต้า 1-4 ไกลโคซิดิค ดัง Figure 1 ซึ่งพันธะนี้ไม่สามารถย่อยได้ในสัตว์ชั้นสูงแต่ย่อยได้โดยจุลินทรีย์ (นันทนา ช่วยชูวงศ์, 2547) เซลลูโลสหนึ่งสาย

ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000-14,000 หน่วย ความยาวของสาย 1-7 ไมครอน ในแต่ละสายของเซลลูโลสจะอยู่ชิดกันมาก และหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 จะมีการจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งทำให้ขนาดของโมเลกุลใหญ่ขึ้น และเซลลูโลสจับกันแน่นมากขึ้น เรียกเซลลูโลสในลักษณะแบบนี้ว่า ไมโครไฟบริล (microfibrils) ในแต่ละไมโครไฟบริลประกอบด้วยสายกลูแคนประมาณ 100 สายมารวมกัน ทำให้มีโครงสร้างคล้ายเส้นด้ายจะมีความกว้างประมาณ 5-20 นาโนเมตร (เผด็จ สังขไพฑูรย์, 2548)

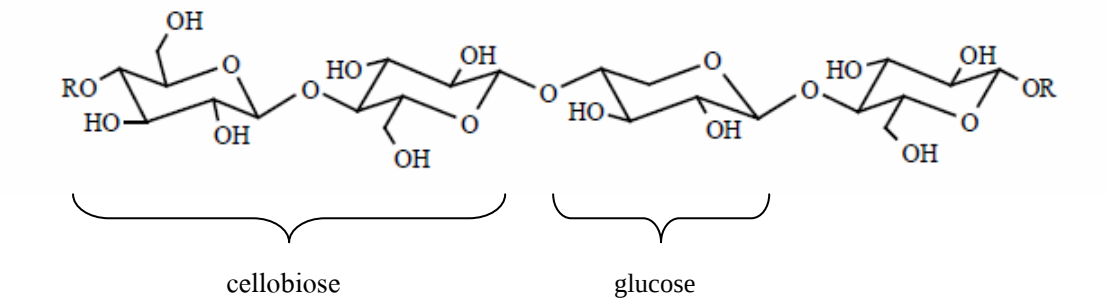


Figure 1. Structure of cellulose

Source : Maijala (2000)

**2.3 ลิกนิน (lignin)**

ลิกนินเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อนมาก เป็นพอลิเมอร์ของ *p*-hydroxyphenylpropane ที่มาจากการเชื่อมโยงขององค์ประกอบ 3 กลุ่มคือ conififeryl alcohol, sinapyl alcohol, และ *p*-coumaryl alcohol (Kirk *et al*., 1980 อ้างโดย ธัญญา ศรีโพธิ์, 2538) ลิกนินเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช ทำให้พืชมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น (Brown 1985; Argyropoulos and Menachem 1997 อ้างโดย Tuomela, 2002) ลักษณะโครงสร้างจะมีความสลับซับซ้อน และยากต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (Basaglia *et al*., 1992)

**3. จุลินทรีย์และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการทำปุ๋ยหมัก**

ภายในกองปุ๋ยหมักมีแหล่งคาร์บอนจากหลายแหล่ง เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น เพื่อให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้เร็วจำเป็นต้องใช้เชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการทำปุ๋ยหมักแบ่งเป็น 3 กลุ่ม (เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และคณะ, 2537 อ้างโดย ภาณุพงศ์ บางรักษ์, 2548) (Table 2) ดังนี้

1. เชื้อรา ลักษณะเป็นเส้นใยต่อกันและสปอร์กระจัดกระจายอยู่ทั่วไป ชนิดและปริมาณของเชื้อราจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการทำการหมัก

2. แอคติโนมัยซิส ลักษณะเป็นจุดสีขาวๆ คล้ายผงปูนขาวเป็นกลุ่มบนกองปุ๋ยหมัก จุลินทรีย์ชนิดนี้มีบทบาทสำคัญในการย่อยพวกเซลลูโลส

3. แบคทีเรีย มักเป็นจุลินทรีย์ที่พบมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ซึ่งปริมาณของแบคทีเรียขึ้นอยู่กับสภาวะและวัสดุที่ใช้หมัก จุลินทรีย์ประเภทนี้เจริญได้ดีทั้งที่มีอากาศและไม่มีอากาศ

ในระยะเริ่มต้นของการหมักอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส รา และแบคทีเรียที่ผลิตกรดไขมันที่ระเหยง่าย (volatile fatty acid) เป็นจุลินทรีย์หลักที่ช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่วนแอคติโนมัยซิสเจริญได้ช้าเนื่องจากไม่สามารถแข่งขันกับฟังไจและแบคทีเรียในสภาพที่มีอาหารมาก เมื่อเข้าสู่ช่วงที่มีอุณหภูมิสูง จุลินทรีย์กลุ่มที่เจริญที่อุณหภูมิปานกลาง (mesophilic) จะตายไป ในขณะที่จุลินทรีย์เจริญได้ที่อุณหภูมิสูงพวกแบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส และฟังไจบางชนิดเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว และเมื่อกองปุ๋ยหมักอุณหภูมิลดลง ปริมาณของแบคทีเรียจะลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่ฟังไจและแอคติโนมัยซิสซึ่งมีหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์พวกลิกนินเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ (Haug, 1993 อ้างโดย สมใจ กาญจนวงศ์, 2548)

จากการศึกษาเปรียบเทียบการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ EM (effective microorganism) ไฮเทค (Hi-tech, high-technology) พด.1 (กรมพัฒนาที่ดินหมายเลข 1) และมูลสดสัตว์เคี้ยวเอื้อง เป็นแหล่งจุลินทรีย์สำหรับการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว โดยมีการเสริมสารเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ เช่น รำ กากน้ำตาล ดินบด (เป็นแหล่งของฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม) และปุ๋ยเคมี ติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณเชื้อรา แอคติโนมัยซิส และแบคทีเรีย (ที่ย่อยสลายเซลลูโลส) และทำการวัดปริมาณของคาร์บอนต่อไนโตรเจนทุกๆ 15 วัน จากกระบวนการหมักพบว่ากลุ่มเชื้อที่ย่อยเร็วที่สุดคือ พด.1 มูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง ไฮเทค และ EM ตามลำดับ ดังนั้นในกระบวนการหมักควรใช้ พด.1หรือมูลสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นแหล่งวัตถุดิบ (สมศักดิ์ วังใน และคณะ, 2539) ซึ่งสอดคล้องกับ ภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) กล่าวว่าในการผลิตปุ๋ยหมักจากเส้นใยปาล์มผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 โดยใช้หัวเชื้อ พ.ด. 1 หัวเชื้ออีเอ็ม หัวเชื้อเอฟ 60 และเชื้อราผสม พบว่า หัวเชื้อ พ.ด. 1 สามารถย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้ดีที่สุด Tuomela (2002) ศึกษาการย่อยสลายลิกนินภายในกองปุ๋ยหมักโดยใช้จุลินทรีย์พวกราขาว (white rot fungi) ในการย่อยสลาย ราขาวสามารถย่อยสลายลิกนินได้เร็วกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ เนื่องจากราขาวมีการใช้อาหารเพียงเล็กน้อยในการเจริญและมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งในการย่อยสลายลิกนินราขาวจะสร้างเอนไซม์ที่สำคัญออกมา

ย่อย ได้แก่ manganese peroxidese (MnP) และ laccase ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองชนิดสามารถสร้างได้ในราขาวเกือบทุกสายพันธุ์ แต่มีบางสายพันธุ์เท่านั้นที่สามารถสร้าง lignin peroxidase (LiP) ได้

Table 2. Microorganisms occurred in compost

| **Fungus** | **Actinomycete** | **Bacteria** |
|---|---|---|
| *Aspergillus fumigatus* | *Nocardia* spp. | *Bacillus* spp. |
| *Chaetomium globosum* | *Streptomyces* spp. | *Flavobacterium* spp. |
| *Chaetomium thermophilum* | *Thermoactinomyces* spp. | *Hydrogenobacter* spp. |
| *Coprinus* spp. | *Thermomonospora* spp. | *Methylobacterium exotorquens* |
| *Fusarium* spp. | | *Propionibacterium* spp. |
| *Penicillium* spp. | | *Pseudomonas* spp. |
| *Thermoascus aurantiacus* | | *Serratia* spp. |
| *Thermomyces lanuginosus* | | *Thermus* spp. |
| *Trichoderma viride* | | *Xanthomonas maltophilia* |

Source : Pedro *et al*. (2001 อ้างโดย Tuomela, 2002)

นอกจากนี้ราขาวยังสามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลส ไซลาเนส เฮมิเซลลูเลส และเอนไซม์อื่นๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งราขาวบางสายพันธุ์สามารถย่อยลิกนินได้สูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ นอกจากราขาวแล้วยังพบว่าราน้ำตาล (brown-rot fungi) และราเมือก (soft-rot fungi) ซึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายลิกนินได้แต่มีความสามารถต่ำกว่าราขาว (Tuomela, 2002) จากการศึกษาการย่อยสลายลิกโนเซลลูโลส โดยการใช้น้ำหมักซึ่งได้จากการเลี้ยงเชื้อราในกลุ่ม Ascomycete สายพันธุ์ P13 โดยใช้วัตถุดิบเป็นหญ้า (*Lolium perenne*) ไปทำปฏิกิริยากับสับสเตรทชนิดต่างๆ ได้แก่ grass, xylan, whatman paper, newspaper, microcrystalline cellulose, CMC, cotton และ cellobiose วัดผลจากปริมาณการปลดปล่อยน้ำตาล (D-glucose, D-galactose, D-arabinose, L-rhamnose, D-fructose, D-xylose, sucrose) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC เนื่องจากโครงสร้างของสับสเตรทแต่ละชนิดมีองค์ประกอบหรือสัดส่วนของ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และ

ลิกนินที่แตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการย่อยวัตถุดิบเหล่านั้นแตกต่างกันออกไป จะเห็นได้ว่าเซลโลไบโอสสามารถย่อยสลายได้ดีที่สุดเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของสารไม่มีความซับซ้อนเหมือนวัตถุดิบตัวอื่น แต่ในช่วง 2 วันแรกปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นได้น้อยกว่าวัตถุดิบตัวอื่น ส่วน whatman paper ซึ่งมีโครงสร้างที่แข็งแรงเอนไซม์ทำปฏิกิริยาได้น้อยกว่าวัตถุดิบตัวอื่น (Hallesmeersch and Vandamme, 2003) กระบวนการย่อยสลายสารพวกลิกโนเซลลูโลสเอนไซม์เป็นตัวการที่สำคัญอย่างยิ่ง จึงมีการผสมจุลินทรีย์หลายชนิดเข้าด้วยกัน (mixed culture) เพื่อช่วยในกระบวนการย่อยสลายให้สูงขึ้น รวมทั้งเติมสารอาหารที่มีความเหมาะสมให้เชื้อใช้ด้วย (Tuomela, 2002) อย่างไรก็ตามในกระบวนการหมักเพื่อให้จุลินทรีย์มีความสามารถในการสร้างเอนไซม์ออกมาใช้ จำเป็นต้องมีปัจจัยหรือสภาวะอื่นๆที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก ได้แก่ พีเอช ความชื้น อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน อุณหภูมิ การผสมและกลับกองปุ๋ยหมัก และปริมาณอากาศ (Joung and Kim, 2001)

**4. การพัฒนาหัวเชื้อของกรมพัฒนาที่ดิน**

**4.1 สารเร่งซุปเปอร์ พด.1**

สารเร่งซุปเปอร์ พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร และอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อผลิตปุ๋ยหมักในเวลารวดเร็วและมีคุณภาพสูงประกอบด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Scopulariopsis* sp., *Helicomyces* sp., *Chaetomium* sp. และ *Tricoderma* sp. และแอคติโนมัยซิส 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Streptomyces* sp.ที่ย่อยสารประกอบเซลลูโลสและแบคทีเรียที่ย่อยไขมัน ได้แก่ *Bacillus* sp. (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) จุดเด่นของสารเร่งซุปเปอร์ พด.1 มีดังนี้

1. มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสารประกอบเซลลูโลสที่ย่อยสลายยาก
2. สามารถย่อยสลายน้ำมัน ไขมันในวัสดุหมัก
3. ผลิตปุ๋ยหมักในระยะเวลารวดเร็วและมีคุณภาพ
4. เป็นจุลินทรีย์ที่ทนอุณหภูมิสูง
5. เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสปอร์ จึงเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นาน
6. สามารถย่อยวัสดุเศษเหลือได้หลากหลายและครอบคลุมมากขึ้น

สารเร่งซุปเปอร์ พ.ด.1 และสารเร่ง พ.ด. 1 มีเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมือนๆกัน แต่ว่าที่เป็นซุปเปอร์นั้นได้รับการพัฒนาเชื้อให้มีประสิทธิภาพสูงจากเดิม และตอนนี้ผลิตเฉพาะ ซุปเปอร์ พ.ด.1 เท่านั้น

**4.2 สารเร่งซุปเปอร์ พด.3**

สารเร่ง พด.3 เป็นกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชในดิน โดยเข้าทำลายหรือยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในดิน ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการโรคเน่าหรือโคนเน่าในพืชที่ปลูกในสภาพที่ดอนและที่ลุ่ม ซึ่งจุลินทรีย์ในสารเร่งซุปเปอร์ พ.ด.3 ประกอบด้วย เชื้อราไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma* sp.*)* เชื้อแบคทีเรียบาซิลลัส (*Bacillus* sp.) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

กลไกในการควบคุมโรคพืชของกลุ่มจุลินทรีย์ในสารเร่งซุปเปอร์ พ.ด. 3 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

- การเข้าทำลายเชื้อสาเหตุโรคพืชโดยตรง เส้นใยของเชื้อราไตรโคเดอร์มาจะเจริญรวดเร็วและปกคลุมเชื้อสาเหตุโรคพืช และดูดของเหลวภายในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหาร ทำให้เส้นใยเชื้อราโรคพืชแตกสลาย

- การแข่งขันการใช้อาหาร เชื้อราไตรโคเดอร์มาจะเจริญได้ดีกว่าเชื้อสาเหตุโรคพืช ทำให้แหล่งอาหารในดินถูกกำจัดและเชื้อสาเหตุโรคพืชไม่สามารถเติบโตได้

- การสร้างสารทำลายหรือยับยั้งการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืชในดิน สารที่เชื้อ *Trichoderma* sp. สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อสาเหตุโรคพืช ได้แก่ เอนไซม์ chitinase, protease, $\beta$-1,3-glucanase และ cellulase สำหรับเอนไซม์ chitinase นั้น มีบทบาทหลักในการย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืช เนื่องจากผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลส และไคติน ($\alpha$-ไคติน) (Little and Magill, 2003) นอกจากนี้เชื้อ *Bacillus* sp. สามารถผลิตสร้างสารปฏิชีวนะออกมายับยั้งเชื้อที่เป็นสาเหตุโรคพืช ได้แก่ Bacitracin, Gramicidin, Spolymyxin, Tyrotricidin, Bacilysin, Chlotetaine, Iturin A, Mycobacillin, Bacilomycin, Mycosubtilin, Fungistatin และ Subsporin (Yoshida *et al*., 2001)

**4.3 สารเร่ง พด.12**

สารเร่ง พด.12 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืชเพิ่มความอุดมสมบูรณ์กับดิน และสร้างฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญของพืช ได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 4 สายพันธุ์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

- จุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดินสามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ *Azetobacter chroococcum*

- จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์ ได้แก่ gluconic acid และ 2-ketogluconic acid ซึ่งปลดปล่อยออกมาละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ ได้แก่ *Burkholderia* sp.

- จุลินทรีย์ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ช่วยละลายแร่ธาตุที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ *Bacillus megaterium*

- จุลินทรีย์ที่สร้างฮอร์โมนให้พืช ช่วยกระตุ้นการเจริญของรากและส่งเสริมการเจริญของต้นพืช ทำให้ประสิทธิภาพการดูดใช้อาหารของพืชดีขึ้น

**5. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำปุ๋ยหมัก**

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักปุ๋ยชีวภาพ (Tuomela *et al*., 2000) (Figure 2) ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ความชื้น อัตราการให้อากาศ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

**5.1 อุณหภูมิ (temperature)**

อุณหภูมิถือได้ว่าเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของกระบวนการหมักปุ๋ยชีวภาพ (Imbeah, 1998 อ้างโดย Li, 2008) ในการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 40-60 องศาเซลเซียส เชื้อย่อยสลายสารภายในกองปุ๋ยหมักได้ดีที่สุด แต่อุณหภูมิอาจจะมีค่าสูงกว่านี้เมื่อเกิดกระบวนการหมัก (Eklind and Kirchmann, 2000) อุณหภูมิที่เหมาะสมช่วยให้การทำงานของเอนไซม์ที่สร้างขึ้นย่อยสลายหรือใช้ประโยชน์ลิกโนเซลลูโลสได้ดีและเร็วที่สุด จากการศึกษาเชื้อ Ascomycetous fungus P13 พบว่าอัตราการเจริญที่ดีที่สุดของเชื้อมีอุณหภูมิอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส เอนไซม์ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Hallesmeersch and Vandamme, 2003) โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับขั้นในช่วงแรกของกระบวนการหมักอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆลดลง (Deesand and Ghiorse, 2001 อ้างโดย Mayende, 2006) นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อจุลินทรีย์โดยตรงดังนี้ (Stentiford, 1996 อ้างโดย สมใจ กาญจนวงศ์, 2548)

- อุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียสมีความปลอดภัยในการนำมาใช้มากที่สุด เพราะสามารถทำลายเชื้อโรคที่ติดมากับวัตถุดิบได้

- อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียสมีอัตราการย่อยสลายดีที่สุด

- อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 35-40 องศาเซลเซียสมีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูงที่สุด

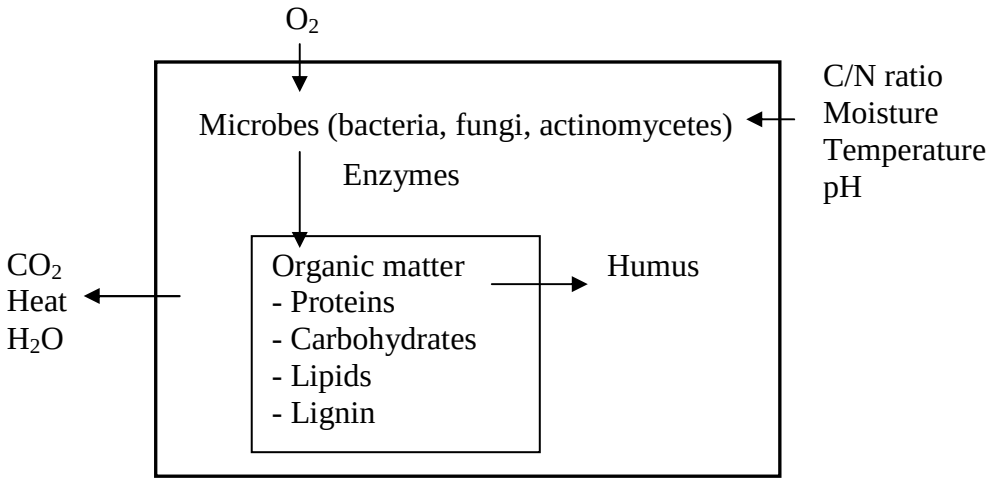


Figure 2. Chart of compost process

Source : Tuomela *et al.* (2000)

การเจริญของจุลินทรีย์ในแต่ละระยะจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาวะภายในกองปุ๋ย จุลินทรีย์กลุ่ม mesophilic จะเจริญอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมักทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในระยะนี้อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นจุลินทรีย์กลุ่ม thermophile เริ่มเจริญเข้าแทนที่โดยจุลินทรีย์กลุ่ม mesophile จะหยุดการเจริญ โดยอุณหภูมิในระยะนี้อาจจะสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส เมื่ออาหารที่ย่อยได้ง่ายถูกใช้ไปหมดจำนวนจุลินทรีย์จะลดลงอย่างช้าๆ ทำให้อุณหภูมิลดลงเช่นกันกระบวนการหมักจึงเข้าสู่ระยะบ่มจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก (Yu *et al*, 2008) จากการศึกษาการย่อยสลายลิกนินของกองปุ๋ยหมักที่ผลิตจากขยะพวกกระดาษและไม้กระดานอัด ซึ่งมีปริมาณลิกนินสูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการย่อยสลายสารพวกลิกนินจะมีลักษณะเหมือนกับการย่อยสลายสารพวกลิกโนเซลลูโลส โดยจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารพวกลิกนินได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (Tuomela *et al*., 2000)

**5.2 พีเอช (pH)**

จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการเจริญที่พีเอชแตกต่างกัน เช่น แบคทีเรียเจริญได้ดีที่พีเอช 6.0-8.0 ส่วนแอคติโนมัยซิสและเชื้อราเจริญได้ดีในสภาวะที่ค่อนข้างเป็นกรด (พีเอช 4.0-6.0) (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2531 อ้างโดย ภาณุพงษ์ บางรัก, 2548) ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักค่าพีเอชจะแตกต่างกันโดยทั่วไปอยู่ที่ระหว่าง 5.5-8.5 (Trautmann and Krasny, 1997) การย่อยสลายสารอินทรีย์จะมีค่าสูงเมื่อค่าพีเอชในระหว่างการหมักอยู่ที่ 6.0-9.0 โดยวัสดุเศษเหลือที่ใช้นำมาหมักมักมีค่าพีเอชประมาณ 6.0 ในช่วงแรกของการหมักค่าพีเอชจะลดต่ำลง ทำให้กระบวนการหมักช้า

ลง แต่เมื่อระยะเวลาดำเนินไประดับพีเอชจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 8.5 อย่างรวดเร็วด้วยปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเกชั่น หลังจากนั้นเมื่อปฏิกิริยาดังกล่าวลดลง พีเอชจะตกลงมาอยู่ระหว่าง 7.5-8 โดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องมีการปรับพีเอชเริ่มต้น เพราะพีเอชจะมีการปรับตัวเองให้เป็นกลางอย่างอัตโนมัติ (Miller, 1992 อ้างโดย สมใจ กาญจนวงศ์, 2548) ซึ่งจากการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสจากหญ้าโดยใช้เชื้อ Basidiomycete พบว่า ที่พีเอชเป็นกลางกิจกรรมของเอนไซม์มีค่าสูงสุด (Hallesmeersch and Vandamme, 2003)

**5.3 ความชื้น (moisture content)**

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารเลี้ยงเชื้อทุกชนิด ช่วยละลายสารอาหารชนิดต่างๆทำให้จุลินทรีย์สามารถดูดซึมเข้าไปใช้ภายในเซลล์ได้ง่ายขึ้น (สมใจ ศิริโภค, 2547) จุลินทรีย์ต้องการความชื้นเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ แต่หากมีความชื้นมากเกินไปน้ำจะไปแทนที่อากาศทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจน การย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักจะลดลง โดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมในการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้หมัก ความชื้นยังช่วยให้วัตถุดิบที่หมักเกิดการอ่อนนุ่มขึ้น (Haug, 1993 อ้างโดย สมใจ กาญจนวงศ์, 2548) การผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวโดยมีการควบคุมสภาวะต่างๆให้มีความเหมาะสมเพื่อศึกษาจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักตามระยะการหมัก ความชื้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน 30:1 (Yu *et al*., 2007) การปรับความชื้นให้เหมาะสมทำให้การย่อยสลายเร็วขึ้น (Ghosh *et al*., 2000) ปริมาณความชื้นที่น้อยเกินไปจะทำให้อุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้น และความชื้นช่วงเริ่มต้นการหมักจะมีผลต่ออุณหภูมิสูงสุดของกระบวนการหมัก เมื่อกระบวนการหมักดำเนินไป ปริมาณความร้อนจะสูงขึ้นซึ่งมีผลต่อปริมาณความชื้น เนื่องจากความร้อนจะระเหยเอาความชื้นออกไปด้วย ทำให้ความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักค่อยๆลดลงเรื่อยๆ จึงควรเติมน้ำเมื่อความชื้นลดลงเหลือเพียงประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์เพื่อเพิ่มความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักเพื่อส่งเสริมการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้สูงขึ้น (Trautmann and Krasny, 1997)

**5.4 ออกซิเจน (oxygen)**

ออกซิเจนมีความจำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) และการหายใจของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ จึงต้องออกแบบให้มีปริมาณอากาศเพียงพอต่อการย่อยภายในกองปุ๋ยหมัก อาจจะกองไว้เฉยๆหรือมีการให้อากาศเพิ่มเติม (Trautmann and Krasny, 1997) การใช้ออกซิเจนมีผลต่อกระบวนการหมักภายในกองปุ๋ยหมัก (Miyatake and Iwabuchi, 2005a) การเติมอากาศมีความสำคัญ 3 ประการ คือเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ให้สูงขึ้น เพื่อกำจัดน้ำออกจากสารอาหารที่มีความชื้นมากเกินไป และเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักให้เหมาะสม (Haug, 1993 อ้างโดย สมใจ กาญจนวงศ์,

2548) และในกระบวนการหมักการกลับกองปุ๋ยหมักทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายเพิ่มสูงขึ้น (Heerden *et al*., 2002) การย่อยสลายพวกลิกนินจำเป็นต้องมีการใช้ออกซิเจน ดังนั้น การย่อยสลายในธรรมชาติจึงเป็นไปอย่างช้าๆ (Ahmed *et al*., 2001)

**5.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)**

ในกระบวนการหมักภายในกองปุ๋ยหมักโดยการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านั้นต้องการแหล่งคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแร่ธาตุปลีกย่อยต่างๆ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนซึ่งจะเป็นองค์ประกอบของโปรตีน กรดนิวคลีอิก กรดอะมิโน เอนไซม์ และโคเอนไซม์ ซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญและการทำงานต่างๆภายในเซลล์ให้ดำเนินอย่างปกติ หากในกระบวนการหมักมีปริมาณธาตุไนโตรเจนไม่เพียงพอ จะทำให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้ช้า แต่ถ้าหากในกระบวนการมีมากเกินไปจะสูญเสียไปในรูปก๊าซแอมโมเนีย (Golueke, 1991 อ้างโดย Tuomela *et al*., 2000) โดยทั่วไปแล้วปริมาณของคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 25-50:1 และเชื้อจุลินทรีย์ยังต้องการแร่ธาตุปลีกย่อย เช่น Co, Cu, Fe, Mn, Mo และ Zn (สมใจ ศิริโภค, 2547) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทำปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไป และอัตราส่วนขององค์ประกอบยังไม่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักปุ๋ยชีวภาพจำเป็นที่ต้องมีการปรับค่าให้เหมาะสม (25-30:1) เพื่อให้กระบวนการหมักดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วมากที่สุด (Dickerson, 2005) จากกระบวนการหมักวัสดุเศษเหลือของเปลือกและกากที่เหลือจากการคั้นผลส้มปริมาณของคาร์บอนต่อไนโตรเจนช่วงเริ่มต้นของการหมักเท่ากับ 24:1 และค่อยๆลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลาการหมัก เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าเท่ากับ 15:1 (Heerden *et al*., 2002) จากการผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นมีค่าประมาณ 30:1 โดยมีลิกโนเซลลูโลสประมาณ 50-31 เปอร์เซ็นต์ (Yu *et al*., 2007)

**5.6 วัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก (material)**

โดยทั่วไปแล้วพืชแต่ละชนิดมีองค์ประกอบหรือโครงสร้างที่แตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการย่อยสลายของจุลินทรีย์แตกต่างกัน ระยะเวลาของการหมักจึงแตกต่างกัน โดยทั่วไปวัตถุดิบที่มีปริมาณของลิกนินอยู่ปริมาณน้อยกระบวนการการย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็ว ซึ่งองค์ประกอบของลิกนินหรือสัดส่วนของผนังเซลล์พืชขึ้นอยู่กับช่วงอายุ บริเวณที่เจริญ ฤดูกาล เป็นต้น (Ahmed *et al*., 2001) นอกจากนี้วัตถุดิบที่มีอนุภาคขนาดเล็ก มีการอัดตัวกันแน่นเกินไปจะทำให้เกิดระบบไร้อากาศ จำเป็นต้องมีการกลับกองปุ๋ยเพิ่มมากขึ้น (Trautmann and Krasny, 1997)

**6. ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก**

Singh *et al*. (2002) ศึกษาการใช้แหล่งไนโตรเจนจากน้ำเสีย ($NO_3$) ในข้าว และข้าวสาลี โดยแสดงออกมาในรูปของไนโตรเจนรวม พบว่า หลังการปลูกข้าว และข้าวสาลี ซึ่งการใช้น้ำเสียเป็นแหล่งไนโตรเจนในการปลูกข้าวช่วยเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลส์รวม เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ปลูกโดยไม่ใช้น้ำเสีย วงษ์จันทร์ วงษ์แก้ว (2535) คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืช โดยมากพบที่ใบ นอกจากนี้ยังพบได้ที่ลำต้น ดอก ผลและรากที่มีสีเขียว และยังพบได้ในสาหร่ายทุกชนิด และยังพบได้ในแบคทีเรียบางชนิด คลอโรฟิลล์เอมีสีเขียวเข้มส่วนคลอโรฟิลล์บีมีสีเขียวอ่อน ซึ่งจะพบคลอโรฟิลล์เอ ได้ทั่วไป แต่คลอโรฟิลล์บีส่วนใหญ่จะพบเฉพาะในพืช

การใช้ปุ๋ยหมักทางการเกษตรจะส่งผลดีต่อดินและพืชหลายประการ (วัลลภ พรหมทอง, 2542) มีรายละเอียดดังนี้

1. ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุและธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชให้กับดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
2. ช่วยปรับโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น เช่น ดินเหนียวอนุภาคมีลักษณะอัดตัวกันแน่นกลายเป็นดินร่วนซุย
3. ช่วยให้ดินมีการถ่ายเทอากาศและระบายน้ำได้ดีขึ้น
4. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยเคมีให้กับพืชและลดการใช้ปุ๋ยเคมีลดลง
5. เป็นปุ๋ยที่ไม่เป็นอันตรายต่อดินและพืช ถึงแม้จะใช้ติดต่อกันเป็นเวลานาน
6. ทำให้ธาตุอาหารบางอย่างในดินที่ละลายได้ยาก สามารถละลายได้ดี จึงทำให้พืชมีประโยชน์ได้มากขึ้น
7. เป็นการควบคุมสภาพแวดล้อม ช่วยกำจัดขยะมูลฝอยและวัชพืชในไร่นาให้หมดไป

**7. มาตรฐานปุ๋ยหมัก** (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

1. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกิน 20:1
2. เกรดปุ๋ยไม่ต่ำกว่า 0.5, 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ (N, $P_2O_5$, $K_2O$)
3. ความชื้นไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์
4. ปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์
5. ความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 6.0-8.0

**8. ลักษณะของปุ๋ยหมักที่ดี** (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

1. สีของปุ๋ยหมักเป็นสีน้ำตาลหรือดำ
2. อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักกับภายนอกไม่มีความแตกต่างกันหรือแตกต่างกันน้อยมาก
3. ลักษณะความอ่อนนุ่มของเศษพืช เมื่อใช้นิ้วบี้จะอ่อนนุ่มยุ่ยขาดออกจากกันได้ง่าย
4. กลิ่นของปุ๋ยหมักคล้ายกลิ่นของดินตามธรรมชาติ เนื่องจากกระบวนเกิดการย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว
5. ปุ๋ยหมักที่ดีต้องปราศจากเชื้อโรคคน พืช และสัตว์ทุกชนิด
6. ปุ๋ยหมักที่ดีต้องไม่มีวัสดุเจือปนอื่นๆ เช่น หิน กรวด ทราย เศษพลาสติก เศษแก้ว โลหะ
7. ปุ๋ยหมักที่ดีต้องไม่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

**9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำปุ๋ยหมัก**

Rasapoor *et al*. ( 2009) ศึกษาระดับของอัตราการให้อากาศที่ 0.4, 0.6 และ 0.9 L/min/kg พบว่าที่ระดับ 0.6 L/min/kg เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการหมักมากที่สุด ซึ่งภายในกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่า 60 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็วทำให้เอนไซม์ทำงานได้ดี ดังนั้นการให้อากาศที่อัตรา 0.6 และ 0.9 L/min/kg มีช่วงระยะ thermophilic สั้นกว่ากองที่ไม่ให้อากาศและ0.4 L/min/kg เมื่อเกิดการย่อยสลายวัตถุดิบที่ใช้หมักอย่างรวดเร็วทำให้ปริมาณของสารตั้งต้นหรือสารอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ลดลง ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นสารที่ย่อยได้ยากทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว หมายความว่ากิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักที่ 0.6 และ 0.9 L/min/kg สูงกว่าที่ไม่มีการไหลของอากาศและให้อากาศที่ระดับ 0.4 L/min/kg เนื่องจากภายในกองปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่ 0.6 L/min/kg มีปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าที่ 0.9 และ 0.4 L/min/kg ในกระบวนการหมักเชื้อจุลินทรีย์จะใช้แหล่งคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้ปริมาณของคาร์บอนลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับธาตุอาหารอื่นๆ โดยอัตราการไหลของอากาศที่ 0.6 L/min/kg อัตราการย่อยสลายดีที่สุด มีการใช้แหล่งคาร์บอนได้สูงกว่าที่ 0.9 และ 0.4 L/min/kg ทำให้ปริมาณของไนโตรเจนที่ 0.6 L/min/kg มีค่าสูงเมื่อเทียบกับคาร์บอนที่ถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว ส่วนปริมาณของฟอสฟอรัสเมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลาย ฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบจะมีการปลดปล่อยออกมา ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสสูงขึ้นเมื่อกระบวนการหมักผ่านไป นั่นก็คือที่ 0.6 L/min/kg มีการย่อยสลายที่ดีที่สุดหรือปริมาณของออกซิเจนเหมาะสมต่อการย่อยสลาย

ทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ 0.9 และ 0.4 L/min/kg ในกระบวนการหมักจึงควรเลือกการให้อากาศที่มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.6 L/min/kg นอกจากนี้ ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และ ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร (2548) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรที่มีการต่อท่อให้อากาศพ่นเข้ากองปุ๋ยหมักในเชิงอุตสาหกรรม มีการใช้เครื่องเป่าลมขนาด 3 แรงม้า ผ่านท่อพีวีซี ขนาด 4 นิ้ว โดยมีอัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 155 ลิตร/วินาที วันละ 2 ครั้งๆละ 15 นาที

Saludes *et al*. (2007) ศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่มีผลต่อการผลิตปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ที่ 20, 37 และ 55 องศาเซลเซียส ทำการทดลองภายในถังหมักภายในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมสภาวะของการหมักได้ พบว่า ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสส่งเสริมการย่อยสลายได้ดีที่สุด โดยความหลากหลายของจุลินทรีย์มากที่อุณหภูมิ 20 และ 37 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม การให้อุณหภูมิสูงอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้มีข้อจำกัดการใช้พลังงานจากสารอินทรีย์ และเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนสูง ดังนั้นหากให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง การย่อยสลายจะลดลงในช่วงท้ายของการหมัก

Miyatake and Iwabuchi (2005b) ศึกษาแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูงภายในกองปุ๋ยหมักมูลโค โดยกล่าวถึงชนิดและกิจกรรมของเอนไซม์ โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 54, 60, 63, 66 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส กิจกรรมของแบคทีเรียทนร้อนสูงที่สุด ที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียสความหนาแน่นของจุลินทรีย์เริ่มมีความหนาแน่นลดลง และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส โดยจะประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่ม *Thermus* spp. และ *Thermophilic Bacillus* spp. ส่วน กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase และ catalase มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ 54 องศาเซลเซียส โดยกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองจะลดลงเรื่อยๆเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่เอนไซม์ superoxide dismutase จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แต่จะไม่พบเอนไซม์ catalase ส่วนเอนไซม์ lactate dehydrogenase จะเพิ่มสูงขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 63 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มใหม่ เมื่อวัดอัตราการย่อยสลายโปรตีน พบว่า อัตราการย่อยสลายสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการย่อยสลาย 65.5 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการย่อยสลายโปรตีนต่ำสุดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สามารถย่อยสลายได้เพียง 22.3 เปอร์เซ็นต์

Li *et al*. (2008) ศึกษาผลของการให้อากาศ (0.125, 0.25, 0.50 และ 0.75 L/min) วิธีการให้อากาศ (bottom forced และ top-diffusion) ความชื้น (50 และ 65 เปอร์เซ็นต์) และอายุของมูลโค ของปุ๋ยหมักฟางข้าวกับมูลโคระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าวผสมมูลโคคือ การให้อากาศที่ 0.25 L/min ระดับความชื้น 65 เปอร์เซ็นต์ และมูล

สด สนับสนุนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักได้ดีกว่าสภาวะอื่นๆ โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นผ่านระยะ thermophilic ได้เร็ว สามารถลดระดับของของแข็งที่ระเหยได้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้สูงสุด ส่วนวิธีการให้อากาศไม่มีความแตกต่างกัน แต่การให้อากาศทางด้านบนเสียพลังงานน้อยกว่า

Steger *et al*. (2007) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (40, 55 และ 67 องศาเซลเซียส) ต่อการเจริญของประชากร Actinobacteria ของปุ๋ยหมักจากฟางข้าวผสมกับอินทรียวัตถุในบ้านเรือนในระดับห้องปฏิบัติการ เนื่องจาก Actinobacteria เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีกระบวนการย่อยสลายและสร้างฮิวมัสได้ดี โดยการเพิ่มขึ้นของมวลจุลินทรีย์ (total microbial biomass) ศึกษาจากความเข้มข้นของ phospholipid fatty acid (PLFA) พบว่าที่ 40 องศาเซลเซียสมีความเข้มข้นสูงที่สุด โดยช่วงเริ่มต้นการหมักจะพบ *Corynebacterium, Rhodococcus* และ *Streptomyces* หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิลดลงอีกครั้งจะพบ thermotolerant Actinobacteria, ได้แก่ *Saccharomonospora viridis,Thermobifida fusca* และ*Thermobifida bispora* นอกจากนี้ยังพบ *Streptomyces* และ *Rhodococcus* ในขณะที่ 55 และ 67 องศาเซลเซียสพบ *Streptosporangineae, Actinomadura* และ *Thermobifida*, ส่วน*Thermotolerant bispora* และ *Symbiobacterium thermophylum* พบเฉพาะที่ 67 องศาเซลเซียส เท่านั้น

Miyatake and Iwabuchi (2005a) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อของการใช้อากาศอัตราการเจริญจำเพาะ และกิจกรรมของเอนไซม์ของเชื้อจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมักมูลโค พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการหมักจะเกิดการสร้างความร้อนและก๊าซคาร์บอนจำนวนมาก โดยอัตราการใช้ออกซิเจนสูงที่สุดที่ 43 และ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส มีการเจริญของเชื้อกลุ่ม mesophilic เจริญได้ดี ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีการเจริญของเชื้อกลุ่ม thermophilic ได้ดีที่สุด สำหรับอัตราการเจริญจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 43 และ 54 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส มีอัตราการเจริญจำเพาะของเชื้อสูงที่สุด เนื่องจากการเจริญของเชื้อกลุ่ม thermophilic หลังจากนั้นอัตราการเจริญจำเพาะจะลดลงเรื่อยๆ สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD), catalase และ protease เป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับกิจกรรมของจุลินทรีย์ พบว่าระดับกิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดจะมีค่าสูงที่สุดที่ 54 องศาเซลเซียส ตามด้วย 60 และ 43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยเมื่อวัดความสามารถในการกำจัดของแข็งที่ระเหยได้ง่าย (volatile solids content) ที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส ลดได้ถึง 24.5 เปอร์เซ็นต์ และที่ 43 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 16.1 และ23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากผลจึงพอสรุปได้ว่า อัตราการเจริญจำเพาะของจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมักเป็นตัวบ่งชี้โดยตรงที่

ดีกว่าการใช้ออกซิเจน ในการเพิ่มขึ้นของอัตราการเจริญจำเพาะ กิจกรรมของเอนไซม์ และการลดของแข็งที่ระเหยได้จะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดที่ 54 องศาเซลเซียส

Yu *et al*. (2007) ศึกษากลุ่มจุลินทรีย์และการย่อยสลายสารลิกโนเซลลูโลสภายในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 30:1 ความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ โดยวัดอุณหภูมิ การย่อยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และกลุ่มจุลินทรีย์ พบว่า อุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นในวันที่ 3 ของการหมัก ซึ่งวันที่ 12 ของการหมักอุณหภูมิเริ่มลดลง โดยการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วใน ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ตามลำดับ แต่เมื่อสิ้นสุดของกระบวนการหมัก พบว่า อัตราการย่อยสลายเซลลูโลสเกิดขึ้นสูงที่สุดตามด้วยเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ตามลำดับ สำหรับจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักมีความหนาแน่นสูงในวันที่ 2 ของการหมัก โดยจะเริ่มลดลงในวันที่ 6 ของการหมักหลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่ พบ Actinobacteria ในระยะ thermophilic ส่วน Actinobacteria รา และแบคทีเรียบางกลุ่ม ในระยะบ่ม (maturating phase)

Zeng *et al*. (2009) ศึกษาระยะที่เหมาะสมต่อการเติมเชื้อราขาว (*Phanerochaete chrysosporium*) ลงภายในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ผัก รำข้าว และดิน (11:3:2:8) โดยน้ำหนักความชื้น 55 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาการหมัก 45 วัน เติมเชื้อราขาวในช่วงเริ่มต้นการหมัก, เมื่ออยู่ในระยะ thermophilic (วันที่ 3) และไม่เติมเชื้อราขาว พบว่า อุณหภูมิทุกชุดการทดลองสูงกว่า 55 องศาเซลเซียสในวันที่ 3 ของการทดลอง และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 29.6:1 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักเหลือเพียง 16:1 ทุกชุดการทดลอง แต่ในชุดการทดลองที่เติมเชื้อราในระยะที่สองของการหมักสามารถลดค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้เร็วที่สุดคือ หลังจากวันที่ 35 จะมีค่าเป็น 16.08:1 ในขณะที่ชุดที่เติมเชื้อราขาวเริ่มต้นการหมักและไม่เติมเชื้อราขาวสามารถลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็น 16:1 หลังวันที่ 42 ของการหมัก นอกจากนี้ยังแสดงอัตราการงอกของหัวผักกาด พบว่า วันที่ 8 ของการหมัก อัตราการงอกชุดที่เติมเชื้อราขาวเริ่มต้นของการหมักมีอัตราการงอกสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่อีกสองชุดการทดลองต่ำกว่า แต่ชุดที่เติมเชื้อราขาวในช่วงระยะที่สองของการหมักมีอัตราการงอกสูงถึง 84.48 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 35 ของการหมัก ในขณะที่ชุดที่เติมเชื้อราเริ่มต้นการหมักและชุดที่ไม่เติมเชื้อ มีอัตราการงอกเป็น 82 และ 80.09 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 42 ของการหมัก ตามลำดับ

Alipour and Torkashvand (2009) ศึกษาการจัดการคุณภาพกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักด้วยการควบคุมพีเอช โดยเปรียบเทียบการเติมกรดซัลฟิวริกกับการเติมน้ำเสียโรงงานกระดาษที่มีค่าเป็นด่าง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน และลักษณะของปุ๋ยหมักที่ดี พบว่า เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก (50 วัน) ชุดควบคุม ชุดที่เติมกรดซัลฟิวริก 20 มิลลิลิตร และ 40 มิลลิลิตร ชุดที่

เติมน้ำเสียโรงงานกระดาษที่ 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.78, 1.89, 0.71, 1.75 และ 2.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งช่วยเพิ่มคุณสมบัติของปุ๋ยหมักให้ดีขึ้น

Sundberg (2005) ศึกษาประสิทธิภาพการปรับปรุงกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักจากวัตถุดิบที่มีพีเอชต่ำ โดยการควบคุมการให้อากาศ อุณหภูมิ และพีเอช รายงานว่า ปุ๋ยหมักที่อยู่ในสภาวะความเป็นกรดระยะเวลานานมีผลทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้า เนื่องจากพีเอชต่ำมีผลกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ในระยะ mesophilic แต่ยับยั้งการทำงานในระยะ thermophilic จึงส่งผลให้อุณหภูมิไม่เพิ่มสูงขึ้น สามารถแก้ไขได้โดยให้อากาศและควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม หรือเติมวัตถุดิบสด (fresh substrate) เข้ากองปุ๋ย นอกจากนี้ยังสามารถเติมวัตถุดิบที่เป็นด่างเพื่อเพิ่มพีเอชเพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่ง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายอยู่ที่ 55 องศาเซลเซียส โดยอากาศที่เติมเข้าสู่กองปุ๋ยหมักจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักคือ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ต้องการอากาศ 30 $m^3$/h ส่วนที่อุณหภูมิ 55 และ 70 องศาเซลเซียส ต้องการอากาศ 22.5 และ4.8 $m^3$/h ตามลำดับ

Nelson *et al*. (2006) จากการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าวสาลี โดยศึกษาระดับความชื้นต่างๆ คือ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการควบคุมระดับความชื้นให้คงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก พบว่า ระดับความชื้นที่ 50 เปอร์เซ็นต์มีความเหมาะสมต่อกระบวนการหมักมากที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยอุณหภูมิบ่งบอกถึงระดับกิจกรรมของจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมัก เนื่องจากมีอุณหภูมิที่สูงในระดับที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะที่มีอุณหภูมิสูงผ่านไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน ในขณะที่ระดับความชื้นที่ 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์มีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส

Erickson *et al*. (2009) ศึกษาผลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (20:1, 30:1 และ 40:1) ต่อกิจกรรมของ *Salmonella* spp. ในปุ๋ยหมักที่ประกอบด้วยฟางข้าวสาลี เมล็ดฝ้าย แอมโมเนียมซัลเฟต และมูลโคภายในถังหมักที่บรรจุปุ๋ย 4 กิโลกรัม มีการควบคุมสภาวะต่างๆให้เหมาะสมต่อการหมัก ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ความชื้นเริ่มต้น 60 เปอร์เซ็นต์ อัตราการให้อากาศ 155 มิลลิลิตรต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40 องศาเซลเซียส พ่นเชื้อ *Salmonella* spp. ลงกองปุ๋ยหมัก 107 cfu/g ทำการทดลอง 5 เดือน พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 20:1 สามารถลดปริมาณของ *Salmonella* spp. ได้มากที่สุดตามด้วย 30:1 และ 40:1 ตามลำดับ

Kuba *et al*. (2008) ศึกษาการเติมเถ้าลงไปในกองปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมักให้สูงขึ้น โดยเติมเถ้า 3 ระดับที่ 0, 8 และ 16 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยอุณหภูมิสูงสุดคือ 73.4, 69.3 และ 73.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังจาก 17 สัปดาห์ของการหมักอุณหภูมิกองปุ๋ยหมักทุก

กองมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิภายนอก ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งมีค่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติกันแต่ละชุดการทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเมื่อสิ้นสุดของการหมักไม่มีความแตกต่างกันที่ 13.1:1, 12.4:1 และ 12.3:1 ตามลำดับ ซึ่งจากผลสามารถเติมเถ้าเพื่อเป็นแหล่งแร่ธาตุในการผลิตปุ๋ยหมักได้ถึง 16 เปอร์เซ็นต์

Osono and Takeda (2004) ศึกษาการเพิ่มของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในการย่อยสลายสารพวกลิกนินจากพืช 14 ชนิด พบว่า ปริมาณของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในรูปแบบที่เหมือนกัน ในขณะที่ปริมาณของลิกนินลดลงในพืชทุกชนิดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยช่วงเริ่มต้นหมักของการหมักอัตราส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อลิกนินมีค่าสูงกว่าช่วงท้ายของกระบวนการหมัก

วารุณี มณีนาค (2546) ศึกษาการคัดเลือกเชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไคติเนสได้สูง และมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* พบว่า 67 ไอโซเลตจาก 117 ไอโซลเต สามารถเจริญคลุมทับเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* บนอาหาร potato dextrose agar และ 15 ไอโซเลตที่สามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลส และไคติเนสได้ดี เมื่อนำ 15 ไอโซเลตไปทดสอบโรคเน่าระดับดินกับเมล็ดคะน้า แตงกวา ถั่วเหลือง และมะเขือเทศที่ผ่านการแช่ในเชื้อรา *Trichoderma* spp. ทั้ง 15 ไอโซเลต พบว่า 6 ไอโซเลต สามารถควบคุมโรคเน่าระดับดินได้ดี

แพรทอง ละมุล (2549) ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ในการควบคุมโรคเน่าของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ สาเหตุจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* พบว่า การคลุกเมล็ดด้วยเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ก่อนการปลูก มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรครากเน่าของผักกาดหอม ช่วยให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตได้ดี

สุภัตรา อุปวรรณ (2544) ศึกษาการพัฒนามวลชีวภาพเชื้อ *Trichoderma* sp. และ *Bacillus* sp. โดยใช้วัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อใช้ในการควบคุมโรคเน่าคอดินของต้นกล้าคะน้าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium aphanidermatum* พบว่า จากการทดลองบนอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar โดยใช้วิธี dual culture technique ร่วมกับการทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างสารยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อ *Pythium aphanidermatum* และการควบคุมโรคเน่าคอดินของกล้าคะน้าบนเมล็ดพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* sp. สายพันธุ์ B10-2 สามารถควบคุมโรคเน่าคอดินของคะน้าได้ดีที่สุด การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในสภาพเรือนทดลอง และสารฆ่าเชื้อราเบนเลท (ชื่อสามัญ: benomyl) ให้ปริมาณต้นกล้าคะน้าที่เจริญสมบูรณ์มากที่สุด รองลงมาคือเชื้อรา *Trichoderma* sp. สายพันธุ์ T01-22 ที่ผลิตในรูปมวลชีวภาพโดยใช้เมล็ดฟางข้าว เมื่อนำเชื้อรา *Trichoderma* sp. สายพันธุ์ T01-22 ไปทดสอบประสิทธิภาพใน

การควบคุมโรคเน่าคอดินของคะน้าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium aphanidermatum* พบว่า *Trichoderma* sp. สายพันธุ์ T01-22 ที่ใช้เส้นใยปาล์มบดผสมยูเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลในการควบคุมโรคเน่าคอดินของกล้าคะน้าได้ดีที่สุด รองลงมาจากการใช้สารฆ่าเชื้อราโอฟาแทน (ชื่อสามัญ: metalaxyl) ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสารฆ่าเชื้อราเบนเลท (ชื่อสามัญ: benomyl)

จินตนา อิงคนินันท์ (2543) ศึกษาการจำแนกชนิดเชื้อรา *Trichoderma* spp. โดยอาศัยลักษณะสัณฐานวิทยาและลายพิมพ์ดีเอ็นเอ และทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเน่าระดับดินของคะน้าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium aphanidermatum* ซึ่งจากการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Pythium aphanidermatum* บนอาหาร potato dextrose agar พบว่า มีอัตราการเจริญและความสามารถในการเจริญคลุมทับโคโลนีของเชื้อ *Pythium aphanidermatum* ต่างกันเล็กน้อย เมื่อนำเมล็ดคะน้าคลุกด้วยผงเชื้อราของเชื้อ *Trichoderma* spp. ก่อนปลูกในดินอบฆ่าเชื้อที่มีเชื้อ *Pythium aphanidermatum* เจริญอยู่ ปรากฏว่าระดับการเกิดโรคกับต้นกล้าก่อนโผล่พ้นดิน หรือโรคเน่าระดับดินหลังงอกต่ำกว่าการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดวัสดุเศษเหลือต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมักจากเส้นใยปาล์มและกากตะกอนดีแคนเตอร์ในถังปฏิกรณ์ที่มีตะแกรงล้อมรอบ (50 กิโลกรัม) โดยใช้หัวเชื้อ ซุปเปอร์ พ.ด.1 ใช้น้ำประปา น้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 2 และน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ ในการปรับความชื้น และใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียวในการหมัก

2. เพื่อเพิ่มคุณค่าให้กับปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ โดยให้มีคุณสมบัติพิเศษ ได้แก่ การมีสารกำจัดเชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคพืชจากการใช้สารเร่งซุปเปอร์ พ.ด.3 และหัวเชื้อ *Trichoderma harzianum* และเพิ่มธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชจากการใช้สารเร่ง พ.ด.12

3. เพื่อนำชุดทดลองที่ดีที่สุดไปใช้ทำปุ๋ยหมักในระดับโรงงานต้นแบบกองละ 1 ตัน ศึกษาการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยหมักในแบบต่างๆ

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

2. ได้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปรับปรุงคุณภาพดินให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับพืชให้สูงขึ้น

## ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาทดลองผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม (เส้นใยปาล์มน้ำมัน กากตะกอนดีแคนเตอร์ น้ำทิ้งจากดีแคนเตอร์ และน้ำเสียในระบบบำบัดที่ 2) โดยควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการหมักให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม วัดค่าต่างๆดังนี้ อุณหภูมิ พีเอช ความชื้น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม กิจกรรมเอนไซม์ (CMCase ไซลาเนส ลิกนิเนส) และการเพิ่มคุณภาพปุ๋ยหมักให้สูงขึ้น (การควบคุมโรคพืชและการปลดปล่อยแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช) โดยใช้หัวเชื้อชนิดต่างๆของกรมพัฒนาที่ดิน (พ.ด.12 และ ซุปเปอร์ พ.ด.3) เพื่อนำชุดทดลองที่ดีที่สุดไปใช้ผลิตปุ๋ยหมักขนาดกองละ 1,000 กิโลกรัม ที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยศึกษาการใช้วิธีการเติมอากาศแบบต่างๆ

# บทที่ 2

# วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

## วัสดุ

**1. จุลินทรีย์**

- หัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.1 (LDD.1) มีลักษณะเป็นผงสีดำผสมแกลบ เป็นเชื้อผสมประกอบด้วยเชื้อรา 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Scopulariopsis* sp., *Helicomyces* sp., *Chaetomium* sp. และ *Trichoderma* sp. และแอคติโนมัยซิส 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Streptomyces* sp. และ *Bacillus* sp. (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพัฒนาที่ดิน

- หัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.3 (LDD.3) มีลักษณะเป็นผงสีดำผสมแกลบ เป็นเชื้อผสมประกอบด้วยจุลินทรีย์ *Trichoderma* sp. และ *Bacillus* sp. (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพัฒนาที่ดิน

- หัวเชื้อ พ.ด.12 (LDD.12) มีลักษณะเป็นผงสีดำผสมแกลบ เป็นเชื้อผสมประกอบด้วยจุลินทรีย์ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Azetobacter chroococcum*, *Azetobacter tropicalis*, *Burkholderia glumae* และ *Bacillus megaterium* (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพัฒนาที่ดิน

- *Trichoderma harzianum* ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์บริหารศัตรูพืช จังหวัดสงขลา

- *Pythium alphanidermatum* ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาการจัดการศัตรูพืช คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

- *Bacillus subtilis* WD161 ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**2. อาหารเลี้ยงเชื้อ**

- PDA (potato dextrose agar) ประกอบด้วย มันฝรั่ง 20, น้ำตาลเด็กโทรส 20 และวุ้น 15 กรัมต่อลิตร (Riker and Riker, 1936) เป็นอาหารสำหรับการเลี้ยงและเก็บรักษาเชื้อ *Trichoderma harzianum* และ *Pythium alphanidermatum*

- NA (nutrient agar) ประกอบด้วย Beef extract 3, Peptone 5 และวุ้น 15 กรัมต่อลิตร (Difco 0001) เป็นอาหารสำหรับการเลี้ยงและเก็บรักษาเชื้อ *Bacillus subtilis*

**3. สารเคมี**

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาไนโตรเจน (TKN), ฟอสฟอรัส ($P_2O_5$) และโปตัสเซียม ($K_2O$)

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาเฮมิเซลลูโลส, เซลลูโลส และลิกนิน

3.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาซีโอดี

3.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาไขมัน (ether extract)

3.6 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาเอนไซม์ไซลาเนส เซลลูเลส และลิกนิเนส

3.7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS reagent

**4. วัสดุที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก**

ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เจ เค อินดัสตรี้ อิมปอร์ต เอ็กซ์ปอร์ต จำกัด ตำบลบ้านพรุ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และ บริษัท ลาภทวีปาล์ม จำกัด ตำบลห้วยไทร อำเภอละงู จังหวัดสตูล

4.1 เส้นใยปาล์มและกากตะกอนดีแคนเตอร์

4.2 น้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 2

4.3 น้ำทิ้งดีแคนเตอร์

4.4 ขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำ

4.5 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ตราเรือใบไวกิ้ง บริษัท โรจน์พนกิจ จำกัด

**5. เมล็ดผัก**

5.1 เมล็ดผักคะน้า (ยี่ห้อโบว์แดง บริษัท มาทอลซิดส์ จำกัด) สำหรับทดสอบโรคเน่าคอดิน

5.2 เมล็ดผักบุ้ง (ยี่ห้อโบว์แดง บริษัท มาทอลซิดส์ จำกัด) สำหรับทดสอบการปลูกด้วยปุ๋ยหมัก

## อุปกรณ์

**1. อุปกรณ์สำหรับการทำปุ๋ยหมัก**

1.1 กระบะหมัก ขนาด 0.6x1.0x0.6 ลูกบาศก์เมตร

1.2 พลั่วสำหรับการผสมและกลับกองปุ๋ย

1.3 บัวรดน้ำและถังน้ำ

1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบฐานตั้งสปริงขนาด 60 กิโลกรัม

1.5 ภาชนะสำหรับหาความชื้น (moisture can)

1.6 เตาให้ความร้อน (hot plate)

1.7 เครื่องวัดพีเอช รุ่น Model LX-50 บริษัท Orion Research, Inc

1.8 ตู้อบอากาศร้อน (hot air oven) รุ่น 350 บริษัท Memmert GmbH Co.KG

1.9 เครื่องวัดพีเอช รุ่น Model 420A บริษัท Orion Research, Inc

**2. อุปกรณ์สำหรับปลูกผักและวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์**

2.1 แปลงทดลอง

2.2 บัวรดน้ำ

2.3 โกร่งบดตัวอย่าง

2.4 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น BP221S บริษัท Sartorius

2.5 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น U-2000 บริษัท Technical Cooperation

**3. อุปกรณ์สำหรับผลิตปุ๋ยหมักที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม**

3.1 โบลเวอร์ (blower) ขนาด 3 แรงม้า บริษัท Artith Ventilators

3.2 เครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม (water pump) 220 โวลต์ บริษัทโชว์ฟู รุ่นธรรมดา GF

3.3 ถังน้ำขนาด 200 ลิตร

3.4 อุปกรณ์สำหรับทำปุ๋ยหมัก

3.5 พลาสติกดำสำหรับคลุมกองปุ๋ย

## วิธีการ

### วิธีการวิเคราะห์

**1) ไนโตรเจน**

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อย และทำแบลงค์ (ไม่มีตัวอย่าง) ด้วย ใส่สารผสม $CuSO_4.5H_2O$ และ$K_2SO_4$ (1:10) 5 กรัม เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร วางหลอดย่อยในเตาอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 60 นาที ปล่อยทิ้งให้เย็นนำไปกลั่นต่อโดยเติมน้ำลงหลอดย่อย 50 มิลลิลิตร โซเดียมไฮดรอกซ์ลงไป 20 มิลลิลิตร กลั่นนาน 4 นาทีต่อตัวอย่าง โดยใช้ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ 2 หยด เป็นตัวเก็บไนโตรเจน ไตรเตรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดเกลือที่ความเข้มข้น 0.20 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง คำนวณหาปริมาณไนโตรเจน (A.O.A.C., 1990)

**2) ฟอสฟอรัส และ โปแตสเซียม**

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ใน erlenmayer flask ขนาด 150 มิลลิลิตร เติมกรดผสม $HNO_3/HClO_4$ 15 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆให้เข้ากัน ปิดปาก flask ด้วยกรวยแก้ว จากนั้นย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จนควันน้ำตาลหมด แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนควันสีขาว ทำการย่อยต่อไปจนสารละลายใส วางไว้ให้เย็นลงแล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ลงใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ใช้น้ำ deionized ล้างตัวอย่างปุ๋ยบนกระดาษกรองจนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี ปิเปตสารละลาย vanadomolybdate 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี วางไว้ 20 นาที ในฟอสฟอรัสวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer ส่วนโปแตสเซียมนำไปวัดการปลดปล่อยแสงด้วยเครื่อง flame photometer ที่ 420 นาโนเมตร ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่น นำค่าดังกล่าวคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม

**3) คลอโรฟิลล์**

นำผักบุ้งทั้งต้นยกเว้นส่วนรากมาหั่นและบดให้ละเอียด สุ่มตัวอย่างประมาณ 1-5 กรัม เติมแคลเซียมคาร์บอร์เนต 1 กรัม เติมอะซิโตนเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อช่วยในการสกัด หลังจากนั้นเติมอะซิโตนเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 100 มิลลิลิตร พร้อมกับคนผสมให้เข้ากันประมาณ 2 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยระบบสุญญากาศด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำสารละลายที่ได้มาเติมโซเดียมซัลเฟตที่มีสูตรโครงสร้างไม่มีน้ำ 5 กรัม กรองเอาโซเดียมซัลเฟตออก แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยอะซิโตนเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 649 และ 665 นาโนเมตร (A.O.A.C., 1990)

**4) น้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS reagent**

ปิเปตสารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติมด้วย DNS (3,5-dinitrosalicylic acid) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ทำให้เย็นทันทีเพื่อหยุดปฏิกิริยา นาน 10 นาที แล้วจึงเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร ในการทดลองชุดควบคุมใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์เช่นเดียวกัน เปรียบเทียบจากกราฟมาตรฐาน (Miller, 1959)

**5) เฮมิเซลลูโลส, เซลลูโลส และลิกนิน**

ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด ใส่ลงในบีกเกอร์ทรงสูงสำหรับวิเคราะห์เยื่อใยขนาด 600 มิลลิลิตรประมาณ 1 กรัม เติมสารละลาย neutral detergent 100 มิลลิลิตร $Na_2SO_4$ 0.5 กรัม และเดคาไฮโดรแนบทาลีน 2 มิลลิลิตร นำบีกเกอร์ไปตั้งบนเครื่องหาเยื่อใย ต้มให้เดือด 60 นาที ถ่ายสารละลายใส่ครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ล้างด้วยน้ำร้อน 3-4 ครั้ง ล้างตะกอนด้วยอะซิโตน 2 ครั้ง นำครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง นำครูซิเบิลออกใส่ในโถดูดความชื้น จนกระทั่งเย็นชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือ ผนังเซลล์ นำตัวอย่างทั้งหมดจากการวิเคราะห์ผนังเซลล์ ถ่ายลงในบีกเกอร์สำหรับวิเคราะห์เยื่อใยขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารละลาย acid detergent 100 มิลลิลิตร นำไปตั้งบนเครื่องย่อยหาเยื่อใย ต้มให้เดือดแล้ว ย่อยต่อไปอีก 60 นาที ล้างด้วยน้ำร้อน 3-4 ครั้ง ล้างตะกอนด้วยอะซิโตน 2 ครั้ง นำครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง นำครูซิเบิลออกใส่ในโถดูดความชื้น จนกระทั่งเย็นชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่หายไปจากครูซิเบิลคือ เฮมิเซลลูโลส นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ลิกนินต่อโดยการเติมซัลฟูลิกเข้มข้น 72 เปอร์เซ็นต์ ลงไปประมาณครึ่งหนึ่งของครูซิเบิล ใช้แท่งแก้วคนให้ทั่วทิ้งไว้ 3 ชั่วโมงกรองกรดออกล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 4 ชั่วโมง หรือจนกว่าค่าจะคงที่นำครูซิเบิลออกจากโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างที่หายไปคือ เซลลูโลส นำตัวอย่างไปเผาที่ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เอาออกจากโถอบแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็นชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่หายไปคือ ลิกนิน (Goering and van Soest, 1970)

**6) COD (chemical oxygen demand)**

ใส่ $HgSO_4$ ประมาณ 0.4 กรัม ลงในขวดรีฟลักซ์ พร้อมด้วย glass bead 2-3 เม็ด จากนั้นเติมตัวอย่างน้ำ 20 มิลลิลิตร ที่เจือจางในระดับที่เหมาะสมแล้วลงในขวด ปิเปตสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ 10 มิลลิลิตร เติมลงไปเขย่าให้เข้ากัน ค่อย ๆ เติม กรดซัลฟิวริคเข้มข้นที่ผสม $AgSO_4$ ลงไป 30 มิลลิลิตร ทำการรีฟลักซ์หรือต้มให้เดือดเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในที่มืด นำไปไทเทรตกับ $K_2Cr_2O_7$ โดยใช้สารละลาย ferroin เป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ อ่านปริมาตรที่ไทเทรต เพื่อ

ใช้ในการคำนวณค่า blank โดยใช้น้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร และน้ำยาเคมีต่าง ๆ เหมือนที่ใช้วิเคราะห์น้ำตัวอย่าง (APHA, AWWA and WEF, 1998)

**7) ไขมัน (ether extract)**

นำตัวอย่างที่บดละเอียด และอบให้แห้งแล้วประมาณ 1 กรัม หอด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และหอทับอีกชั้นด้วยผ้าขาวบางใส่ลงในทิมเบิล นำไปสกัดไขมันโดยทราบน้ำหนักที่แน่นอนของฟลาสที่ใช้ในการสกัด โดยเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ประมาณ 1/3 ของฟลาส สกัดติดต่อกันนานประมาณ 4-5 ชั่วโมง นำฟลาสไประเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกให้หมด นำฟลาสไปอบที่ 105 องศาเซลเซียสประมาณ 4 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมัน (A.O.A.C., 1990)

**8) กิจกรรมเอนไซม์ไซลาเนส**

นำ crude enzyme 0.125 มิลลิลิตร บ่มกับ 0.125 มิลลิลิตร ของ oats spelt xylan ร้อยละ 1 ที่ละลายใน citrate buffer 0.05 โมลาร์ พีเอช 4.8 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วตรวจหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น โดยวิธีของ DNS method ซึ่งใช้ไซโลสเป็นน้ำตาลมาตรฐาน (ภาคผนวก ข) (Sornyotha *et al*., 2003)

$$\text{ยูนิต/มิลลิลิตร} = \frac{\text{มิลลิลิตรของไซโลส x 1,000 x จำนวนเท่าการเจือจางตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลไซโลส x ระยะเวลาการบ่ม x ปริมาตรตัวอย่าง}}$$

(กรัม/โมล) (นาที) (มิลลิลิตร)

$$\text{ยูนิต/กรัม} = \frac{\text{ยูนิต/มิลลิลิตร (ปริมาณน้ำที่ใช้สกัด + ปริมาณน้ำที่เหลือจากการเลี้ยงเชื้อ)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้สกัด (กรัม)}}$$

(มิลลิลิตร) (มิลลิลิตร)

**9) กิจกรรมของเอนไซม์ CMCase**

นำ crude enzyme 0.125 มิลลิลิตร บ่มกับ 0.125 มิลลิลิตร ของ carboxymethyl cellulose (CMC) ร้อยละ 1 ที่ละลายใน citrate buffer 0.05 โมลาร์ พีเอช 4.8 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วตรวจหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น โดยวิธีของ DNS method ซึ่งใช้กลูโลสเป็นน้ำตาลมาตรฐาน และคำนวณเช่นเดียวกับกิจกรรมเอนไซม์ไซลาเนส แต่ใช้น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคสแทนไซโลส (ภาคผนวก ข) (Sornyotha *et al*., 2003)

**10) กิจกรรมของเอนไซม์ลิกนิเนส**

นำสารละลาย veratryl alcohol 10 มิลลิโมลาร์ 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับ D-tartaric acid บัฟเฟอร์ 0.25 โมลาร์ พีเอช 3 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร crude enzyme 0.5 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 0.75 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายของ veratryl alcohol เป็น 2 มิลลิโมลาร์ D-tartaric acid บัฟเฟอร์ 0.05 โมลาร์ และเริ่มปฏิกิริยาโดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 มิลลิโมลาร์ 0.25 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงทันทีที่ความยาวคลื่น 310 นาโนเมตร นาน 1 นาที ชุดการทดลองควบคุมใช้ตัวอย่างในเวลาที่ 0 นาที แล้วจึงคำนวณค่ากิจกรรมของเอนไซม์ การคำนวณเป็นยูนิต/กรัม ทำเช่นเดียวกับการหากิจกรรมเอนไซม์ไซลาเนส โดยคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้สกัด น้ำที่เหลือจากการเลี้ยงเชื้อ และจำนวนตัวอย่างที่ใช้สกัด ( Buswell *et al*., 1995 อ้างโดย โสภาวรรณ รัตนพันธุ์, 2546)

$$\text{ยูนิต/มิลลิลิตร} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นใน 1 นาที} \times 2.5 \times 10^{6} \times \text{จำนวนเท่าการเจือจางตัวอย่าง}}{9300}$$

**11) ของแข็งทั้งหมด (total solid; TS)**

นำตัวอย่างน้ำทิ้ง 20 มิลลิลิตร ใส่ถ้วยกระเบื้องสำหรับระเหยที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำถ้วยไประเหยให้แห้งใน water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นอบถ้วยให้แห้งที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 45 นาที แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (APHA, AWWA and WEF, 1998)

**12) คาร์บอนทั้งหมด (total organic carbon; TOC)**

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างจากการสุ่มประมาณ 1 กรัม ใส่ในครูซิเบิลสำหรับเผาที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 3-4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำภาชนะที่บรรจุตัวอย่างมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล คำนวณหาเปอร์เซ็นต์วัตถุอินทรีย์และคาร์บอนทั้งหมด (Yeser *et al*., 2007)

เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ (Organic matter; OM) = (น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น – น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา / น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น) x 100

%TOC = OM (%) / 1.8

**13) พีเอช**

นำตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มมาผสมให้เข้ากัน สุ่มตัวอย่างมาประมาณ 10 กรัม เติมน้ำ 100 มิลลิลิตรเขย่า 30 นาที วางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 5 นาที แล้วจึงนำไปวัดพีเอช (Solano *et al.,* 2001 อ้างโดย Rapoor *et al*., 2008)

**14) อุณหภูมิ**

วัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เสียบลงบนกองปุ๋ยลึกประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นรอให้ค่าคงที่ประมาณ 2-3 นาที (Baca *et al*., 1990 อ้างโดย Heerden *et al*., 2002)

**15) ความชื้น**

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างจากการสุ่มประมาณ 1 กรัม ใส่ในภาชนะที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 3-4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำภาชนะที่บรรจุตัวอย่างมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของความชื้น (AOAC, 1990)

**16) Agar well diffusion assay**

เลี้ยงเชื้อราโรคพืชบนอาหาร PDA นาน 2 วัน นำไปทำ spore suspension ความเข้มข้น $10^4$ spore/ml ดูดตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร เพื่อนำไป spread plates จนวุ้นแห้ง เจาะหลุมจำนวน 4 หลุมต่อเพลต หยดตัวอย่างที่ละลายใน DMSO 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 50 ไมโครลิตร บ่มไว้ 24-48 ชั่วโมง วัดขนาดวงใส (Guven *et al*., 2005)

**17) คาร์โบไฮเดรต (nitrogen free extract; NFE)**

NFE = 100 - % ash - % crude protein - % ether extract - % crude fiber

**วิธีการทดลอง**

**1) องค์ประกอบของวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก**

- เส้นใยปาล์ม (palm pressed fiber; PPF) วัดค่าพีเอช และวิเคราะห์หาค่า ความชื้น วัตถุแห้งเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส, ลิกนิน, ไขมัน, ไนโตรเจน, เถ้า, ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม
- กากตะกอนดีแคนเตอร์ (decanter cake) วัดค่าพีเอช และวิเคราะห์หาค่าความชื้น, วัตถุแห้ง, เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส, ลิกนิน, ไขมัน, ไนโตรเจน, เถ้า, ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม
- น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ วัดค่าพีเอช และวิเคราะห์หาค่าซีโอดี, ไขมัน, ของแข็งทั้งหมด, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม
- น้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 2 วัดค่าพีเอช และวิเคราะห์หาค่าซีโอดี, ไขมัน, ของแข็งทั้งหมด, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม
- ขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำ วัดค่าพีเอช และวิเคราะห์หาค่าไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม

**2) ผลของวัตถุดิบต่อประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมัก**

ศึกษาการทำปุ๋ยหมักขนาด 50 กิโลกรัมต่อชุดในกระบะอลูมิเนียมที่มีตะแกรงล้อมรอบ ภายใต้โรงเรือนที่มุงหลังคา ทำการทดลอง 60 วัน โดยมีชุดการทดลองดังนี้

- **ชุด Tap water** ผสมเส้นใยปาล์ม (PPF) กับกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ใช้ขี้เถ้าปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 (5 กิโลกรัมต่อ 50 กิโลกรัม) และปรับความชื้นเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 50-60 เปอร์เซ็นต์ และทุกๆ 10 วัน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 30-40:1 (เติมปุ๋ยยูเรีย 100 กรัม) จากนั้นเติมหัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.1 (10 กรัม) ปรับความชื้นโดยใช้น้ำประปา (tap water) (ภาณุพงศ์ บางรักษ์, 2548)

- **ชุด POME** ทำเช่นเดียวกับชุด Tap water แต่ใช้น้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 2 ปรับความชื้นแทนการใช้น้ำประปา

- **ชุด Decanter effluent** ทำเช่นเดียวกับชุด Tap water แต่ใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ปรับความชื้นแทนการใช้น้ำประปา

- **ชุด Decanter cake** ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียวในกระบวนการหมักโดยไม่ผสมเส้นใยปาล์ม และไม่เติมปุ๋ยยูเรีย (C/N ratio ต่ำกว่า 30-40:1)

วัดอุณหภูมิทุกๆ 3 วัน เก็บตัวอย่าง 5 จุด (บริเวณขอบทั้ง 4 ด้าน และตรงกลาง 1 จุด) โดยเก็บตัวอย่างจุดละประมาณ 300 กรัมลึกลงไป 15 เซนติเมตร เพื่อนำไปหาค่าพีเอชทุกๆ 3 วัน ความชื้นทุกๆ 5 วัน กิจกรรมของเอนไซม์ CMCase ไซลาเนส และลิกนิเนส ในแต่ละช่วงกระบวนการหมักที่ 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 วัน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และอินทรียวัตถุ (organic matter) เริ่มต้น และทุกๆ 20 วัน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก คัดเลือกปุ๋ยหมักชุดที่ดีที่สุดที่ให้ C:N ratio ต่ำกว่า 20:1 และN, P, K สูงกว่า 0.5, 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการทดลองในชุดต่อไป

**3) การทดสอบคุณภาพปุ๋ยหมักโดยการปลูกผักบุ้ง**

ทดลองปลูกผักบุ้งในแปลงปลูกที่คณะทรัพยากรธรรมชาติขนาด 0.5 X 1 เมตร โรยเมล็ดเป็นแถวลึกประมาณ 1 นิ้ว จำนวน 3 แถว ชุดละ 3 แปลงๆละประมาณ 300 ต้น ให้น้ำวันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) ให้ปุ๋ยโดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกให้ในขั้นตอนการเตรียมดิน 1 กิโลกรัมต่อแปลง และครั้งที่ 2 เมื่อต้นกล้าอายุ 15 วัน โดยใส่ปุ๋ยลงที่โคนต้น 0.33 กิโลกรัมต่อแปลง (15 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่) มีชุดทดลองดังนี้ คือ

- **ชุด Control** ไม่เติมปุ๋ยหมัก

- **ชุด Tap water** ให้ปุ๋ยหมักที่มีการปรับความชื้นโดยใช้น้ำประปา (ที่ผลิตได้จากข้อ 2)

- **ชุด POME** ให้ปุ๋ยหมักที่มีการปรับความชื้นโดยใช้น้ำเสียจากบ่อบำบัดที่ 2 (ที่ผลิตได้จากข้อ 2)

- **ชุด Decanter effluent** ให้ปุ๋ยหมักที่มีการปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ (ที่ผลิตได้จากข้อ 2)

- **ชุด Decanter cake** ให้ปุ๋ยหมักที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียวในกระบวนการหมัก (ที่ผลิตได้จากข้อ 2)

เก็บตัวอย่างแปลงละ 3 ต้น วัดความสูงของลำต้น วิเคราะห์หาน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม ทุกๆสัปดาห์จนถึงระยะเก็บเกี่ยว (28 วัน) (อร่าม คุ้มทรัพย์, 2543)

**4) ผลของการเพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้กับปุ๋ยหมักที่ผลิตได้**

**4.1 ผลของการใช้ พ.ด.3 และ *Trichoderma harzianum***

ศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชในดิน โดยนำปุ๋ยหมักชุดที่คัดเลือกได้ (จากขั้นตอนที่ 2) ทำการหมักต่อโดยการเพิ่มรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ ปรับความชื้นให้ได้ 60 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบการเติมหัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.3 (12.5 กรัม) หัวเชื้อ *Trichoderma harzianum* ($0.5x10^6$ spore/g) และชุดควบคุม (ไม่เติมหัวเชื้อ) โดยหมักขนาดกองปุ๋ยละ 50 กิโลกรัม ระยะเวลาในการหมัก 7 วัน เก็บตัวอย่างเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์หาความสามารถในการยับยั้งหรือทำลายการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืช *Pythium aphanidermatum* โดยมีชุดการทดลองดังนี้

- **ชุดควบคุม** คัดเลือกจากการศึกษาผลของวัตถุดิบที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

- **ชุด พ.ด.3 (LDD.3)** เหมือนกับชุดควบคุมแต่หมักต่อโดยใช้หัวเชื้อ พ.ด.3

- **ชุด *Trichoderma harzianum*** เหมือนกับชุดควบคุมแต่หมักต่อโดยใช้หัวเชื้อ *Trichoderma harzianum*

**การทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Pythium aphanidermatum* ในห้องปฏิบัติการ**

สกัดสารโดยใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งตัวอย่างปุ๋ยหมัก 15 กรัม เติมเอธิลแอลกอฮอล์ 150 มิลลิลิตร (1/10) เขย่าที่ 150 รอบต่อนาที 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างไประเหยเอาเอธิลแอลกอฮอล์ออก แล้วนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง นำตัวอย่างละลายด้วย

dimethyl sulfoxide (DMSO) 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จึงนำไปทดสอบโดย agar well diffusion assay เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม ชุดพ.ด.3 และชุด *Trichoderma harzianum* พิจารณาขนาดของโซนใส เมื่อลบด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุม (Guven *et al*., 2005)

**การทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Pythium aphanidermatum* กับพืชโดยตรง**

ผสมดินที่ฆ่าเชื้อแล้วกับปุ๋ยหมักในอัตราส่วน 2:1 (ชั่งดิน 2 กิโลกรัมผสมกับปุ๋ยหมัก 1 กิโลกรัม) ใส่ลงในถุงดำขนาด 10x6 เซนติเมตรถุงละ 0.5 กิโลกรัม เพาะเมล็ด 20 เมล็ดต่อถุง จำนวน 4 ถุงต่อชุด พ่นเชื้อ *Pythium alphanidermatum* ในรูป mycerial spore suspension 0.1 มิลลิลิตร เพาะเมล็ด 7 วันหาอัตราการงอก น้ำหนัก ความสูง เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุม กับชุด พ.ด.3 และชุด *Trichoderma harzianum* (จิระเดช และคณะ, 2544)

**4.2 การทดสอบการเพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของพืช**

ทดลองเหมือนกับผลของการใช้ พ.ด.3 และ *Trichoderma harzianum* แต่หมักต่อโดยใช้ พ.ด. 12 วิเคราะห์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ก่อนการเติมเติมแหล่งหัวเชื้อ วันที่ 0 และวันที่ 7 ของการหมักโดยมีชุดการทดลองดังนี้

- **ชุดควบคุม** คัดเลือกจากการศึกษาผลของวัตถุดิบที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก
- **ชุด พ.ด.12 (LDD.12)** เหมือนกับชุดควบคุมแต่หมักต่อโดยใช้หัวเชื้อ พ.ด.12 (16 กรัม)

**5) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักที่โรงงาน**

ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักขนาดกองละ 1 ตัน ที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มควบคุมสภาวะต่างๆให้เหมาะสมต่อกระบวนการหมักภายใต้โรงเรือน ปรับความชื้นเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 50-70 เปอร์เซ็นต์ และควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 50-60 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะเวลาของการหมัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 30-40 : 1 (เติมยูเรีย 2 กิโลกรัมต่อตัน) ปรับพีเอชให้เป็นกลางโดยใช้ขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำ ใช้ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน หรือจนกว่าค่า C:N ratio จะต่ำกว่า 20:1 (ตามมาตรฐานปุ๋ยหมัก) วัดอุณหภูมิทุกๆวัน เก็บตัวอย่าง 8 จุด (บริเวณหัวและท้ายกอง 2 จุด บริเวณข้างๆกองด้านซ้ายและขวา 4 จุด และตรงกลางอีก 2 จุด) โดยเก็บตัวอย่างจุดละประมาณ 300 กรัมลึกลงไป 15 เซนติเมตร เพื่อนำไปหาค่าความชื้นทุกๆ 5 วัน คาร์บอน และไนโตรเจน ที่ 40, 45, 50, 55 และ 60 วัน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก โดยมีชุดการทดลองดังนี้

- **ชุด Turning pile** เตรียมกองปุ๋ยหมักขนาด 1 ตัน (เส้นใยปาล์ม และกากตะกอนดีแคนเตอร์ อย่างละ 500 กิโลกรัม) ปรับความชื้นด้วยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ หมักด้วยซุปเปอร์ พ.ด. 1 ให้อากาศแบบกลับกองปุ๋ย (turning pile) ขนาดกองปุ๋ยหมัก ฐานกว้าง 1.5 เมตร สูง 0.5 เมตร ยาว 3.5 เมตร กลับกองเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก Schuchardt *et al*., 2002)

- **ชุด Covered aerated pile** เตรียมกองปุ๋ยหมักเช่นเดียวกับชุด Turning pile แต่เติมอากาศโดยใช้โบลเวอร์ (blower) ขนาด 3 แรงม้า โดยต่อท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว เจาะรูรอบๆท่อ วางที่ฐานของกองปุ๋ยหมัก แล้วปล่อยอากาศเข้าไปตามท่อในอัตราการไหล 155 ลิตร/วินาที วันละ 2 ครั้งๆละ 15 นาที (ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และ ธีระพงศ์ สว่างปัญญางกูร, 2548) คลุมกองปุ๋ยหมักโดยใช้พลาสติกสีดำ เปิดกองตอนให้อากาศเพื่อระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

- **ชุด No covered aerated pile** เตรียมกองปุ๋ยหมักและให้อากาศเช่นเดียวกับชุด Covered aerated pile แต่ไม่มีการคลุมกองปุ๋ย

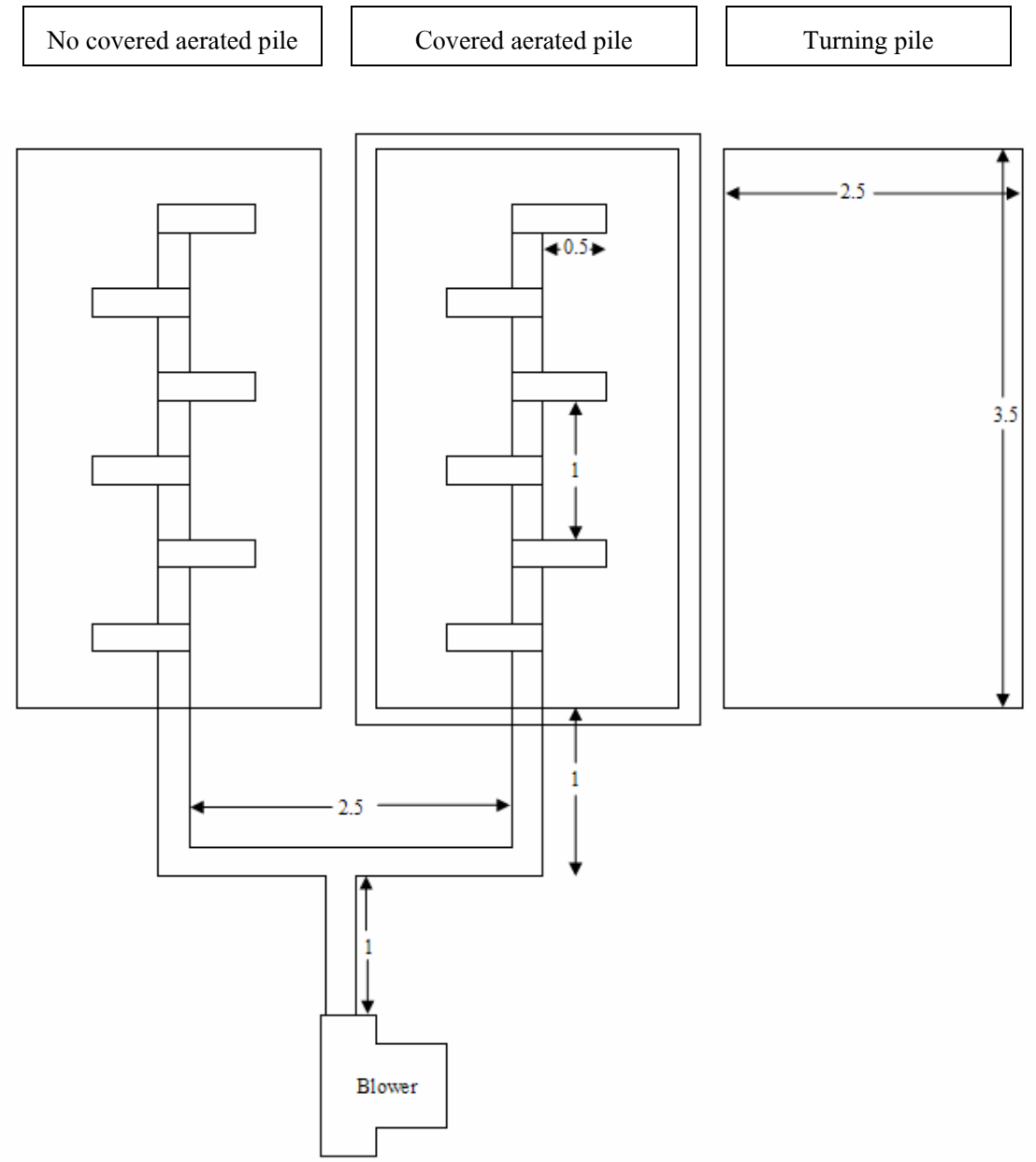


Figure 3. The different aeration systems for large scale compost production (1,000 kilograms)

# บทที่ 3

# ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

## 1. องค์ประกอบของวัสดุเศษเหลือที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก

องค์ประกอบของวัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบที่มีระดับของสารอาหารและแร่ธาตุอยู่สูง ต้นทุนต่ำ ในการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักใช้ เส้นใยปาล์ม กากตะกอนดีแคนเตอร์ น้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 2 น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำ ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้มีความเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ช่วยเพิ่มมูลค่าของวัสดุเศษเหลือเหล่านั้น ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญได้ง่าย เนื่องจากวัสดุเศษเหลือเหล่านั้นผ่านกระบวนการผลิตที่ต้องใช้ความร้อนและความดันสูง ทำให้องค์ประกอบของวัสดุเศษเหลือเหล่านั้นมีความเปราะบางช่วยให้การย่อยสลายหรือการใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น แต่องค์ประกอบของวัสดุเศษเหลือบางชนิดมีความแข็งแรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยปาล์ม (Kuhad *et al*., 1997) มีองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 28.91, 21.56 และ 23.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งยากต่อกระบวนการย่อยสลายทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์วัสดุเศษเหลือเหล่านั้นของ จุลินทรีย์ลดลง ปริมาณของ N-P-K เท่ากับ 0.82, 0.25 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีเถ้า เท่ากับ 4.64 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ อัญชลี โฆษิตขจรเดช (2550) ศึกษาการผลิตเส้นใยปาล์มน้ำมันหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับแกะ พบว่า เส้นใยปาล์มมีไนโตรเจนเท่ากับ 1.05 เปอร์เซ็นต์ หรือมีโปรตีนเท่ากับ 6.16 เปอร์เซ็นต์ เถ้าเท่ากับ 4.91 เปอร์เซ็นต์ ส่วนองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 22.79, 33.98 และ 21.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงดัง Table 3 องค์ประกอบของกากตะกอนดีแคนเตอร์มีความเหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้แทนมูลสัตว์ มีองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 27.53, 8.54 และ 19.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณของ N-P-K เท่ากับ 1.22, 0.73 และ 0.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีองค์ประกอบของไนโตรเจนอยู่สูง นอกจากนี้น้ำเสียและน้ำทิ้งดีแคนเตอร์สามารถนำมาใช้สำหรับปรับความชื้นในการผลิตอีกทางหนึ่ง ซึ่งช่วยกำจัดและเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำทิ้งทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงยิ่งขึ้น โดยองค์ประกอบของน้ำทิ้งดีแคนเตอร์มีค่าซีโอดี เท่ากับ 86,666 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของ N-P-K เท่ากับ 0.78, 0.17 และ 0.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และน้ำเสียบ่อบำบัดที่ 2 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 9,333 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของ N-P-K เท่ากับ 5.69, 0.03 และ 0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงดัง Table 4 Okiy (1987 อ้างโดย อารี กังแฮ, 2536) รายงานว่าปริมาณ N-P-K เฉลี่ยของน้ำเสียรวมที่ออกจากกระบวนการผลิตมีค่าเท่ากับ 1.31, 0.24 และ 0.99

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดย Chavalparit (2006) รายงานว่าน้ำทิ้งรวมและน้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 3 มีค่าซีโอดี เท่ากับ 68,341 และ 4,307 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำเติมลงกองปุ๋ยหมักเพื่อช่วยในการปรับพีเอช โดยปริมาณของ N-P-K เท่ากับ 0.01, 3.16 และ 5.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พีเอชเท่ากับ 10.1 ดัง Table 5 ซึ่งจากการศึกษาของ ภาณุพงศ์ บางรัก (2548) รายงานว่า องค์ประกอบของเส้นใย กากตะกอนดีแคนเตอร์ และขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำ มี N-P-K เท่ากับ 0.63-0.20-0.46, 2.37-0.28-0.85 และ 0.08-0.92-1.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งวัสดุเศษเหลือเหล่านี้เมื่อผ่านการย่อยสลายแล้วมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเพิ่มปริมาณแร่ธาตุ และสารอินทรีย์ให้กับดินและพืช ในปัจจุบันมีการส่งเสริมให้มีการผลิตและใช้ปุ๋ยอินทรีย์แทนปุ๋ยเคมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้มูลค่าของปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้วัสดุเศษเหลือเหล่านั้นมีการใช้ประโยชน์และมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย

Table 3. Chemical compositions of palm pressed fiber (PPF) and decanter cake

| **Composition (dry basis)** | **Palm pressed fiber** | **Decanter cake** |
|---|---|---|
| Dry matter (%) | 93.17 | 25.35 |
| Moisture content (%) | 6.83 | 74.65 |
| Crude fat (%) | 5.16 | 8.42 |
| Nitrogen free extract (%) | 5.85 | 3.72 |
| Hemicellulose (%) | 21.56 | 8.54 |
| Cellulose (%) | 28.91 | 27.53 |
| Lignin (%) | 23.63 | 19.86 |
| Ash (%) | 4.64 | 24.31 |
| Nitrogen (%) | 0.82 | 1.22 |
| Phosphorus (%) | 0.25 | 0.73 |
| Potassium (%) | 0.37 | 0.45 |
| pH | 4.82 | 5.17 |

Table 4. Chemical compositions of decanter effluent and second pond wastewater of a palm oil mill

| Composition (dry basis) | Decanter effluent | 2nd pond wastewater |
|---|---|---|
| Crude fat (%) | 36.06 | 1.04 |
| COD (mg/l) | 86,666 | 9,333 |
| Total solid (mg/l) | 112,974 | 17,932 |
| Nitrogen (%) | 0.78 | 5.69 |
| Phosphorus (%) | 0.17 | 0.03 |
| Potassium (%) | 0.62 | 0.6 |
| pH | 4.71 | 7.46 |

Table 5. Chemical compositions of palm ash from boiler

| Composition (dry basis) | Content |
|---|---|
| Nitrogen (%) | 0.01 |
| Phosphorus (%) | 3.16 |
| Potassium (%) | 5.52 |
| pH | 10.10 |

**2. ผลของวัตถุดิบต่อประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมัก**

จากกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักด้วยเส้นใยปาล์มผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 โดยใช้น้ำจากแหล่งต่างๆในการปรับความชื้น คือ น้ำประปา น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และน้ำเสียบ่อ 2 จากระบบบำบัดน้ำเสียระบบเปิด และหมักโดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียวในการหมัก ปรับพีเอชให้เป็นกลางโดยใช้ขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำ และเติมยูเรีย 100 กรัม (2 กิโลกรัมต่อตัน) สำหรับขนาดชุดละ 50 กิโลกรัม

**อุณหภูมิ (temperature)**

จาก Figure 4 อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักในชุดการทดลองที่ใช้น้ำประปา น้ำเสียบ่อ 2 น้ำทิ้งดีแคนเตอร์เป็นแหล่งน้ำในการปรับความชื้น และชุดที่ใช้วัตถุดิบเป็นกากตะกอน

ดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียว จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมัก โดยวันที่ 3 ของการหมักอุณหภูมิอยู่ที่ 60, 62, 65 และ 63 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Huang *et al*. (2007) กล่าวว่า อุณหภูมิจะสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส ภายใน 3 วัน จากนั้นอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะค่อยๆลดลง และในวันที่ 9 ของการหมักอุณหภูมิอยู่ที่ 40, 42, 43.5 และ 44 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหลังการปรับความชื้นใหม่ในวันที่ 12 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเป็น 50, 51, 55 และ 54 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายวัตถุอินทรีย์ (Saludes *et al*., 2007) โดยอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงเมื่อระดับความชื้นลดลง และจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหลังการปรับความชื้นใหม่ตลอดระยะของการหมัก เมื่อหมักครบ 60 วัน อุณหภูมิแต่ละชุดการทดลองอยู่ที่ 28.5, 28, 29.5 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ วธิดา คะนะแนม และคณะ (2552) ศึกษาสภาวะทางชีวเคมีของกองปุ๋ยหมักจากทะลายปาล์มเปล่าโดยใช้มูลไก่และกากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 28 องศาเซลเซียส สำหรับชุดที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนมีอุณหภูมิสูงสุด 59 องศาเซลเซียส 2 วันหลังการหมัก เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นของการหมักเชื้อจุลินทรีย์ที่เติมลงไปและเชื้อจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัตถุดิบ ได้แก่ เส้นใยปาล์ม กากตะกอนดีแคนเตอร์ และน้ำเสียบ่อ 2 ย่อยสลายหรือใช้สารอาหารที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน ทำให้กิจกรรมของการหมักหรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นและค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่อง

เนื่องจากในกระบวนการหมักแบบอาหารแข็ง (solid state fermentation) ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการหมัก เมื่อมีการเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักใหม่อีกครั้ง ทำให้ระดับกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์หรืออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง นอกจากนี้ ในน้ำทิ้งดีแคนเตอร์จะมีปริมาณของสารอาหารอยู่สูง โดยมีค่าซีโอดีเท่ากับ 86,666 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม เท่ากับ 0.78, 0.17 และ 0.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยชุดที่มีการปรับความชื้นโดยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักจะสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งสูงที่สุดในวันที่ 3 ของการหมักเท่ากับ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับชุดที่หมักด้วยกากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียวเท่ากับ 63 องศาเซลเซียส ในวันที่ 9 มีอุณหภูมิอยู่ที่ 44 และ 43.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนการปรับความชื้นโดยการเติมน้ำประปา (tap water) และน้ำเสียบ่อ 2 (POME) อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาของการหมัก โดยองค์ประกอบของน้ำเสียบ่อ 2 มีค่าซีโอดีต่ำกว่าน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ ส่งผลให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่มีการปรับความชื้นจากน้ำประปาซึ่งจากการรายงานของ Saludes *et al*. (2007) รายงานว่า อุณหภูมิที่สูงภายในกองปุ๋ยหมักจะช่วยส่งเสริมการย่อยสลายให้เร็วขึ้น โดยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เมื่อกระบวนการหมักผ่านไปอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงตามลำดับ นอกจากนี้

ยังใกล้เคียงกับผลการทดลองของ ภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) ซึ่งศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ พบว่า อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นของการหมัก หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงเมื่อกระบวนการหมักผ่านไป โดยกองปุ๋ยหมักทุกกองมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 37-40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิจะสูงสุดถึง 60-75 องศาเซลเซียส หลังกลับกองปุ๋ยหมักใน 2 ครั้งแรกทุก 10 วัน หลังจากนั้นอุณหภูมิจะสูงสุด หลังการกลับกองปุ๋ยหมักจะค่อยๆลดลงตามลำดับ

ดังนั้นการปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต และน้ำเสียในระบบบำบัดบ่อที่ 2 ไม่มีผลต่อกระบวนการหมัก แต่ยังมีสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ช่วยให้กระบวนการหมักมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถนำเอาน้ำทิ้งมาใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักได้ ซึ่งเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิตอีกรูปแบบหนึ่ง ทั้งยังสามารถกำจัดน้ำเสียได้อีกทางหนึ่งด้วย

**พีเอช (pH)**

ช่วงเริ่มต้นของการหมักมีการปรับพีเอชให้เป็นกลางโดยใช้ขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำ ซึ่งนอกจากจะช่วยปรับพีเอชแล้ว ขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำยังช่วยเพิ่มฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ให้กับกองปุ๋ยหมักด้วย Kuba *et al*. (2008) องค์ประกอบของวัตถุดิบของเส้นใยปาล์ม กากตะกอนดีแคนเตอร์ น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ น้ำเสียบ่อ 2 มีค่าพีเอช 4.82, 5.17, 4.71 และ 7.46 ตามลำดับ ซึ่งวัตถุดิบส่วนใหญ่มีความเป็นกรดในช่วงกว้าง ยกเว้นน้ำทิ้งบ่อ 2 ในกระบวนการหมักจึงมีการปรับให้พีเอชมีค่าใกล้เคียงกับ 7 ก่อนเพื่อให้กระบวนการหมักมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัมพันธ์กับ อมรศรี ตุ้ยระพิงค์ (2542) ซึ่งกล่าวว่าในช่วงเริ่มต้นของการหมักพีเอชจะอยู่ในช่วงระหว่าง 6.0-8.0 โดยการใช้ขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำเป็นตัวปรับพีเอชเนื่องจากมีพีเอช 10.10 โดยทำการวัดพีเอชทุกๆ 3 วัน จากการทดลอง พบว่า ช่วงเริ่มต้นของการหมักพีเอชชุดการทดลองที่มีการปรับความชื้นด้วยน้ำประปา น้ำเสีย น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และ กากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียวมีค่าเท่ากับ 7.15, 7.14, 6.98 และ 6.92 ตามลำดับ โดยพีเอชจะลดลงในช่วงแรกของการหมักวันที่ 6 ของการหมักพีเอชแต่ละชุดการทดลองมีค่า เท่ากับ 6.52, 6.98, 6.54 และ 6.51 ตามลำดับ หลังจากนั้นพีเอชแต่ละชุดการทดลองจะเพิ่มสูงขึ้น โดยวันที่ 15 ของการหมักพีเอชจะมีค่าเท่ากับ 8.21, 8.47, 7.75 และ 7.26 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.79, 7.75, 7.84 และ 8.23 ตามลำดับ แสดงดัง Figure 4 สัมพันธ์กับ Trautmann and Krasny (1997) กล่าวว่า ในช่วงเริ่มต้นของการหมักพีเอชจะลดลงเล็กน้อยหลังจากนั้นพีเอชจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

**ความชื้น (moisture content)**

ความชื้นจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการหมัก เพื่อให้กระบวนการหมักเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เกิดกระบวนการย่อยสลายรวดเร็วจำเป็นต้องมีการปรับความชื้นให้เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก ซึ่งความชื้นจะทำให้วัตถุดิบที่ใช้หมักมีความอ่อนนุ่ม เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยละลายสารอาหารที่ย่อยสลายแล้วเพื่อนำสารอาหารเหล่านั้นเข้าสู่เซลล์ได้ง่ายขึ้น โดยทั่วไปในกระบวนการหมักปุ๋ยชีวภาพความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ (Haug, 1993) ยกเว้นชุดการทดลองที่หมักด้วยกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่มีความชื้น 71.2 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ วิษณุพงค์ เกลี้ยงช่วย (2552) เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ในกระบวนการหมักในชุดกากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียวจึงค่อนข้างมีปัญหาเรื่องกลิ่นเนื่องจากองค์ประกอบมีความชื้น และสารอินทรีย์สูง ขนาดของวัตถุดิบมีขนาดเล็ก และมีการอัดตัวกันแน่น ทำให้เกิดระบบไร้อากาศในช่วงแรกของการหมัก ดังนั้น กระบวนการหมักจึงจำเป็นต้องมีการกลับกองปุ๋ยหมักบ่อยๆเพื่อช่วยระเหยความชื้นและกลิ่นที่เกิดขึ้น โดยความชื้นจะลดลงเหลือ 40.6 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 10 ของการหมัก (Figure 4) ส่วนการระเหยความชื้นของกลุ่มการทดลองอื่นๆ ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 10 วันแรกของการหมัก เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงถึง 60, 62, 65 และ 63 องศาเซลเซียส วันที่ 3 ของการหมักของชุดการทดลองที่มีการปรับความชื้นด้วยน้ำประปา น้ำเสียบ่อ 2 น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และกากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียว ตามลำดับ โดยความชื้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักจะลดลงหลังกระบวนการหมักและจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหลังการปรับความชื้นใหม่ทุก 10 วัน โดยจะเกิดขึ้นตลอดระยะของการหมักโดยหลังวันที่ 40 จะไม่มีการเติมความชื้น และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักความชื้นจะอยู่ที่ 31.96, 32.73, 32.91 และ 33.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ความชื้นที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักซึ่งสอดคล้องกับ Trautmann and Krasny (1997) กล่าวว่า กระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ระดับความชื้น 50-60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากความชื้นสูงกว่านี้หรือสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการหมักเริ่มก่อให้เกิดระบบไร้อากาศขึ้น จากการศึกษาของ Nelson *et al.* (2006) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าวสาลีที่ระดับความชื้นต่างๆ คือ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ระดับความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์เหมาะสมที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับ Stentiford (1996 อ้างโดย สมใจ กาญจนวงศ์ , 2548) กล่าวว่าระดับความชื้นที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร และขยะเทศบาลมีค่าประมาณ 55-65 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ ภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วงประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ มีการปรับความชื้นทุกๆ 10 วัน โดยมีประสิทธิภาพการผลิตเพียง 45 วัน

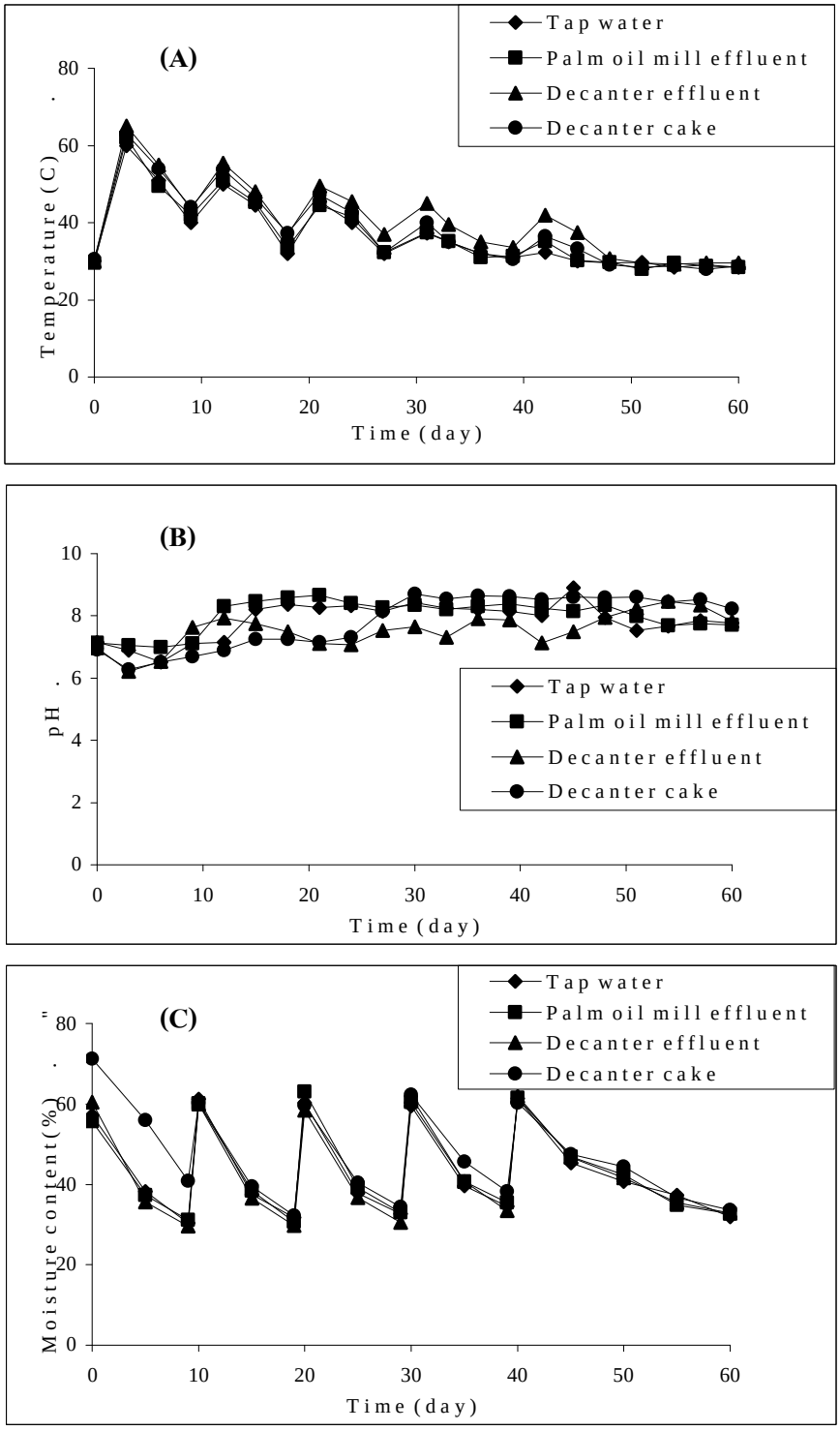


Figure 4. Temperature (A), pH (B) and moisture content (C) during fermentation of compost (50 kg/batch) from palm oil mill wastes

**กิจกรรมของเอนไซม์ไซลาเนส เซลลูเลส และลิกนินเปอร์ออกซิเดส**

จากการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งองค์ประกอบของวัตถุดิบส่วนใหญ่มีเส้นใยเป็นองค์ประกอบหลัก (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ดังนั้น เอนไซม์ไซลาเนส เซลลูเลส และลิกนิเนส จึงเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการย่อยสลาย (Golueke, 1991) ซึ่งจากการทดลอง ระดับกิจกรรมของเอนไซม์ไซลาเนส และเซลลูเลสสูงที่สุดในชุดที่มีการเติมน้ำทิ้งดีแคนเตอร์มีค่าเท่ากับ 14.15 และ 5.77 ยูนิตต่อกรัม ในวันที่ 30 ของกระบวนการหมัก ตามลำดับ โดยกิจกรรมของเอนไซม์ไซลาเนสและเซลลูเลสในชุดที่มีการเติมน้ำทิ้งดีแคนเตอร์เพิ่มสูงขึ้นในช่วง 30 วันแรก (Dhull *et al*., 2005) หลังจากนั้นระดับกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองลดลง (Castaldi *et al*., 2008) เมื่อหมักครบ 60 วัน ระดับกิจกรรมเอนไซม์ไซลาเนสและเซลลูเลส มีค่าเท่ากับ 1.19 และ 1.00 ยูนิตต่อกรัม ชุดการทดลองที่หมักด้วยกากตะกอนดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียวกิจกรรมของเอนไซม์จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมัก มีค่าสูงที่สุดในวันที่ 5 ของการหมักมีค่าเท่ากับ 7.11 และ 3.06 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อหมักครบ 60 วัน ระดับกิจกรรมเอนไซม์ไซลาเนสและเซลลูเลสมีค่าเท่ากับ 0 ชุดที่มีการเติมน้ำเสียมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 20 และ 10 ของการหมักมีค่าเท่ากับ 3.55 และ 7.12 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อหมักครบ 60 วันระดับกิจกรรมเอนไซม์ไซลาเนสและเซลลูเลส มีค่าเท่ากับ 0.27 และ 0.72 ยูนิตต่อกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับชุดที่เติมน้ำประปามีค่าสูงที่สุดในวันที่ 10 ของการหมักมีค่าเท่ากับ 6.56 และ 3.30 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อหมักครบ 60 วันระดับกิจกรรมเอนไซม์ไซลาเนสและเซลลูเลส มีค่าเท่ากับ 0.37 และ 0.60 ยูนิตต่อกรัม ดังนั้นกระบวนการย่อยสลายลิกโนเซลลูโลสที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น (20 วันแรกของการหมัก) (Chaturvedi *et al*., 2010) ดัง Figure 5 นอกจากนี้กิจกรรมของเอนไซม์ลิกนินเปอร์ออกซิเดส (Figure 5) เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 วันแรกของชุดที่หมักด้วยกากตะกอนดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียวเท่ากับ 10.52 ยูนิตต่อกรัม หลังจากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดกระบวนการหมัก โดยกิจกรรมลดลงเหลือ 0 หลังวันที่ 50 ของการหมัก ชุดที่ปรับความชื้นด้วยน้ำประปา และน้ำเสียบ่อบำบัดที่ 2 มีกิจกรรมของเอนไซม์ลิกนินเปอร์ออกซิเดส สูงสุดในวันที่ 20 เท่ากับ 7.24 และ 11.43 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ หลังจากนั้นระดับกิจกรรมลดลงอย่างต่อเนื่อง วันที่ 60 ของการหมักจะเหลือเพียง 0.97 และ 1.30 ยูนิตต่อกรัม ตามลำดับ โดยกิจกรรมของเอนไซม์ลิกนินเปอร์ออกซิเดสสูงที่สุดในชุดที่ปรับความชื้นด้วยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ เท่ากับ 13.91 ยูนิตต่อกรัม ในวันที่ 30 ของการหมัก หลังจากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะเหลือเพียง 5.55 ยูนิตต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับ Castaldi *et al*. (2008) ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์ CMCase ไซลาเนส และลิกนินเปอร์ออกซิเดส ลดลงอย่างรวดเร็วหลังวันที่ 10 ของการหมัก ยกเว้นชุดที่ปรับความชื้นด้วยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ บ่งชี้ให้เห็นว่า วัตถุอินทรีย์ที่อยู่

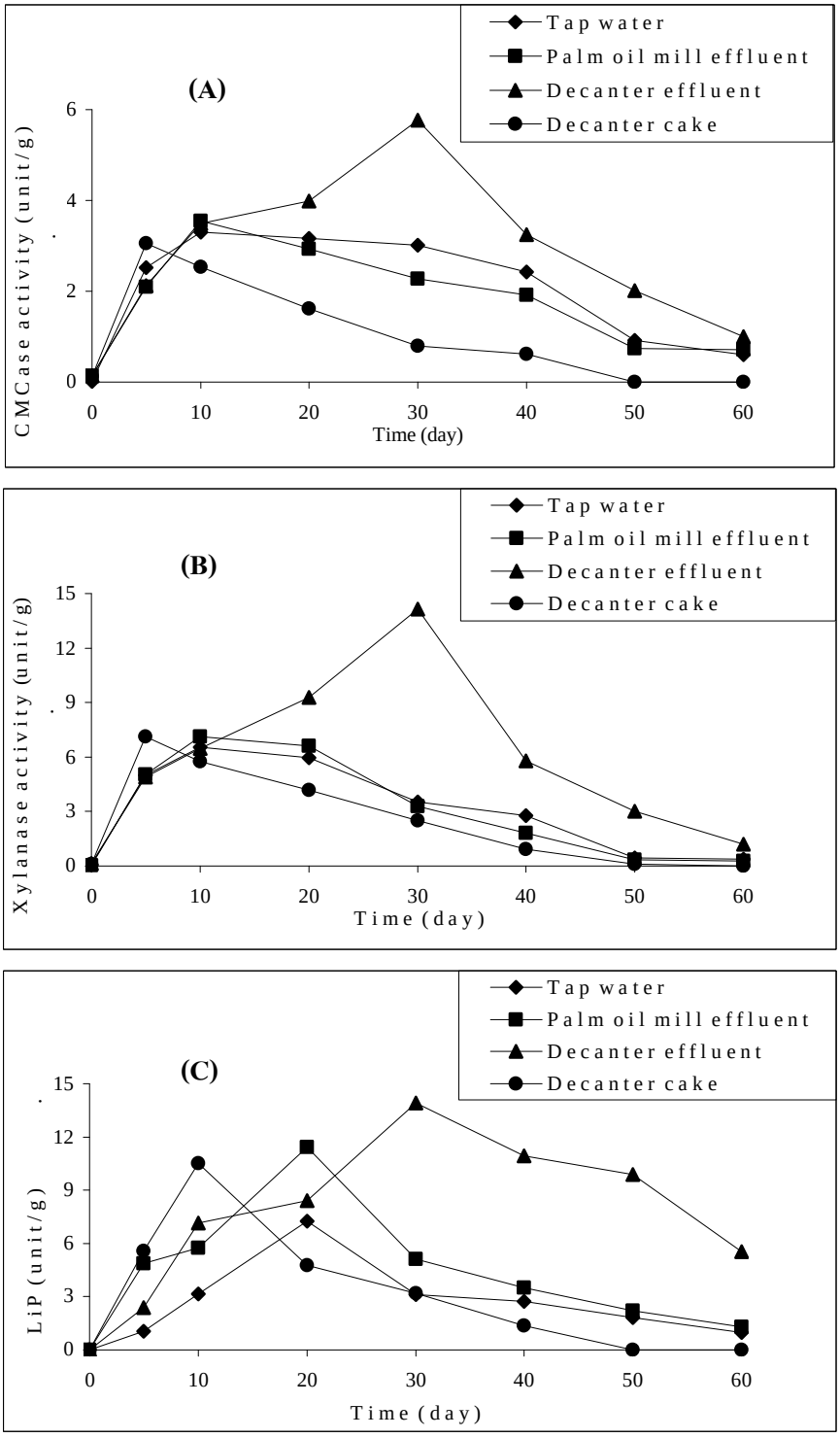


Figure 5. CMCase (A), xylanase (B) and lignin peroxidase (C) during fermentation of compost (50 kg/batch) from palm oil mill wastes

ภายในกองปุ๋ยมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้จุลินทรีย์สร้างเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับ Gaind *et al*. (2005) และยังสอดคล้องกับ Zhang *et al*. (2010) ติดตามการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลกลูโคสและไซโลส หลังการใช้เอนไซม์เซลลูเลสและไซลาเนสย่อยสลายลิกโนเซลลูโลสที่ได้จากซังข้าวโพด พบว่า กลูโคสและไซโลสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นของการหมัก หลังจากนั้นค่าจะคงที่ตลอดระยะเวลา เนื่องจากปริมาณของลิกโนเซลลูโลสลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับ Diaz *et al*. (2002) ที่ระบุว่าวัตถุอินทรีย์ภายในกองปุ๋ยลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการหมัก ซึ่งมีผลต่อการลดลงของกิจกรรมจุลินทรีย์ และกิจกรรมของเอนไซม์

**ไนโตรเจน (total kjeldahl nitrogen; TKN) วัตถุอินทรีย์ (organic matter; OM) และ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)**

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ในกระบวนการหมักยังจำเป็นต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบของโปรตีน กรดอะมิโน เอนไซม์ และดีเอ็นเอ (Trautmann and Krasny, 1997) โดยจะปรับแหล่งไนโตรเจน (ยูเรีย) เพื่อให้กระบวนการหมักเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมักปรับให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (30-40:1) ภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์มีการสร้างเซลล์และเอนไซม์ออกมาย่อยวัตถุอินทรีย์จากกระบวนการหมักปุ๋ยหมักจากของแข็งจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ในช่วงเริ่มต้นปริมาณไนโตรเจนของการหมักในชุดควบคุม ชุดที่เติมน้ำทิ้งบ่อ 2 ชุดที่เติมน้ำดีแคนเตอร์ และชุดที่ใช้กากตะกนดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียว มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.20, 1.21, 1.20 และ 1.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อกระบวนการหมักผ่านไปปริมาณของไนโตรเจนจะเพิ่มมากขึ้น โดยวันที่ 20 ของการหมักปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเป็น 1.25, 1.33, 1.23 และ 1.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อหมักครบ 60 วัน ปริมาณของไนโตรเจนแต่ละชุดการทดลองจะเท่ากับ 1.47, 1.56, 1.60 และ 1.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดัง Figure 6 ซึ่งเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลองตลอดระยะของการหมัก (Meunchang *et al*., 2004) ในขณะเดียวกันปริมาณของคาร์บอนในช่วงเริ่มต้นของการหมักเท่ากับ 45.20, 44.54, 44.14 และ 32.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อหมักครบ 60 วัน ปริมาณของคาร์บอนแต่ละชุดการทดลองจะเท่ากับ 29.35, 28.52, 27.54 และ 20.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดลงถึง 35.06, 35.97, 37.61 และ 37.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังFigure 6 จึงส่งผลให้ในกระบวนการหมักมีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเรื่อยๆ โดยเริ่มต้นการหมักแต่ละชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 37.67:1, 36.98:1, 36.67:1 และ 27.15:1 ตามลำดับ และเมื่อหมักครบ 60 วัน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 19.19:1, 18.29:1, 17.23:1 และ 11.76 :1 ตามลำดับ

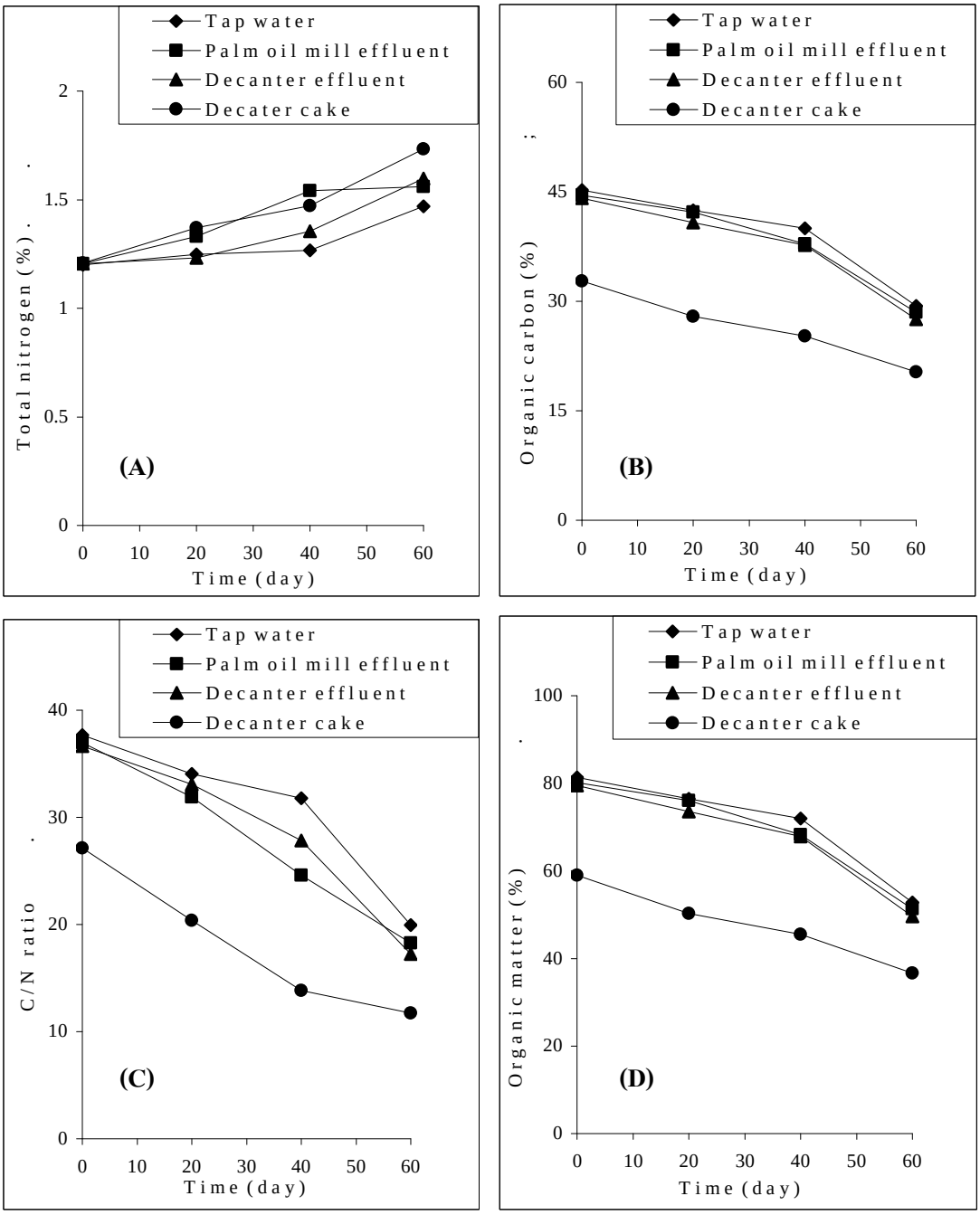


Figure 6. Total nitrogen (A), organic carbon (B), C/N ratio (C) and organic matter (D) during fermentation of compost (50 kg/batch) from palm oil mill wastes

ดัง Figure 6 สามารถลดลงได้ 46.80, 50.55, 53.00 และ 56.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับนอกจากนี้ ปริมาณอินทรียวัตถุภายในกองปุ๋ยหมักจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆเช่นกันตามระยะเวลาของการหมัก โดยปริมาณอินทรียวัตถุเริ่มต้นของการหมักเท่ากับ 81.37, 80.17, 79.44 และ 59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เมื่อหมักครบ 60 วันปริมาณของอินทรียวัตถุแต่ละชุดการทดลองจะเท่ากับ 52.84, 51.33, 49.58 และ 36.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งลดลงจากเริ่มต้นการหมักเท่ากับ 35.06, 35.97, 37.61 และ 37.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดัง Figure 6 ซึ่งจากการทดลองข้างต้นสัมพันธ์กับ Diaz *et al*. (2002) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักและมีค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณเริ่มต้น 30:1 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะมีค่าอัตราส่วนดังกล่าวประมาณ 10-15:1 มีค่าใกล้เคียงกับ Hamoda *et al*. (1998) ซึ่งศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษขยะชุมชนเพื่อศึกษาอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมซึ่งแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดแต่ละชุดมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15:1, 20:1 และ 30:1 ตามลำดับ ทำการหมัก 15 วัน ในขวดชมพู่ที่มีการควบคุมการให้อากาศ พบว่าอัตราส่วนที่ 30:1, 20:1 และ 15:1 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายตามลำดับโดยสามารถลดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลงได้ 11, 8.7 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Yaser *et al*. (2007) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยผสมตะกอนของแข็งในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 25:1 อินทรียวัตถุลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการหมัก เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 19.5:1 อินทรียวัตถุสามารถลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์

**ฟอสฟอรัส ($P_2O_5$) และ โปแตสเซียม ($K_2O$)**

ฟอสฟอรัส ($P_2O_5$) และโปแตสเซียม ($K_2O$) เป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญของพืชเช่นเดียวกับไนโตรเจน โดยในกระบวนการหมักเชื้อจุลินทรีย์จะเป็นตัวการสำคัญในการเปลี่ยนฟอสฟอรัสที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ ซึ่งจากการทดลองเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณของฟอสฟอรัสของชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำประปา ชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำเสีย ชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และชุดที่หมักโดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียว มีค่าเท่ากับ 1.36, 1.44, 1.94 และ 2.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในTable 6 ส่วนโปแตสเซียมซึ่งจะมีอยู่สูงในองค์ประกอบของวัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จึงเหมาะสมสำหรับการนำวัตถุดิบเหล่านั้นมาใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อเป็นแหล่งโปแตสเซียม ซึ่งหลังจากหมักครบ 60 วัน พบว่าปริมาณของโปแตสเซียมของชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำประปา ชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำเสีย ชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และชุดที่หมักโดยใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียวเท่ากับ

1.39, 1.57, 1.56 และ 1.94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในTable 6 ซึ่งจากการศึกษาการผลิตปุ๋ยของ ภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) รายงานว่า ระดับของ N-P-K วันที่ 60 ของการหมักมีค่าเท่ากับ 2.26, 0.86 และ 1.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้จากศึกษาของ วีรยุทธิ์ เหล็นเรือง และคณะ (2550) รายงานว่า การผลิตปุ๋ยหมักจากเส้นใยและกากตะกอนดีแคนเตอร์ ปรับพีเอชโดยใช้ขี้เถ้า หมักด้วยหัวเชื้อ พ.ด.1 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก มีระดับ N-P-K เท่ากับ 1.81, 0.31 และ 0.85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Table 6. Effects of various raw materials on the compositions of composts from palm oil mill wastes at 60 days incubation

| Treatment | TKN (%) | $P_2O_5$ (%) | $K_2O$ (%) | C/N ratio | TOC (%) | OM (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tap water | 1.47 | 1.36 | 1.39 | 19.97 | 29.35 | 52.84 |
| POME | 1.56 | 1.44 | 1.57 | 18.29 | 28.52 | 51.33 |
| Decanter effluent | 1.6 | 1.94 | 1.56 | 17.23 | 27.54 | 49.58 |
| Decanter cake | 1.73 | 2.19 | 1.94 | 11.76 | 20.34 | 36.62 |

Table 7 แสดงคุณสมบัติปุ๋ยหมักที่ผลิตได้แต่ละชุดการทดลอง เมื่อเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก โดยปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามปุ๋ยหมักตามที่กรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดไว้ ปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จึงมีความเหมาะสำหรับนำไปปลูกพืช โดย N-P-K ของปุ๋ยหมักชุดที่ปรับความชื้นด้วยน้ำประปา ปุ๋ยหมักชุดที่ปรับความชื้นด้วยน้ำเสียบ่อ 2 ปุ๋ยหมักชุดที่ปรับความชื้นด้วยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และปุ๋ยหมักที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียว เท่ากับ 1.47-1.36-1.39, 1.56-1.44-1.57, 1.60-1.64-1.56 และ 1.73-2.19-1.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน อินทรียวัตถุ และพีเอช ทุกชุดการทดลองมีระดับที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักตามที่กรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดไว้ โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ของปุ๋ยหมักชุดที่ปรับความชื้นด้วยน้ำประปา ปุ๋ยหมักชุดที่ปรับความชื้นด้วยน้ำเสียบ่อ 2 ปุ๋ยหมักชุดที่ปรับความชื้นด้วยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และปุ๋ยหมักที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์เพียงอย่างเดียวเท่ากับ 19.97:1, 18.29:1, 17.23:1 และ 11.76:1 ตามลำดับ อินทรียวัตถุมีค่าเท่ากับ 52.84, 51.33, 49.58 และ 36.62 ตามลำดับ และพีเอชมีค่าเท่ากับ 7.76, 7.71, 7.83 และ 8.23 ตามลำดับ

Table 7. Quality of the composts produced from this study compared to the compost standard

| Compost standard | Treatment | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Tap water | POME | Decanter effluent | Decanter cake |
| C/N ratio (< 20:1) | 19.97:1 | 18.29:1 | 17.23:1 | 11.76:1 |
| TKN (>0.5%) | 1.47 | 1.56 | 1.60 | 1.73 |
| $P_2O_5$ (>0.5 %) | 1.36 | 1.44 | 1.64 | 2.19 |
| $K_2O$ (>1.0 %) | 1.39 | 1.57 | 1.56 | 1.59 |
| Moisture content (<30%) | 31.96 | 32.73 | 32.91 | 33.55 |
| Organic matter (>25%) | 52.84 | 51.33 | 49.58 | 36.62 |
| pH (6.0-8.0) | 7.76 | 7.71 | 7.83 | 8.23 |

**3. ผลของการทดสอบคุณภาพปุ๋ยหมักโดยการปลูกพืช**

จากการทดลองในขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากเส้นใยผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นโดยใช้น้ำประปา น้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 2 น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และกากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียว ขนาดกองละ 50 กิโลกรัม ภายใต้การควบคุมสภาวะต่างให้เหมาะสม ใช้ระยะเวลา 60 วัน ซึ่งการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มอาจจะมีผลกระทบต่อการปลูกพืชได้ เนื่องจากมีการเติมน้ำเสียเป็นแหล่งความชื้น เพื่อให้ปุ๋ยหมักมีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชจำเป็นต้องมีการทดสอบกับพืชโดยตรง ซึ่งการศึกษาในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาถึงการตอบสนองของต้นผักบุ้งต่อปุ๋ยหมักจากขั้นตอนที่ 2 วัดโดยใส่ปุ๋ยหมัก 2 ครั้ง คือ ในช่วงการเตรียมดิน และ วันที่ 15 ของการปลูก 0.33 กิโลกรัมต่อแปลง (คำนวณจากความต้องการปริมาณไนโตรเจนต่อไร่) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม เอ และบี ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง เป็นระยะเวลา 28 วัน

**คลอโรฟิลล์ (chlorophyll)**

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียว ซึ่งเป็นตัวการในการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ชนิดเอ บี และซี แต่ในผักบุ้งมีคลอโรฟิลส์ชนิดเอ และบี เท่านั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดกลืนแสง โดยคลอโรฟิลล์ชนิดเอดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 400-450 นาโนเมตร ในขณะที่คลอโรฟิลล์ชนิดบีดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร แต่อย่างไรก็ตาม คลอโรฟิลล์มีคุณสมบัติในการสังเคราะห์แสงเหมือนกัน (ลัดดา เอกสมทราเมษฐ์,

2543 อ้างโดย ภาณุพงศ์ บางรักษ์, 2548) คลอโรฟิลล์ของผักบุ้งที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ยหมักชีวภาพจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยมีชุดการทดลองดังนี้ ชุดที่ไม่มีการให้ปุ๋ย (control) ให้ปุ๋ยชุดควบคุม (tap water) ให้ปุ๋ยชุดปรับความชื้นด้วยน้ำเสีย (palm oil mill effluent) น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ (decanter effluent) และให้ปุ๋ยชุดที่หมักด้วยกากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียว (decanter cake) พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม เอ และบี เพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลอง เมื่อพิจารณาในช่วงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือวันที่ 28 ของการปลูก พบว่า คลอโรฟิลล์รวม ชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และ ชุดที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียว ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 13.96 และ 12.49 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับชุดที่ไม่ให้ปุ๋ย ชุดที่เติมปุ๋ยชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำประปา และชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำเสียโดยมีค่าเท่ากับ 5.98, 6.56 และ 8.48 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดัง Figure 7 โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอในช่วงระยะเก็บเกี่ยวหรือวันที่ 28 ของการปลูก พบว่า ชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และ ชุดที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียว ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 5.34 และ 4.83 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับชุดที่เติมปุ๋ยชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำประปา และชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำเสียโดยมีค่าเท่ากับ 2.71 และ 3.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยชุดที่ไม่ได้รับปุ๋ยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 2.51 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดัง Figure 7 ส่วนคลอโรฟิลล์บี มีปริมาณใกล้เคียงกับคลอโรฟิลล์เอ คือ ในวันที่ 28 ของการปลูก พบว่า ชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และ ชุดที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียว ไม่มีความแตกต่างทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 8.62 และ 5.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยชุดที่ไม่เติมปุ๋ย ชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำประปา และชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำเสีย มีค่าเท่ากับ 3.47, 3.85 และ 5.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดัง Figure 7 ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์รวม เอ และบี ในชุดที่มีการเติมปุ๋ยหมักมีปริมาณที่สูง เมื่อเทียบกับชุดที่ให้ปุ๋ยเคมีจากการทดสอบของ ภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม เอ และบี เท่ากับ 13.31, 8.32 และ 4.99 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ชุดที่ให้ปุ๋ยที่มีการผสมน้ำหมัก (ALA) 6 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม เอ และบี เท่ากับ 7.43, 4.26 และ 3.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

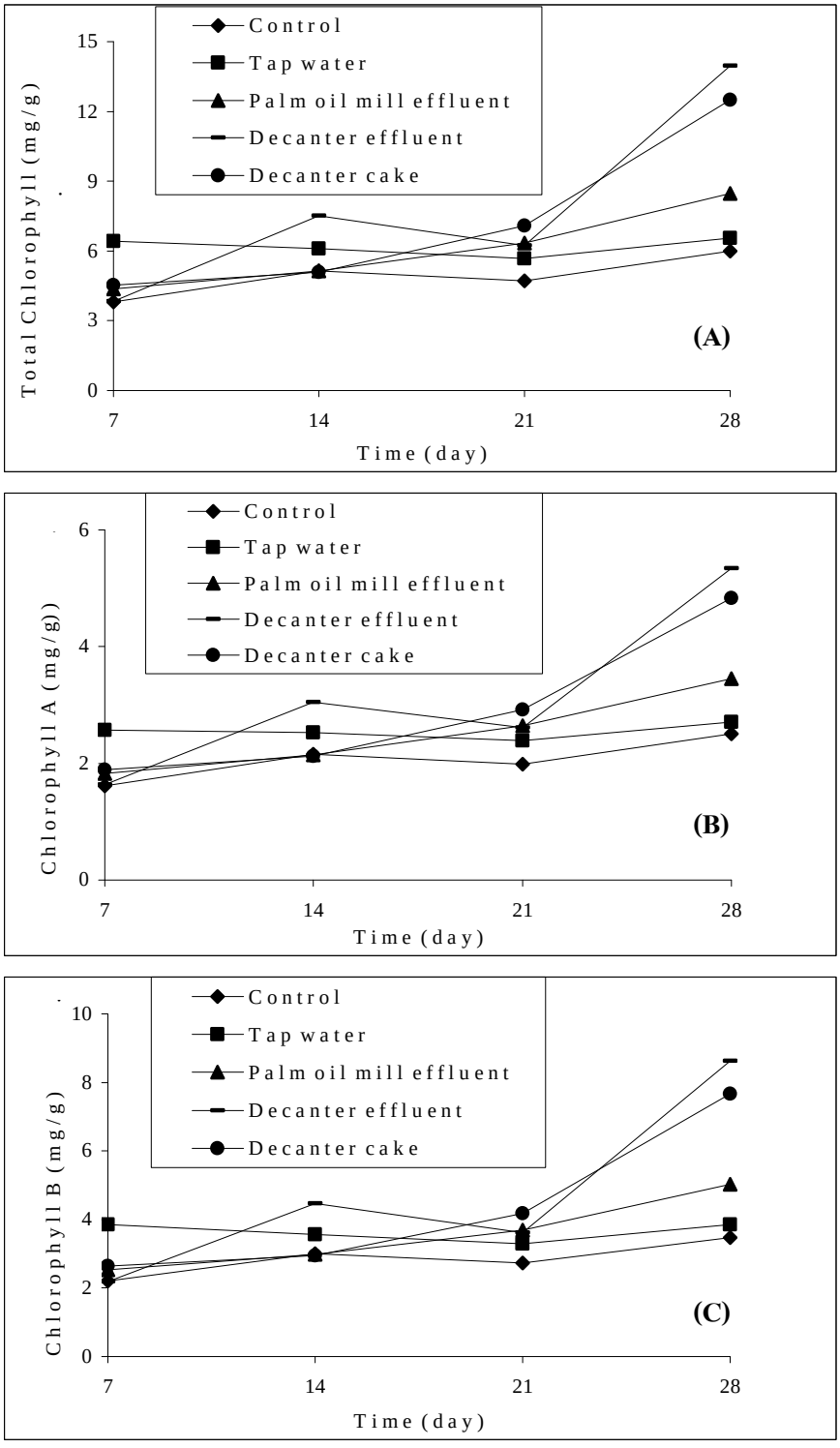


Figure 7. Total chlorophyll (A) chlorophyll A (B) and chlorophyll B (C) of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) after using compost from palm oil mill wastes

**ความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง**

การเจริญเติบโตของพืชเป็นการแบ่งเซลล์ ขยายเซลล์ และเพิ่มขนาดของเซลล์ หรืออีกนัยหนึ่ง คือการเพิ่มน้ำหนักแห้ง การวัดการเจริญเติบโตของพืชสวน ผัก และผลไม้ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวัดความสูง การวัดพื้นที่ใบ การวัดมวลแห้ง เป็นต้น การวัดมวลหรือน้ำหนักสดของพืชเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด แต่ผลที่ได้อาจไม่ใช่การเพิ่มของชีวมวลที่แท้จริงทั้งหมดเพราะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกิดจากเซลล์เก็บสะสมน้ำไว้ในปริมาณมากจนเซลล์เพิ่มขนาด ในการวัดการเจริญเติบโตจึงใช้ควบคู่กับน้ำหนักแห้งของพืช อย่างไรก็ตาม การวัดโดยน้ำหนักสดยังคงมีความจำเป็นต่อการวัดการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากพืชที่นำไปจำหน่ายอยู่ในรูปของน้ำหนักสด นอกจากนี้ความสูงก็นิยมนำมาใช้ในการวัดเช่นกัน (เฉลิมพล แซมเพชร, 2535)

ความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นผักบุ้งหลังจากการใช้ปุ๋ยหมักชีวภาพจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแต่ละชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ไม่มีการให้ปุ๋ย (control) ให้ปุ๋ยชุดควบคุม (tap water) ให้ปุ๋ยชุดปรับความชื้นด้วยน้ำเสีย (palm oil mill effluent) น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ (decanter effluent) และให้ปุ๋ยชุดที่หมักด้วยกากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียว (decanter cake) จากการทดลอง พบว่า ความสูงของต้นผักบุ้งเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆทุกชุดการทดลองจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือวันที่ 28 ของการปลูก โดยชุดการทดลองที่ให้ปุ๋ยชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำเสีย ชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และชุดที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียว มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 27.50, 28.60 และ 28.75 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 เมื่อเทียบกับชุดที่ให้ปุ๋ยชุดที่ปรับความชื้นกับน้ำประปาโดยมีความสูงเท่ากับ 27.15 เซนติเมตรต่อต้น ในขณะที่ชุดที่ไม่ให้ปุ๋ยมีความสูงต่ำสุดเท่ากับ 17.23 เซนติเมตรต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ดัง Figure 8 ส่วนน้ำหนักสดในวันที่ 28 กรัมต่อต้น ของการปลูกมีค่าคล้ายคลึงกับความสูงคือ ชุดการทดลองที่ให้ปุ๋ยชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำเสีย ชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และชุดที่ใช้กากตะกอนดีแคนเตอร์อย่างเดียว มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 10.56, 11.19 และ 10.70 กรัมต่อต้น ตามลำดับ แต่มีค่าน้ำหนักสดสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 เมื่อเทียบกับชุดที่ให้ปุ๋ยชุดที่ปรับความชื้นกับน้ำประปามีค่าเท่ากับ 9.54 กรัมต่อต้น โดยชุดที่ไม่ให้ปุ๋ยมีน้ำหนักสดต่ำสุด เท่ากับ 5.63 กรัมต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ดัง Figure 8 ส่วนปริมาณน้ำหนักแห้งที่เกิดขึ้นมีผลเหมือนกับน้ำหนักสด โดยชุดที่ไม่ให้ปุ๋ย ชุดที่ให้ปุ๋ยชุดปรับความชื้นโดยน้ำประปา ชุดที่ให้ปุ๋ยชุดปรับความชื้นโดยน้ำเสีย ชุดที่ให้ปุ๋ยชุดปรับความชื้นโดยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์ และชุดที่ให้ปุ๋ยชุดที่หมักด้วยกากตะกอนดีแคนเตอร์

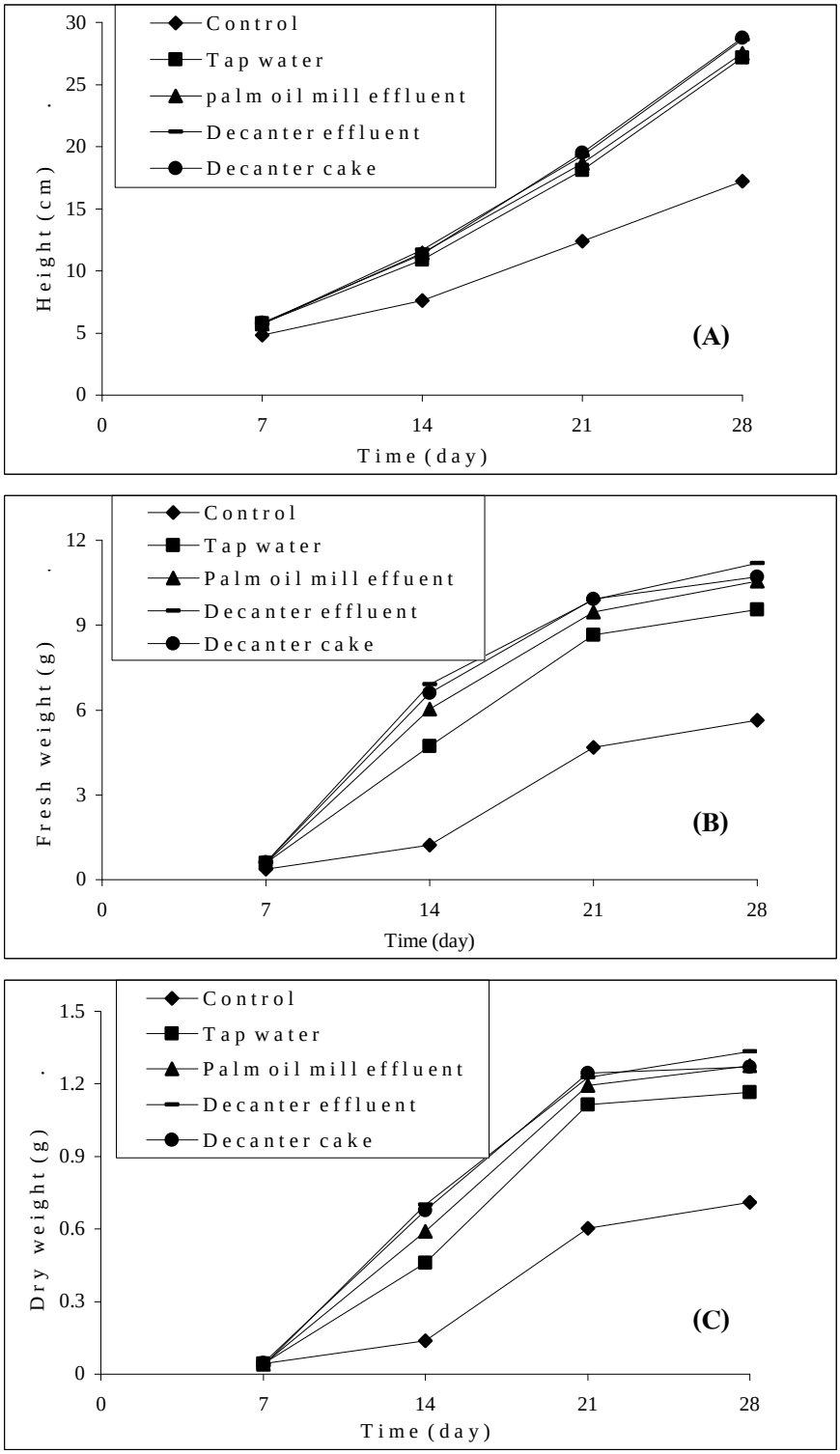


Figure 8. Height (A) fresh weight (B) and dry weight (C) of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) after using compost from palm oil mill wastes

อย่าง เดียวมีค่าเท่ากับ 0.70, 1.16, 1.27, 1.33 และ 1.26 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักแห้งผักบุ้งที่ปลูกโดยการใช้แกลบ 6 เปอร์เซ็นต์เท่ากับ 1.93 กรัมต่อต้น (ประวิทย์ และคณะ, 2548 อ้างโดย อรพิน โปกุล, 2551) ดัง Figure 8

ลักษณะของผักบุ้งวันที่ 28 ของการปลูกดัง Figure 9 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผักบุ้งที่ให้ปุ๋ยหมักกับผักบุ้งที่ไม่ให้ปุ๋ยหมัก ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่า ปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองมีประสิทธิภาพสำหรับนำไปใช้ ดังนั้นการใช้วัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหมัก ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของปุ๋ย สอดคล้องกับ ภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) รายงานว่าปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผลิตได้ เมื่อนำไปปลูกผักบุ้งมีค่าสูงกว่าชุดที่ไม่ได้รับปุ๋ย โดยชุดที่ให้ปุ๋ยหมักผสมน้ำหมัก (ALA) 6 ไมโครโมลาร์ มีความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 36 เซนติเมตรต่อต้น 4.1 และ 3.77 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดที่ไม่มีการให้ปุ๋ยเท่ากับ 24.5 เซนติเมตรต่อต้น 1.68 กรัมต่อต้น และ 1.43 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนชุดที่มีการใช้ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 50 เซนติเมตรต่อต้น 12.96 และ 10.85 กรัมต่อต้น ตามลำดับ

Figure 9. Characteristics of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) stems, leaves and roots on day 28 of cultivation after using different compost

A : Control (No composting)

B : Control composting

C : POME composting

D : Decanter effluent composting

E : Decanter cake composting

**4. ผลของการเพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้กับปุ๋ยหมัก**

**4.1 ผลของการควบคุมโรคพืช**

การเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติพิเศษเป็นตัวช่วยเพิ่มคุณสมบัติของปุ๋ยหมักให้ดีขึ้นคือ สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุโรคพืชและเพิ่มปริมาณแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญของพืชให้สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้พืชที่ได้รับปุ๋ยมีคุณสมบัติในการต้านทานโรคพืช และเพิ่มผลผลิตได้สูงขึ้น จากการทดลองพบว่า ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ทดสอบโดย agar-well diffusion assay โดยดูวงใสการยับยั้งเชื้อ *Pythium alphanidermatum* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรครากเน่าโคนเน่าของคะน้า (อนงค์ จันทร์ศรีกุล, 2546) โดยทดสอบ 4 ชุดการทดลองดังนี้ ชุดควบคุม (DMSO), สูตรปุ๋ยชุด Control, สูตรปุ๋ยชุด พ.ด.3 และสูตรปุ๋ยชุด *Trichoderma harzianum* พบว่าอัตราการยับยั้งสูงที่สุดในสูตรปุ๋ยชุด พ.ด.3 (1.7 มิลลิเมตร) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ กับสูตรปุ๋ยชุดที่เติมเชื้อ *Trichoderma harzianum* แต่ทั้ง 2 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (DMSO) และ สูตรปุ๋ยชุด Control ซึ่งสอดคล้องกับ วารุณี มณีนาค (2546) กล่าวว่า *Trichoderma* spp. สามารถเจริญคลุมทับเชื้อรา *Pythium aphanidermatum* บนอาหาร PDA อย่างรวดเร็ว

อัตราการงอกและเจริญของเมล็ดคะน้าหลังได้รับปุ๋ยสูตรต่างๆ ทั้งเติมสปอร์ของ *Pythium alphanidermatum* และไม่เติมสปอร์ ซึ่งผลแสดงใน Table 8 พบว่า อัตราการงอกสูงที่สุดในสูตรปุ๋ยชุด *Trichoderma harzianum* มีอัตราการงอก 83.75 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการงอกต่ำสุดในชุด Control ที่มีการเติมเชื้อเท่ากับ 43 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชุด Control ที่ไม่มีการเติมเชื้อมีอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ 76.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเท่ากับสูตรปุ๋ยชุด *Trichoderma harzianum* ที่มีการเติมเชื้อ โดยในชุดที่มีการเติมเชื้อจะมีอัตราการงอกที่ต่ำกว่าชุดไม่เติมเชื้ออย่างเห็นได้ชัด ซึ่งส่งผลมาจากการกระทำของเชื้อจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตาม ชุดที่มีการเติมเชื้อและเติมสูตรปุ๋ยแต่ละสูตรลงไปด้วย สามารถให้ผลอัตราการงอกใกล้เคียงกับชุด Control ที่ไม่มีการเติมเชื้อลงไป ซึ่งสนับสนุนผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองในห้องปฏิบัติการได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ น้ำหนักต้นและความสูงเฉลี่ยที่เกิดขึ้นแต่ละชุดการทดลอง ดังแสดงใน Table 8 ให้ผลดังนี้ สูตรปุ๋ยชุด พ.ด.3 ที่ไม่เติมเชื้อมีน้ำหนักสูงที่สุดเท่ากับ 0.067 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรปุ๋ยชุด *Trichoderma harzianum* ที่ไม่เติมเชื้อเท่ากับ 0.065 กรัม แต่สูตรปุ๋ยชุด *Trichoderma harzianum* ที่ไม่เติมเชื้อมีความสูงที่สุดเท่ากับ 5.21 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรปุ๋ยชุด พ.ด.3 ที่ไม่เติมเชื้อเท่ากับ 5.10 เซนติเมตร โดยชุดที่น้ำหนักและความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุดคือชุด Control ที่มีการเติมเชื้อเท่ากับ 0.028 กรัม และ 1.86 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ชุด Control ที่ไม่มีการเติมเชื้อ มีน้ำหนักต้นและความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 0.048 กรัม และ 3.34 เซนติเมตร ตามลำดับ (Figure 10) ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สูตรปุ๋ยชุด

*Trichoderma harzianum* และ สูตรปุ๋ยชุด พ.ด.3 มีวงใสที่ไม่แตกต่างทางสถิติแต่มีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรปุ๋ยชุด Control และชุด Control

Table 8. Effect of LDD.3 and *Trichoderma harzianum* in the composts on inhibition of *Pythium alphanidermatum* causes of kale seedling rot

| Treatment | | Agar-well diffusion assay (mm) | | Growth rate (7days) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 (day) | 2 (day) | Germination (%) | Weight (g/plant) | Height (cm/plant) |
| Control (No compost added) | (A) | 0.00 $^{c}$ | 0.00 $^{c}$ | 43.00 $^{c}$ | 0.028 $^{g}$ | 1.86 $^{d}$ |
| Controlled compost | (A) | 1.27 $^{b}$ | 1.48 $^{b}$ | 60.00 $^{b}$ | 0.041 $^{f}$ | 3.83 $^{c}$ |
| LDD.3 compost | (A) | 1.48 $^{a}$ | 1.70 $^{a}$ | 71.25 $^{a\,b}$ | 0.056 $^{c\,d}$ | 4.95 $^{a\,b}$ |
| *T. harzianum* compost | (A) | 1.40 $^{a}$ | 1.62 $^{a}$ | 76.25 $^{a\,b}$ | 0.053 $^{d\,e}$ | 4.51 $^{b}$ |
| Control (No compost added) | (N) | - | - | 76.25 $^{a}$ | 0.048 $^{e\,f}$ | 3.34 $^{c}$ |
| Controlled compost | (N) | - | - | 72.50 $^{a}$ | 0.059 $^{b\,c}$ | 4.67 $^{a\,b}$ |
| LDD.3 compost | (N) | - | - | 77.50 $^{a}$ | 0.067 $^{a}$ | 5.10 $^{a\,b}$ |
| *T. harzianum* compost | (N) | - | - | 83.75 $^{a}$ | 0.065 $^{a\,b}$ | 5.21 $^{a}$ |

A = Added *Pythium alphanidermatum* N = No added *Pythium alphanidermatum*

ผลการทดลองสอดคล้องกับ สุภัตรา อุปวรรณ (2545) ทดสอบการใช้มวลชีวภาพจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้เชื้อ *Trichoderma harzianum* เพื่อใช้ทดสอบโรคเน่าคอดินของต้นอ่อนคะน้า พบว่ามีความสามารถในการยับยั้งการเกิดโรคเน่าคอดินของต้นอ่อนคะน้าดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้รับมวลชีวภาพที่ไม่มีเชื้อ *Trichoderma harzianum* และเท่าเทียมกับการใช้สารเคมีบางอย่าง ปัจจุบันกรมส่งเสริมการเกษตร (2540) ส่งเสริมการใช้เชื้อรา *Trichoderma* sp. มาใช้ในแปลงเกษตรกร โดยใช้เชื้อมาเลี้ยงบนข้าวฟ่างมาผสมรำละเอียด

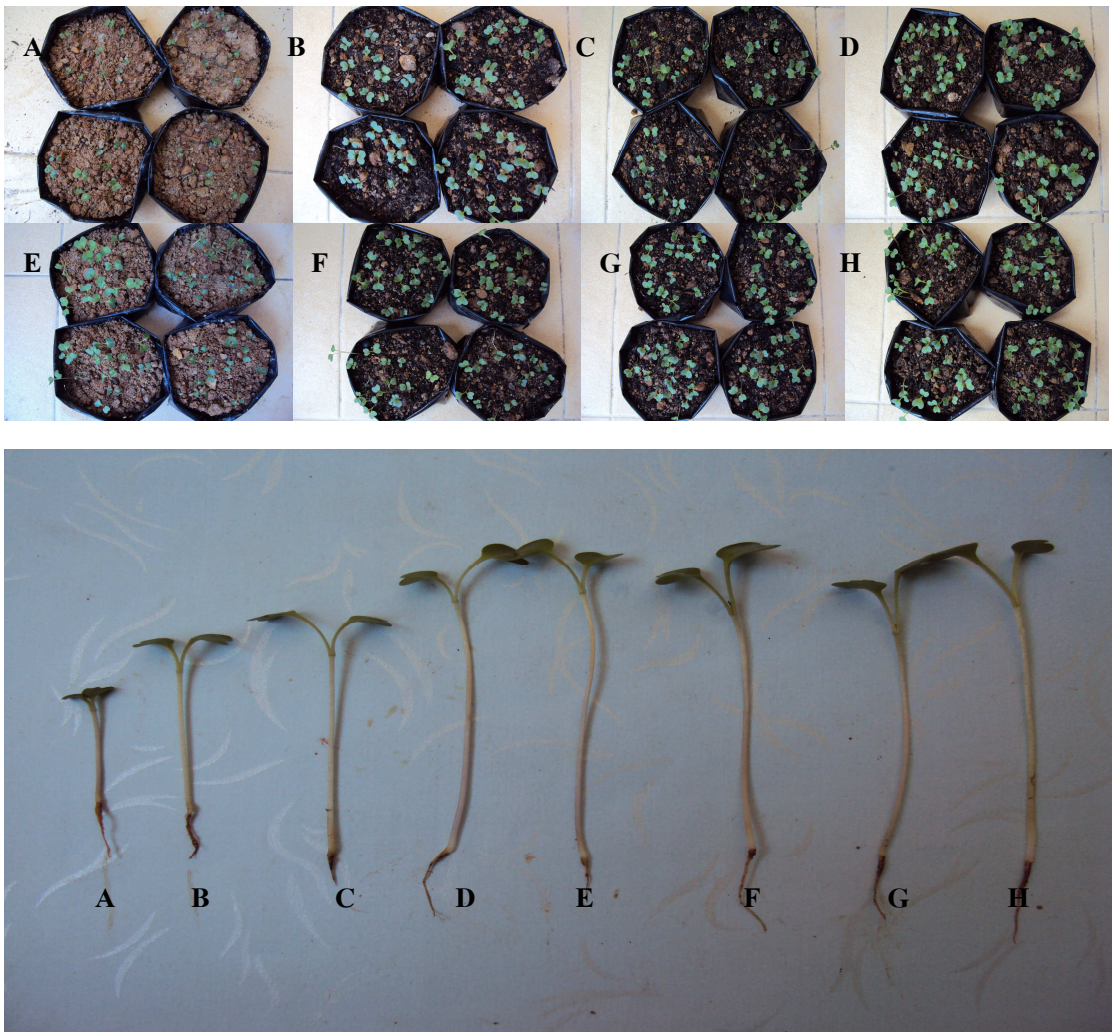


Figure 10. Characteristic of young plant (top and side) on the day 7 of cultivation after using compost for each treatment as follows

A : Control (No compost added) inoculated with *Pythium alphanidermatum*

B : Controlled (No compost added) without *Pythium alphanidermatum*

\ C : Controlled compost inoculated with *Pythium alphanidermatum*

D : Controlled compost without *Pythium alphanidermatum*

E : LDD.3 compost inoculated with *Pythium alphanidermatum*

F : LDD.3 compost without *Pythium alphanidermatum*

G : *T. harzianum* compost inoculated with *Pythium alphanidermatum*

H : *T. harzianum* compost without *Pythium alphanidermatum*

10 กิโลกรัม และปุ๋ยอินทรีย์ 40 กิโลกรัม นำไปโรยก้นหลุมก่อนปลูก ซึ่งสอดคล้องกับ จินตนา อิงคนินันท์ (2543) รายงานว่าเมื่อนำเมล็ดคะน้าคลุกด้วยผงเชื้อราของเชื้อ *Tricoderma* spp. ก่อนปลูกในดินอบฆ่าเชื้อที่มีเชื้อ *Pythium aphanidermatum* เจริญอยู่ ปรากฏว่าระดับการเกิดโรคกับต้นกล้าก่อนโผล่พ้นดิน หรือโรคเน่าระดับดินหลังงอกต่ำกว่าการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับ จิระเดช แจ่มสว่าง (2531) ได้รายงานว่าการใช้เชื้อรา *Trichoderma harzianum*, *T.viride*, *Gliocladium virens* และเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* และ *Bacillus subtilis* ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. aphanidermatum* บนอาหารแข็งในห้องทดลอง และได้ทดลองใช้ *Trichoderma* spp. และ *Gliocladium* spp. มาควบคุมโรคเน่าระดับดินของมะเขือเทศในสภาพเรือนทดลอง พบว่า สามารถควบคุมโรคดังกล่าวได้ผลดี ส่วนอัตราการงอกสูตรปุ๋ยชุด *Trichoderma harzianum* และสูตรปุ๋ยชุด พ.ด.3 มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับกลุ่มชุดที่ไม่เติมสปอร์ของ *Pythium alphanidermatum* แต่จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักต้นอ่อน ส่วนน้ำหนักความสูงพบว่า สูตรปุ๋ยชุด พ.ด.3 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มชุดที่ไม่เติมสปอร์ของ *Pythium alphanidermatum*

**4.2 ผลของการเพิ่มธาตุอาหารแก่พืช**

จาก Table 9 แสดงผลของสูตรปุ๋ยที่เพิ่มคุณสมบัติพิเศษโดยหมักต่อโดยเติมรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุ TKN, $P_2O_5$ และ $K_2O$ ซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่า การเติมรำข้าวลงไป 1 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมในวันเริ่มต้นของการหมัก เนื่องจากรำข้าวมีแร่ธาตุอยู่สูง โดยชุด Control และชุดที่หมักต่อด้วยหัวเชื้อ พ.ด.12 มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแร่ธาตุทั้ง 3 ชนิดที่สูงขึ้นเมื่อหมักครบ 7 วัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุด Control กับชุดที่หมักต่อด้วยหัวเชื้อ พ.ด.12 พบว่า ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของชุดที่หมักต่อด้วยหัวเชื้อ พ.ด.12 สูงกว่าชุดควบคุมเพียงเล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 1.95 และ 2.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนโปแตสเซียมที่เกิดขึ้นในวันที่ 7 พบว่าชุด Control มีการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าชุดที่หมักต่อด้วยหัวเชื้อ พ.ด.12 เพียงเล็กน้อย แต่เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้น พบว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ของชุดที่หมักด้วย พ.ด.12 มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 11.42, 40.36 และ 18.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณแร่ธาตุที่เพิ่มขึ้นจากวันแรกส่วนหนึ่งเนื่องจากการย่อยสลายของรำข้าว โดยจุลินทรีย์ที่ใส่ลงในกองปุ๋ยจะช่วยตรึงไนโตรเจนหลังจากใช้กับพืชหลังการปลูก (ประยูร เพียตะเณร และคณะ, 2542) นอกจากนี้จากการศึกษาผลของเติมเชื้อ *Azotobactor* และเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายหินฟอสเฟตได้ลงกองปุ๋ยหมักที่มีการเติมหินฟอสเฟตลงไปหมักด้วย เพื่อต้องการเพิ่มธาตุอาหารของปุ๋ยหมักให้สูงขึ้น (Kapoor *et al*., 2003) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ใน พ.ด

12 นอกจากจะตรึงไนโตรเจนแล้วยังมีคุณสมบัติในการละลายแร่ธาตุที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้จากเชื้อ *Burkholderia glumae* และ *Bacillus megaterium* ดังนั้น ในการผลิตปุ๋ยหมักเพื่อให้ปุ๋ยหมักมีฟอสฟอรัสที่สูง วัตถุดิบที่ใช้หมักควรจะมีแหล่งหินฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย และโปแตสเซียมให้สูงขึ้น โดยมีแร่ธาตุในกลุ่มไมก้า เช่น ไบโอไทต์ มัสโคไวต์ และ กลุ่มเฟลด์สปาร์ เช่น ไมโครไคลน์ ออโทเคลส ให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

Table 9. Effect of LDD.12 addition with 1% rice bran to compost and continued fermentation for 7 days

| **Treatment** | **Parameter (%)** | **0 day** | **7 day** | **Increase (%)** |
|---|---|---|---|---|
| Control* | TKN | 1.72 | 1.89 | 9.88 |
| LDD.12 | TKN | 1.75 | 1.95 | 11.42 |
| Control* | $P_2O_5$ | 1.61 | 2.21 | 37.26 |
| LDD.12 | $P_2O_5$ | 1.66 | 2.33 | 40.36 |
| Control* | $K_2O$ | 1.63 | 1.90 | 16.56 |
| LDD.12 | $K_2O$ | 1.58 | 1.87 | 18.35 |

* without LDD.12

Rice bran contained 2.39% TKN, 3.94% $P_2O_5$ and 1.83% $K_2O$

Compost (without rice bran and LDD.12) contained 1.60% TKN, 1.60% $P_2O_5$ and 1.56% $K_2O$

**5. ผลของการผลิตปุ๋ยหมักขนาดกองละ 1 ตันที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม**

การผลิตปุ๋ยหมักขนาดกองละ 1 ตันที่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นการขยายขนาดการผลิตจากกระบวนการหมักขนาดกองละ 50 กิโลกรัม โดยนำชุดการทดลองจากขั้นตอนที่ 2 มาใช้ในกระบวนการผลิต คือใช้เส้นใยผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์อัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นด้วยน้ำทิ้งดีแคนเตอร์เพื่อเป็นแหล่งแร่ธาตุและสารอาหารให้กับเชื้อจุลินทรีย์ ปรับพีเอชโดยใช้ขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำ เติมยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน และใช้หัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.1 ของกรมพัฒนาที่ดินเป็นแหล่งจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก โดยศึกษารูปแบบการให้อากาศ (Figure 11) ที่มีความ

เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อลดแรงงานจากการกลับกองปุ๋ยโดยมนุษย์ ซึ่งมี 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดที่ให้อากาศไม่มีการคลุมกองปุ๋ยหมัก ชุดที่ให้อากาศและคลุมกองปุ๋ยหมักโดยพลาสติกสีดำ เพื่อรักษาระดับความชื้นไว้ในระหว่างการหมัก และชุดที่กลับกองปุ๋ยหมักโดยใช้แรงงาน

Figure 11. Characteristics of three aeration systems of compost from the palm oil mill wastes

**อุณหภูมิ (temperature)**

อุณหภูมิถือได้ว่าเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของกระบวนการหมักปุ๋ยหมัก (Imbeah, 1998 อ้างโดย Li *et al*., 2008) เนื่องจากในกระบวนการหมักเชื้อจุลินทรีย์มีการย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยใช้ออกซิเจน (Dhull *et al*., 2005) อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักแสดงดัง Figure 12 พบว่าอุณหภูมิในแต่ละชุดของการทดลองมีอุณหภูมิที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งชุดที่ให้อากาศไม่ได้คลุมกองและชุดที่มีการกลับกอง มีอุณหภูมิสูงถึง 68.33 และ 69.50 องศาเซลเซียส วันที่ 14 และ 10 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ให้อากาศคลุมกอง มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 61 องศาเซลเซียส วันที่ 2 ของการหมัก อุณหภูมิทั้งสามชุดมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 20 วันแรกของการหมัก สอดคล้องกับ Tiquia (2002) แต่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในชุดที่ให้อากาศไม่ได้คลุมกองและชุดที่มีการกลับกอง ส่วนชุดที่ให้อากาศคลุมกองอุณหภูมิสูงถึง 61 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงที่สุดในชุดที่ให้อากาศคลุมกอง โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะสอดคล้องกับความชื้นที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก โดยความชื้นที่ต่ำหรือสูงเกินไปส่งผลให้อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากความชื้นในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมักสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้อุณหภูมิในแต่ละชุดการทดลองเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หลังจากวันที่ 5

ของการหมักความชื้นลดลงเหลือ 62.95, 73.57 และ 61.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในชุดการทดลองที่ให้อากาศไม่ได้คลุมกอง ชุดที่ให้อากาศคลุมกอง และชุดที่มีการกลับกอง ตามลำดับ ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งในชุดให้อากาศไม่ได้คลุมกอง และชุดที่มีการกลับกองเนื่องจากมีระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ แต่ชุดที่ให้อากาศคลุมกองระดับความชื้นจะคงที่อยู่ที่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ลักษณะเนื้อวัตถุดิบจับตัวกันแน่นมีลักษณะเป็นก้อน อากาศจากเครื่องให้อากาศมีการกระจายไม่ทั่วถึงทำให้เกิดระบบไร้อากาศ มีกลิ่นเหม็นตลอดระยะของการหมัก กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้ช้าเมื่อวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ไป โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วงประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส ตลอดระยะของการหมัก อุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียสหลังวันที่ 50 เนื่องจากการลดลงของวัตถุอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก (Aoki *et al*., 1994) ชุดที่ให้อากาศไม่คลุมกองอุณหภูมิจะสูงสุดหลังจากความชื้นอยู่ในช่วง 50-60 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดการทดลองนี้มีกระบวนการหมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจุลินทรีย์ได้รับอากาศโดยตรงจากแหล่งให้อากาศ ส่งผลให้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักเจริญอย่างรวดเร็ว (Trautmann and Krasny, 1997) กระบวนการหมักจึงเกิดขึ้นได้เร็วโดยอุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส หลังวันที่ 39 ของการหมัก ส่วนชุดที่มีการกลับกอง ลักษณะของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักคล้ายคลึงกับชุดให้อากาศไม่คลุมกอง เนื่องจากจุลินทรีย์ได้รับอากาศจากการกลับกอง กระบวนการหมักจึงเกิดขึ้นได้เร็วโดยอุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส หลังวันที่ 46 ของการหมัก เมื่อสิ้นสุดกระบวน

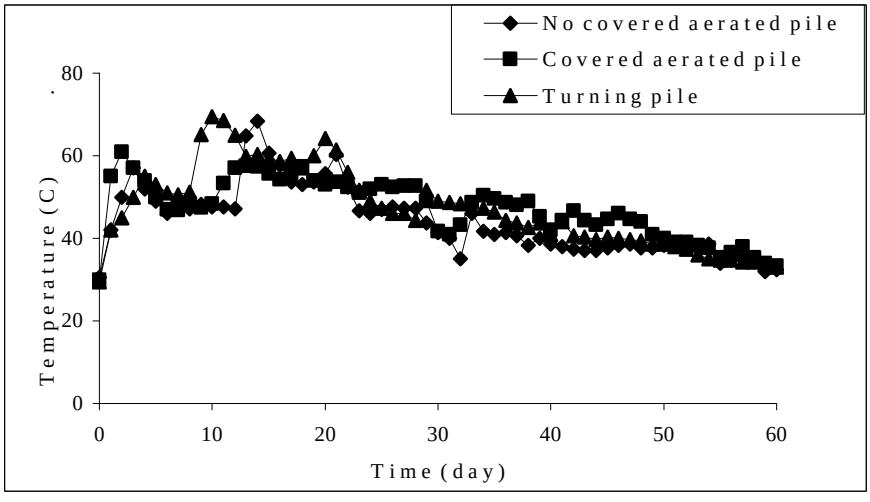


Figure 12. Temperature change during the fermentation of 1,000 kilograms of compost from palm oil mill wastes

การหมัก (60 วัน) อุณหภูมิของชุดที่ให้อากาศไม่ได้คลุมกอง ชุดที่ให้อากาศไม่ได้คลุมกอง และชุดที่มีการกลับกอง เท่ากับ 32.33, 33.33 และ 33.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ย (วิษณุพงค์ เกลี้ยงช่วย, 2552)

จากการศึกษาของ ภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) ซึ่งศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเส้นใยปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ ซึ่งพบว่า กองปุ๋ยหมักทุกกองมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 37-40 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิจะสูงสุดถึง 60-75 องศาเซลเซียส หลังกลับกองปุ๋ยหมักใน 2 ครั้งแรกทุก 10 วัน หลังจากนั้นอุณหภูมิสูงสุดหลังการกลับกองปุ๋ยหมักจะค่อยๆลดลงตามลำดับ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Aoki *et al.* (1994) ซึ่งกล่าวว่า การลดลงของอุณหภูมิเกิดจากปริมาณของวัตถุอินทรีย์หรือสารอาหารภายในกองปุ๋ยมีจำนวนลดน้อยลง ปุ๋ยหมักจะอยู่ช่วงท้ายของการหมัก (maturity phase) โดยปุ๋ยหมักที่จะนำไปใช้ได้ต้องมีอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก

**ความชื้น (moisture content)**

ความชื้นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก ช่วงเริ่มต้นของการหมักความชื้นชุดที่ให้อากาศไม่ได้คลุมกอง ชุดที่ให้อากาศคลุมกอง และชุดที่มีการกลับกอง เท่ากับ 70.51, 72.35 และ 68.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 13) ทำให้องค์ประกอบต่างๆภายในกองปุ๋ยหมักถูกผสมกันอย่างทั่วถึง วัตถุดิบมีความอ่อนนุ่มขึ้น ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ง่ายและเชื้อจุลินทรีย์มีการกระจายตัวทั่วกองปุ๋ยหมัก (สมใจ ศิริโภค, 2547) แต่ระดับความชื้นที่สูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดระบบไร้อากาศส่งผลให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นไม่สูงมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับ (Trautmann and Krasny, 1997) นอกจากนี้ระดับความชื้นที่สูงภายในกองปุ๋ยมีการดูดซับความร้อนเอาไว้ด้วย กระบวนการหมักหลังจากวันที่ 5 ปริมาณความชื้นภายในกองปุ๋ยลดลงเหลือเพียง 62.95, 73.57 และ 61.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับ Haug (1993 อ้างโดย สมใจ กาญจนวงศ์, 2548) รายงานว่า การให้อากาศจะช่วยลดระดับความชื้นของกองปุ๋ยที่สูงเกินไป เนื่องจากในกระบวนการย่อยสลายวัตถุอินทรีย์เกิดน้ำขึ้นภายในกองปุ๋ย ส่งผลให้ชุดที่มีการให้อากาศคลุมกองมีความชื้นคงที่ตลอดระยะของการหมักสาเหตุเนื่องจากกองปุ๋ยถูกคลุมไว้ตลอดเวลา (Golueke, 1991) ส่วนชุดที่ให้อากาศไม่ได้คลุมกองและชุดที่มีการกลับกองมีความชื้นลดลง เกิดเป็นระบบให้อากาศทำให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้เร็วกว่าชุดให้อากาศคลุมกอง หลังจากนั้นความชื้นในชุดที่ให้อากาศไม่ได้คลุมกองและชุดที่มีการกลับกอง มีความชื้นลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งวันที่ 10 ของการหมักความชื้นจะลดลงเหลือเพียง 54.02 และ 56.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยชุดที่มีการให้อากาศคุลมกองปริมาณความชื้นยังคงสูงอยู่ที่ 67.12 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปแล้วการผลิตปุ๋ยหมักจะรักษาระดับความชื้นให้อยู่ระหว่าง 50-60 เปอร์เซ็นต์ (Alam *et al*., 2005) ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่เชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญและใช้สารอาหารภายในกองปุ๋ยหมักได้ดีที่สุด

นอกจากนี้ ความชื้นยังเป็นตัวการสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการหมัก ระดับความชื้นที่สูงเกินไปทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยไม่สูงมากนัก หรือเมื่อในกระบวนการหมักอุณหภูมิสูงมากเกินไป การเติมแหล่งความชื้นลงกองปุ๋ยสามารถลดอุณหภูมิได้อีกทางหนึ่งนอกเหนือจากการให้อากาศหรือการกลับกองปุ๋ย (Trautmann and Krasny, 1997) ดังนั้น ความชื้นจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมัก จึงต้องเติมน้ำเมื่อความชื้นต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อรักษาระดับความชื้นไว้ให้คงที่ตลอดระยะเวลาของการหมัก เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักระดับความชื้นในชุดที่ให้อากาศไม่ได้คลุมกอง ชุดที่ให้อากาศคลุมกอง และชุดที่มีการกลับกอง เท่ากับ 50.04, 66.88 และ 51.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าชุดที่ให้อากาศคลุมกองระดับความชื้นจะคงที่ตลอดระยะของการหมัก ทำให้เกิดระบบไร้อากาศตลอดระยะเวลาส่งกลิ่นเหม็นเล็กน้อย ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายวัตถุอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ส่วนชุดที่ให้อากาศคลุมกองและชุดที่มีการกลับกอง จะรักษาระดับความชื้นให้อยู่ในช่วงระหว่าง 50-60 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะเวลาของการหมักทำให้เกิดกระบวนการหมักอย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Yu *et al*., 2007)

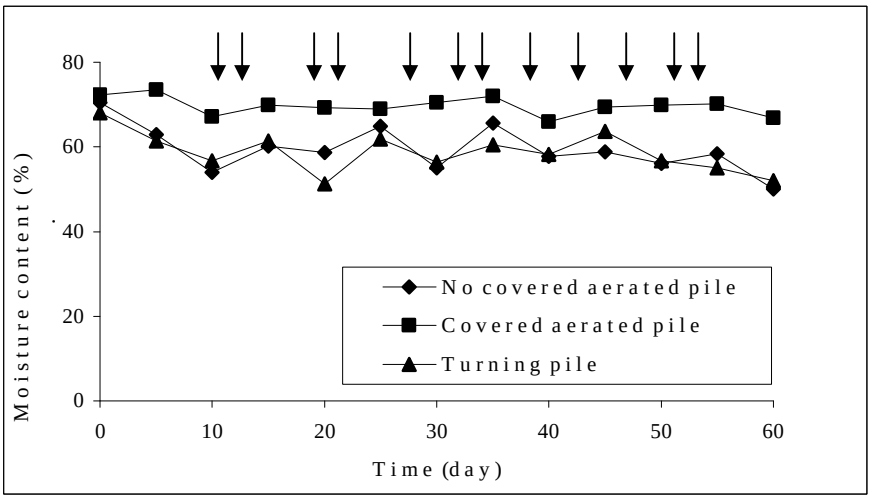


Figure 13. Moisture content during the fermentation of 1,000 kilograms of compost from palm oil mill wastes

**อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตเจน (C/N ratio) วัตถุอินทรีย์ (organic matter; OM) คาร์บอนทั้งหมด (total organic carbon: TOC) และ ไนโตรเจน (total Kjeldahl nitrogen; TKN)**

จากกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักชีวภาพจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ขนาดกองละ 50 กิโลกรัม ในช่วง 40-60 วันของการหมักอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักจะมีค่าต่ำกว่า 20:1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) จึงนำค่าต่างๆมาใช้ในการพิจารณาคุณภาพปุ๋ยหมักในการผลิตปุ๋ยหมักขนาด 1,000 กิโลกรัม ดังนั้นช่วงระยะเวลาดังกล่าวจึงวัดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าดังกล่าวส่งผลถึงระยะเวลาของการผลิต จากการวิเคราะห์พบว่า วันที่ 40 ของการหมัก ชุดที่มีการให้อากาศไม่คลุมกอง ชุดที่มีการให้อากาศคลุมกอง และชุดที่กลับกอง มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 26.76:1, 29.89:1 และ 24.84:1 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวยังสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก และเมื่อสิ้นสุดการบวนการหมัก (วันที่ 60) จะมีค่าเท่ากับ 19.16:1, 23.69:1 และ 19.58:1 ตามลำดับ สอดคล้องกับ Hien *et al*. (2010) กล่าวว่า ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะลดลงเรื่อยๆตลอดระยะของการหมัก และมีค่าต่ำกว่า 20:1 จากการทดลองชุดที่ให้อากาศและคลุมกองมีกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นช้ากว่าชุดอื่น สาเหตุจากปริมาณความชื้นที่สูงเกินไป โดยชุดที่ให้อากาศที่ไม่คลุมกองและชุดที่กลับกองปุ๋ย มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 วันที่ 55 ของการหมักโดยมีค่าเท่ากับ 19.93:1 และ 19.78:1 ตามลำดับ แสดงดัง Figure 14 ในขณะเดียวกันปริมาณของวัตถุอินทรีย์ในวันที่ 40 ของการหมักในชุดที่มีการให้อากาศไม่คลุมกอง ชุดที่มีการให้อากาศคุลมกอง และชุดที่กลับกอง มีค่าเท่ากับ 69.74, 77.92 และ 69.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อหมักครบ 60 วัน ปริมาณของวัตถุอินทรีย์แต่ละชุดการทดลองจะเท่ากับ 54.71, 62.63, และ 55.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 14) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณของวัตถุอินทรีย์ที่ลดลงเรื่อยๆจะกระทั่งสิ้นสุดกระบวนของการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับ Cooperband *et al*. (2003) เช่นเดียวกับปริมาณคาร์บอนทุกชุดการทดลองมีปริมาณลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก เนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยจะนำใช้เพื่อการเจริญ เพิ่มจำนวนและเป็นองค์ประกอบของเซลล์ ซึ่งพบว่าปริมาณคาร์บอนในวันที่ 40 ของการหมัก ชุดที่มีการให้อากาศไม่คุลมกอง ชุดที่มีการให้อากาศคุลมกอง และชุดที่กลับกอง เท่ากับ 38.74, 43.29 และ 38.80 ตามลำดับ ตามลำดับ โดยวันที่ 60 ของการหมักเหลือเพียง 30.9, 34.80 และ 30.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 14) สอดคล้องกับ Hien *et al*. (2010) นอกจากนี้ปริมาณของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 40-60 (Figure 14) พบว่า วันที่ 40 ของการหมักปริมาณไนโตรเจน ชุดที่มีการให้อากาศไม่คุลมกอง ชุดที่มีการให้อากาศคุลมกอง และชุดที่กลับกอง เท่ากับ 1.45, 1.45 และ 1.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยปริมาณของไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณของไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 1.59, 1.47 และ 1.58

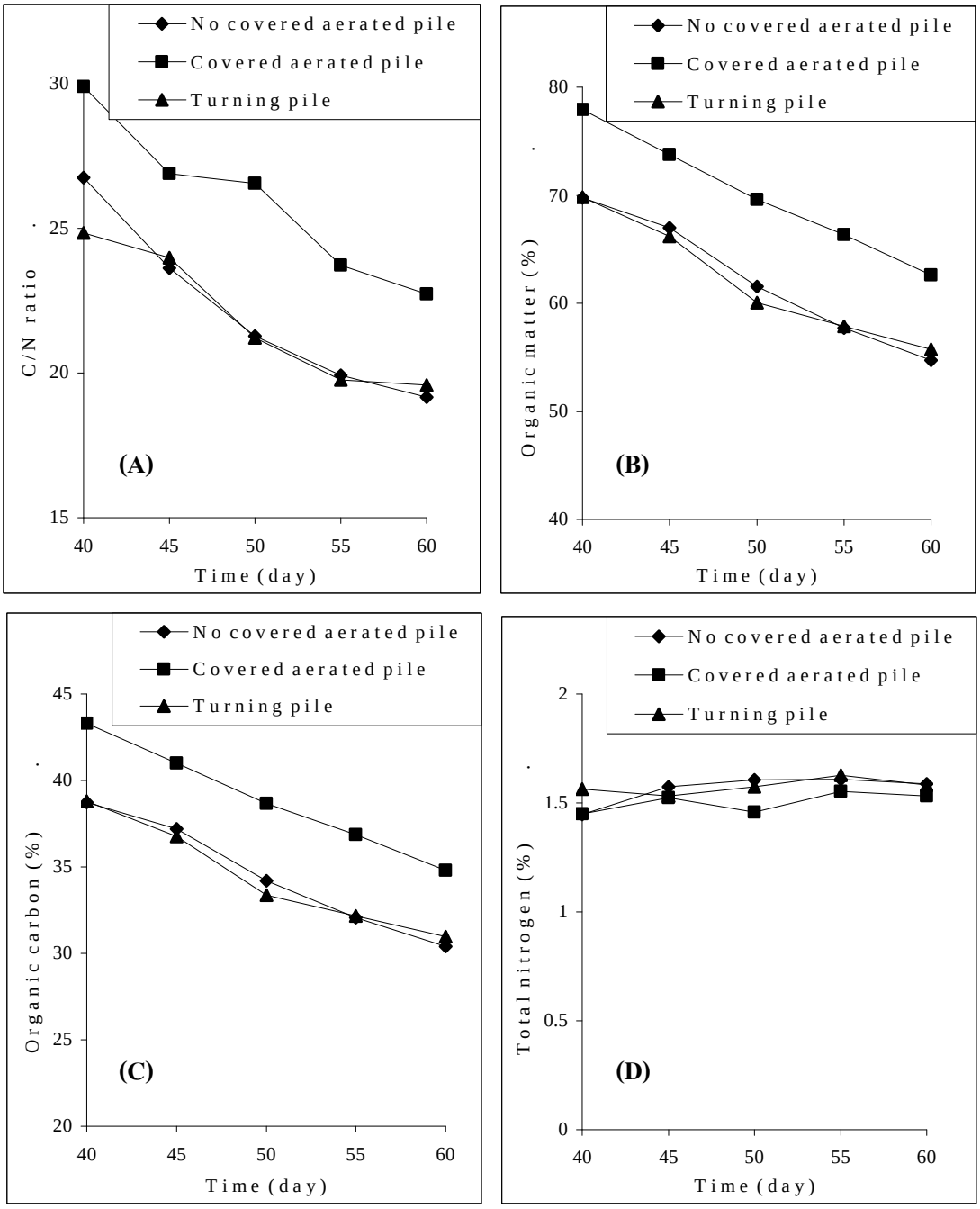


Figure 14. C/N ratio (A), organic matter (B), organic carbon (C) and total nitrogen (D) during 40-60 days of 1,000 kilograms of compost

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ ภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) รายงานว่า ปริมาณไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตลอกระยะของการหมัก เนื่องจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และการย่อยสลายวัตถุอินทรีย์ภายในกองปุ๋ย ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการหมักแต่ละชุดการทดลอง พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน อินทรียวัตถุ คาร์บอน รวมทั้งไนโตรเจน ชุดที่ให้อากาศไม่คลุมกองกับชุดกลับกองมีค่าต่างๆใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าที่ดีกว่าปุ๋ยหมักชุดให้อากาศคลุมกอง บ่งชี้ให้เห็นว่า ปุ๋ยหมักสองชุดแรกมีประสิทธิภาพ และมีสภาวะในการหมักที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ดีกว่าปุ๋ยหมักชุดให้อากาศคลุมกอง ดังนั้น การผลิตปุ๋ยหมักโดยให้อากาศสามารถใช้แทนการกลับกองปุ๋ยหมักที่ต้องอาศัยแรงงานจากคนได้ (ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และ ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2548)

**ฟอสฟอรัส และ โปแตสเซียม**

ฟอสฟอรัส ($P_2O_5$) และโปแตสเซียม ($K_2O$) เป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญในการพิจารณาถึงคุณภาพของปุ๋ยหมัก โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการหมัก ทำให้ระดับของฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดระยะของการหมัก ซึ่งเกิดจากการกระทำของเชื้อจุลินทรีย์ จากการทดลองเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณของฟอสฟอรัสของชุดที่มีการให้อากาศไม่คุลมกอง ชุดที่มีการให้อากาศคุลมกอง และชุดที่กลับกอง มีค่าเท่ากับ 1.61, 1.53 และ 1.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณของโปแตสเซียมชุดที่มีการให้อากาศไม่คุลมกอง ชุดที่มีการให้อากาศคุลมกอง และชุดที่กลับกอง มีค่าเท่ากับ 1.76, 1.66 และ 1.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในTable 10 ซึ่งสอดคล้องกับ วิษณุพงค์ เกลี้ยงช่วย (2552) รายงานว่าระดับของ N-P-K จะสูงขึ้นหลังการหมักเนื่องจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งจากการศึกษาการผลิตปุ๋ยของ ภาณุพงศ์ บางรักษ์ (2548) รายงงานว่า ระดับของ N-P-K วันที่ 60 ของการหมักมีค่าเท่ากับ 2.26, 0.86 และ1.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ วีรยุทธิ์ เหล็นเรือง และคณะ (2550) รายงานว่า การผลิตปุ๋ยหมักจากเส้นใยและกากตะกอนดีแคนเตอร์ ปรับพีเอชโดยใช้ขี้เถ้า หมักด้วยหัวเชื้อ พ.ด.1 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก มีระดับ N-P-K เท่ากับ 1.81, 0.31 และ 0.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Table 10. Chemical compositions of large scale composts (1,000 kilograms) with different aeration systems after 60 days

| Treatment | TKN (%) | $P_2O_5$ (%) | $K_2O$ (%) | C/N ratio | TOC (%) | OM (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| No covered aerated pile | 1.59 | 1.61 | 1.76 | 19.58 | 30.39 | 54.71 |
| Covered aerated pile | 1.53 | 1.53 | 1.66 | 22.73 | 34.8 | 62.63 |
| Turning pile | 1.58 | 1.6 | 1.74 | 19.16 | 30.95 | 55.71 |

นอกจากนี้ Table 11 แสดงคุณสมบัติปุ๋ยหมักที่ผลิตได้แต่ละชุดการทดลอง เมื่อเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักที่กรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดไว้ โดยปุ๋ยหมักชุดที่ให้อากาศไม่คลุมกองและปุ๋ยหมักชุดที่กลับกอง มีองค์ประกอบของปุ๋ยหมักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 19.16:1 และ 19.58:1 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 20:1 ในขณะชุดที่ให้อากาศคลุมกองเท่ากับ 22.73:1 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน โดย N-P-K ทุกชุดมีค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐานเท่ากับ 1.59-1.61-1.76, 1.53-1.53-1.66 และ 1.58-1.60-1.74 ในปุ๋ยหมักชุดที่ให้อากาศไม่คลุมกอง ปุ๋ยหมักชุดให้อากาศคลุมกอง และปุ๋ยหมักชุดกลับกอง ตามลำดับ ส่วนวัตถุอินทรีย์ และ พีเอช มีค่าเท่ากับ 54.71, 62.63, 55.71 เปอร์เซ็นต์ และ 7.54, 7.35, 7.48 ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนปริมาณความชื้นเท่ากับ 50.04, 66.88 และ 51.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าสูงกว่าที่กรมพัฒนาที่ดินกำหนด เนื่องจากในกระบวนการหมักระดับความชื้นถูกควบคุมซึ่งสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความชื้นสามารถลดลงได้อย่างรวดเร็วหากใช้วิธีการกระจายกองปุ๋ย ซึ่งในเชิงอุตสาหกรรมที่มีการผลิตขนาดใหญ่ใช้วิธีการอบแห้ง ซึ่งสะดวกและรวดเร็วกว่า

Table 11. Quality of large scale composts (1,000 kilograms) with different aeration compared to the compost standard

| | **Treatment** | | |
|---|---|---|---|
| **Composting standard** | **No covered aerated pile** | **Covered aerated pile** | **Turning pile** |
| C/N ratio (< 20:1) | 19.16:1 | 22.73:1 | 19.58:1 |
| TKN (>0.5%) | 1.59 | 1.53 | 1.58 |
| $P_2O_5$ (>0.5 %) | 1.61 | 1.53 | 1.60 |
| $K_2O$ (>1.0 %) | 1.76 | 1.66 | 1.74 |
| Moisture content (<30%) | 50.04 | 66.88 | 51.98 |
| Organic matter (>25%) | 54.71 | 62.63 | 55.71 |
| pH (6.0-8.0) | 7.54 | 7.35 | 7.48 |

จากการผลิตปุ๋ยหมักขนาด 50 กิโลกรัม และ 1,000 กิโลกรัม (Figure 15) โดยหัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.1 ซึ่งมีจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายองค์ประกอบของเยื่อใยได้สูง ได้แก่ *Scopulariopsis* sp., *Helicomyces* sp., *Chaetomium* sp. และ *Trichoderma* sp. นอกจากนี้

องค์ประกอบของวัตถุดิบจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบของไขมันอยู่สูง แต่ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการหมัก เนื่องจากหัวเชื้อซุปเปอร์ พ.ด.1 มีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายไขมันได้ดี ได้แก่ *Streptomyces* sp. และ *Bacillus* sp. (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) ซึ่งจุลิทรีย์เหล่านี้ต้องอาศัยการควบคุมปัจจัยต่างๆหลายๆปัจจัยในกระบวนการหมัก ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ความชื้น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และขนาดของวัตถุดิบ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันโดยตรงต่อกระบวนการหมัก ทำให้การผลิตปุ๋ยหมักมีความรวดเร็วขึ้น และได้ปุ๋ยหมักที่มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสมต่อการปลูกพืช (Tuomela *et al*., 2000) โดยในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมักอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจจะสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ระดับพีเอชจะลดลงเล็กน้อย ดังนั้นในช่วงนี้จึงต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 50-60 องศาเซลเซียส เพื่อให้กระบวนการหมักเป็นไปอย่างปกติ โดยระดับพีเอชจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างอัตโนมัติไม่จำเป็นต้องมีการควบคุม ส่วนปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องหลังการหมัก เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจะระเหยนำเอาความชื้นออกไปจากกองปุ๋ยด้วย ดังนั้น ในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องติดตามระดับความชื้น และอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง เพื่อควบคุมสภาวะการหมักให้เหมาะสมตลอดระยะเวลา โดยอุณหภูมิจะต้องควบคุมไม่ให้เกิน 60 องศาเซลเซียส และความชื้นจะต้องควบคุมอยู่ที่ระดับ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะของการหมัก กระบวนการหมักจึงจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว (สมใจ กาญจนวงศ์, 2548) ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงได้จากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และวัตถุอินทรีย์ จะลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะของการหมัก เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ เมื่อสิ้นสุดการหมักอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่า 20:1 (Heerden *et al*., 2002) โดยกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส ไซลาเนส และลิกนินเปอร์ออกซิเดส จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น เกิดจากการเจริญอย่างรวดเร็วของจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ย เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นมีสารอาหารที่ย่อยสลายได้ง่าย

Figure 15. Compost characteristics of 50 kilograms (A) and 1,000 kilograms (B) fermentations

จำนวนมาก เพราะในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มต้องอาศัยความร้อน และความดันสูง (Chaturvedi *et al*., 2010) นอกจากนี้ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะของการหมัก เนื่องจากกระบวนการย่อยสลาย และมีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของพืช เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม จะมีค่าสูงกว่า 0.5, 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

นอกจากนี้ การคลุมกองปุ๋ยในระหว่างการหมักเป็นกระบวนการที่ไม่เหมาะสมต่อการผลิต เนื่องจากเป็นระบบปิด ซึ่งในระหว่างการหมักเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน ทำให้ระดับความชื้นอยู่ที่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะของการหมักส่งผลให้เกิดระบบไร้อากาศ รวมทั้งไม่มีการระบายความร้อน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการหมักจึงย่อยสลายวัตถุอินทรีย์ได้น้อยกว่าชุดที่ให้อากาศ (Ruiz *et al*., 2009) เพราะฉะนั้น ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตปุ๋ยหมักที่มีการคลุมกองคือ ปริมาณความชื้นที่สูงเกินไปและติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ทำให้ระดับออกซิเจนไม่เพียงพอและกระจายได้ไม่ทั่วกองปุ๋ยหมัก เนื่องจากช่องว่างระหว่างอนุภาคถูกแทนที่ด้วยน้ำ วัตถุดิบมีการอัดตัวกันแน่น ออกซิเจนจึงไม่เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และเกิดการระบายของก๊าซและความร้อนได้น้อย เพราะมีการคลุมกองเกือบตลอดระยะเวลา ซึ่งมีผลกระทบต่อการเจริญของจุลินทรีย์โดยตรง (Trautmann and Krasny, 1997) นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่เติมลงกองปุ๋ยเป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องการอากาศในการเจริญ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

**6. ต้นทุนการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม**

การผลิตปุ๋ยหมักสามารถสร้างเป็นอาชีพหลัก หรือเป็นอาชีพเสริมได้เป็นอย่างดี เนื่องจากในการผลิตมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาอันสั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการและขนาดการผลิต หรืออีกนัยหนึ่ง ถ้านำปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ไปใช้จะประหยัดเงินที่จะต้องไปซื้อปุ๋ยหมักหรือลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ปีละจำนวนมากขึ้นอยู่กับพืชแต่ละชนิด เช่น พืชไร่ ใส่ปุ๋ยหมัก 2-4 ตัน/ไร่ ปุ๋ยเคมี 25-50 กิโลกรัม/ไร่ พืชผัก ใส่ปุ๋ยหมัก 4-6 ตัน/ไร่ ปุ๋ยเคมี 25-50 กิโลกรัม/ไร่ ไม้ตัดดอก ใส่ปุ๋ยหมัก 1-3 ตัน/ไร่ ปุ๋ยเคมี 30-50 กิโลกรัม/ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) โดยเฉพาะทางภาคใต้ที่มีวัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจำนวนมาก สามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี และการผลิตปุ๋ยหมักระบบกองเติมอากาศช่วยลดแรงงานจากมนุษย์ โดยปริมาณปุ๋ยหมักที่ได้รับหลังการหมักปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดังนี้

- เส้นใย 500 กิโลกรัม มีความชื้น 32.54 เปอร์เซ็นต์ มีของแข็งในรูปน้ำหนักแห้ง 337.30 กิโลกรัม

- กากตะกอนดีแคนเตอร์ 500 กิโลกรัม มีความชื้น 79.75 เปอร์เซ็นต์ มีของแข็งในรูปน้ำหนักแห้ง 101.25 กิโลกรัม

- ขี้เถ้าปาล์ม 100 กิโลกรัม

ในการผลิตแต่ละชุดการทดลองจะมีของแข็งในรูปน้ำหนักแห้ง 538.55 กิโลกรัม เป็นส่วนของคาร์บอน (TOC) 237.72 กิโลกรัม (44.14 เปอร์เซ็นต์) แต่สูญเสียไปในการหมักรูปคาร์บอน 37.61 เปอร์เซ็นต์ จะเหลือคาร์บอน 148.31 กิโลกรัม (62.39 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นจะเหลือของแข็งในรูปของน้ำหนักแห้งประมาณ 449.14 กิโลกรัม แต่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ยหมักมีความชื้นอยู่ 30 เปอร์เซ็นต์ จากปุ๋ยหมัก 449.14 กิโลกรัม มีความชื้นอยู่ 192.46 กิโลกรัม ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ปุ๋ยหมักจะมีน้ำหนักประมาณ 641.6 กิโลกรัม จากการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มระบบกองเติมอากาศขนาดกองละ 1,000 กิโลกรัม ซึ่งผลิตครั้งละ 2 ชุดมีต้นทุน รายรับ และรายจ่าย ดังนี้ (คำนวณจากวัตถุดิบ 1,100 กิโลกรัม)

**ต้นทุนคงที่**

| | | |
|---|---|---|
| - พัดลมเติมอากาศ ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า 3 แรงม้า ไฟ 3 เฟส | 15,700 | บาท |
| - ปั๊มน้ำ (water pump) แบบจุ่ม และสายยางฉีดน้ำ | 2,300 | บาท |
| - ท่อพีวีซี 4 นิ้ว และสายไฟยาว 10 เมตร | 4,360 | บาท |
| **รวม** | **22,360** | **บาท** |

**รายจ่าย**

| | | |
|---|---|---|
| - ค่าไฟฟ้า (0.07 บาทต่อกิโลกรัมวัตถุดิบ) | 140 | บาท |
| - ค่ากากตะกอนดีแคนเตอร์ 1,000 กิโลกรัม (10 สตางค์/กิโลกรัม) | 100 | บาท |
| - ค่าเส้นใยปาล์ม 1,000 กิโลกรัม (60 สตางค์/กิโลกรัม) | 600 | บาท |
| - ค่าขี้เถ้าจากเครื่องทำไอน้ำ 200 กิโลกรัม (30 สตางค์/กิโลกรัม) | 60 | บาท |
| - ค่าปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 4 กิโลกรัม | 60 | บาท |
| **รวม** | **960** | บาท |

**รายรับ**

| | | |
|---|---|---|
| - จำหน่ายปุ๋ยหมัก (1,283 กิโลกรัม) ราคาปุ๋ยหมักกิโลกรัมละ 5 บาท | 6,415 | บาท |
| **รวม** | **6,415** | **บาท** |

**หมายเหตุ** (1) ค่าไฟฟ้าอ้างอิงจากชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และ ธีระพงศ์ สว่างปัญญางกูร (2548)

(2) ราคาปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัท เกษตรสิทธิ จำกัด วันที่ 6 มีนาคม 2553 กระสอบ (50 กิโลกรัม) ละ 250 บาท

สมมุติต้นทุนค่าแรงงานประมาณ 2,000 บาทต่อรอบ (คิดค่าแรงเทียบเท่า 10 วันๆ ละ 200 บาท) รวมต้นทุนการผลิตต่อรอบ (1,283 กิโลกรัม) เท่ากับ 2,960 บาท ซึ่งจะมีกำไร 3,455 บาท/รอบ (6,415-2,960) ดังนั้นสามารถคืนทุนการลงทุนขั้นต้น (22,360 บาท) ได้ในการผลิตประมาณ 7 รอบ (14 เดือน) ถ้านำไปใช้ในการผลิตในระดับโรงงาน หรือเชิงพาณิชย์กำลังการผลิตจะสูงกว่านี้ ทำให้มีผลกำไรที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย หรืออีกนัยหนึ่ง ถ้านำปุ๋ยที่ผลิตได้มาใช้เองจะประหยัดเงินปีละมากๆขึ้นอยู่กับพืชแต่ละชนิด เช่น ยางพารา เมื่ออายุเกิน 17 เดือนจะใส่ปุ๋ยปีละ 2 ครั้ง/ปี ซึ่งจะประหยัดปุ๋ยหมักประมาณ 4-8 ตัน/ไร่/ปี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) การผลิตปุ๋ยเองทำให้ลดต้นทุนได้ 3,455 บาท/1,283 กิโลกรัม หรือ 2,693 บาท/ตัน นั่นคือ จะประหยัดค่าใช้จ่ายประมาณ 10,772-21,543 บาท/ไร่/ปี และยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

อย่างไรก็ตาม เส้นใยที่ออกจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ถูกนำไปใช้สำหรับเป็นวัสดุเชื้อเพลิงของเครื่องทำไอน้ำ ดังนั้น ถ้าโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีกำลังการผลิต 15 ตัน/ชั่วโมง จะสามารถผลิตเส้นใย (11 เปอร์เซ็นต์) 1,650 กิโลกรัม/ชั่วโมง เมื่อใช้สำหรับเป็นวัสดุเชื้อเพลิง 30 เปอร์เซ็นต์ จะเหลือเส้นใยสำหรับผลิตปุ๋ยหมัก 1,155 กิโลกรัม/ชั่วโมง ในขณะที่กากตะกอนดีแคนเตอร์ (4 เปอร์เซ็นต์) สามารถผลิตได้ 600 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งในการผลิตปุ๋ยหมักจะใช้เส้นใยต่อกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1/1 ดังนั้นถ้าโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสกัดน้ำมันปาล์มอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง จะมีแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตปุ๋ยหมักได้ชั่วโมงละประมาณ 1,200 กิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณมากพอสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักในเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ นอกจากนี้โรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งมีกำลังการผลิตที่สูงกว่านี้ ปริมาณของวัสดุเศษเหลือที่เกิดขึ้นจึงมีจำนวนสูงขึ้นเช่นกัน การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจึงเป็นแนวทางที่ดีในการผลิตปุ๋ยหมักในเชิงพาณิชย์ที่ดีต่อไป

# บทที่ 4

## สรุปและข้อเสนอแนะ

1. วัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใย กากตะกอนดีแคนเตอร์ น้ำเสียจากกระบวนการผลิต มีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอน และไนโตรเจนสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์

2. การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดกองละ 50 กิโลกรัม โดยใช้วัสดุหมักต่างๆ พบว่า ชุดการทดลองที่ดีที่สุด คือ เส้นใยผสมกากตะกอนดีแคนเตอร์ในอัตราส่วน 1:1 ปรับความชื้นโดยใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ ปุ๋ยหมักที่ได้นี้มีกระบวนการย่อยสลายและธาตุอาหารพืชที่สูงกว่าชุดที่ปรับความชื้นโดยใช้น้ำเสียและน้ำประปา ทั้งยังมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตขนาดใหญ่ ดังนั้นในการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจึงใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์เป็นแหล่งปรับความชื้น เมื่อนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปทดสอบการตอบสนองของพืช พบว่า ปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี ความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ที่ดีกว่าชุดที่ไม่ให้ปุ๋ยเลย แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยทุกชุดการทดลองมีความเหมาะสมกับการปลูกพืช การใช้น้ำทิ้งดีแคนเตอร์ น้ำเสียในบ่อบำบัดที่ 2 และกากตะกอนดีแคนเตอร์ ไม่มีผลต่อการเจริญของพืชและกระบวนการหมัก

3. การใช้สารเร่งซุปเปอร์ พ.ด.3 (LDD.3) เป็นแหล่งหัวเชื้อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับปุ๋ยหมัก สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Pythium alphanidermatum* ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดคะน้าเป็นไปอย่างปกติ ส่วนการใช้สารเร่ง พ.ด.12 (LDD.12) เป็นแหล่งหัวเชื้อสามารถช่วยเพิ่มระดับของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ให้กับปุ๋ยหมักให้สูงขึ้น

4. การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดกองละ 1 ตัน การต่อท่อให้อากาศสามารถใช้แทนวิธีการกลับกองได้โดยใช้แรงคนได้ นอกจากนี้การเพิ่มอากาศให้กับกองปุ๋ยหมักช่วยส่งผลโดยตรงต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้กระบวนการหมักมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

**ข้อเสนอแนะ**

1. ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ปัจจัยหลายๆปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อกระบวนการหมัก ดังนั้นเพื่อให้กระบวนการหมักมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องติดตามการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณความชื้น และอุณหภูมิ

2. การผลิตปุ๋ยที่มีการคุลมกองปุ๋ยหมักเพื่อรักษาระดับความชื้นให้คงที่ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ควรมีการระบายของอากาศได้ง่าย เช่น ตาข่าย หรือทางมะพร้าว เป็นต้น

3. การประยุกต์ใช้ปุ๋ยหมักอัดแท่งเป็นกระถางเพาะชำ ซึ่งมีข้อดีกว่าการใช้วัตถุดิบที่ไม่ได้ผ่านการหมัก เนื่องจากองค์ประกอบของกระถางที่ผลิตได้มีแร่ธาตุที่สูงกว่า มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่น้อยกว่า ดังนั้น เมื่อต้องการนำพืชปลูกลงดิน พืชจะได้รับแร่ธาตุโดยตรงจากกระถางเพาะชำ และการย่อยสลายในดินก็รวดเร็วกว่า ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของกระถางจากขุยมะพร้าวที่ไม่ได้หมักอีกทางหนึ่ง และระยะเวลาปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการอัดแท่งทำเป็นกระถางนั้นจำเป็นต้องศึกษาต่อไป

# เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2551. การจัดการอินทรียวัตถุเพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ : เอกสารเผยแพร่กรมพัฒนาที่ดิน.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2540. การใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาในการควบคุมโรคผัก. เอกสารเผยแพร่กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ :

จินตนา อิงคนินันท์. 2543. การจำแนกชนิดเชื้อรา *Tricoderma* spp. โดยอาศัยลักษณะสัณฐานวิทยาและลายพิมพ์ดีเอ็นเอ และทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคเน่าระดับดินของคะน้าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium aphanidermatum*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการศัตรูพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิระเดช แจ่มสว่าง. 2531. อิทธิพลของสายพันธุ์และปริมาณเชื้อโรคและการคลุกเมล็ดด้วยเชื้อรา *T. harzianum* ต่อการเกิดโรคเหี่ยวของฟิวซาเรียมในฝ้าย 4 สายพันธุ์. รายงานผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิระเดช แจ่มสว่าง, วรรณวิไล อินทนู และถวัลย์ คุ้มช้าง. 2544. การควบคุมโรคเน่าระดับดินของกล้าพืชโดยชีววิธีด้วยปุ๋ยหมักผสมเชื้อราไตรโคเดอร์มา. 257-265.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2535. สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และ ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. 2548. การถ่ายทอดเทคโนโลยีการหมักปุ๋ยระบบกองเติมอากาศ. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

นันทนา ช่วยชูวงศ์. 2547. โภชนศาสตร์สัตว์. สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

ธัญญา ศรีโพธิ์. 2538. การทำให้บริสุทธิ์และคุณสมบัติของเอนไซม์ไซลาเนสจาก *Cryptococcus laurentii*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เผด็จ สังขไพฑูรย์. 2548. การวิเคราะห์อาหารสัตว์. สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

บรรเจิด จีนบุญ และ มนตรี อินทรมณี. 2542. การทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. รายงานการวิจัย. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปฐพีชล วายุอัคคี. 2533. ดินและปุ๋ย. พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์ผลิตตำราเกษตรเพื่อชนบท. กรุงเทพฯ.

ประยูร เพียตะเณร, จิรวัฒน์ พุ่มเพชร และ วันทนีย์ พึ่งแสง. 2542. การศึกษาผลกระทบของการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ ร่วมกับปุ๋ยหมักที่มีต่อการผลิตข้าวโพดหวานในชุดดินกำแพงแสน. ผลงานวิจัยของคณาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษาไทย ในระหว่างปี 2540-2542. 565-566.

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์. 2542. การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือ. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และ อรัญ หันพงศ์กิตติกุล. 2533. กระบวนการผลิต การใช้ประโยชน์วัสดุเศษเหลือ และคุณลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานปาล์ม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 12(2): 169-176.

แพรทอง ละมุล. 2549. ประสิทธิภาพของเชื้อรา *Tricoderma harzianum* ในการควบคุมโรคเน่าของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์สาเหตุจากเชื้อรา *Pythium aphanidermatum*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโรคพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาณุพงศ์ บางรักษ์. 2548. การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผสมน้ำหมักของ *Rhodobactactor capsulatus* SS3 และการใช้ในการปลูกผักบุ้งและต้นหอม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เมฆ จันประยูร. 2541. ผักสวนครัวก้าวสำคัญแห่งการพึ่งตนเอง. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แอล. ที. เพลส. กรุงเทพฯ.

มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2540. ดินและปุ๋ย. พิมพ์ครั้งที่2. สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วงษ์จันทร์ วงษ์แก้ว. 2535. หลักสรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. ห้างหุ้นส่วนจำกัด พันนี่พับบลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

วัชรินทร์ ซุ้มสุวรรณ. 2549. การวิจัยทางการเกษตร. สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วธิดา คะนะแนม, ธันวดี เตชะภัททวรกุล และ ชัยศรี สุขสาโรจน์. 2552. สภาวะทางชีวเคมีของกองปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันโดยใช้มูลไก่และกากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจน. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วัลลภ พรหมทอง. 2542. เกษตรทฤษฎีใหม่ ตามแนวพระราชดำริ. ไทยวัฒนาพานิช. กรุงเทพฯ.

วีรยุทธ์ เหล็นเรือง, เอกวุฒ ทองดี, ศรัทธา พูลสวัสดิ์ และ เชาวนา ยี่รงค์. 2550. ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากขี้เค้กโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. รายงานการวิจัย. สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม และการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วารุณี มณีนาค. 2546. การคัดเลือกเชื้อรา *Tricoderma* spp. ที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไคติเนสได้สูง และการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อรา *Pythium aphanidermatum*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการศัตรูพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิษณุพงค์ เกลี้ยงช่วย. 2552. การประเมินความเป็นพิษต่อพืชของปุ๋ยหมักร่วมที่ผลิตจากกากของเสียโรงงานผลิตสารให้ความหวานและเศษอาหารที่อัตราส่วนแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

สุภัตรา อุปวรรณ. 2544. การพัฒนามวลชีวภาพเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์เพื่อใช้ในการควบคุมโรคเน่าคอดินของต้นคะน้าที่เกิดจากเชื้อ *Pythium aphanidermatum*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการศรัตรูพืช มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมใจ กาญจนวงศ์. 2548. การหมักขยะอินทรีย์ในครัวเรือน. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมใจ ศิริโภค. 2547. จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม. สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สมศักดิ์ วังใน, ภาวนา ลิกขนานนท์ และ เย็นใจ วสุวัต. 2539. การเปรียบเทียบการใช้อีเอ็ม และจุลินทรีย์อื่นๆผลิตปุ๋ยหมัก. ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย์.) 30: 110-120.

สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล. 2547. เทคโนโลยีชีวภาพอาหารและสิ่งแวดล้อม. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และ พิทยากร ลิ่มทอง. 2537. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายและประโยชน์บางประการของการกองปุ๋ยหมัก ในการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 48-54.

อัญชลี โฆษิตขจรเดช. 2550. ศึกษาการผลิตเส้นใยปาล์มน้ำมันหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับแกะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนงค์ จันทร์ศรีกุล. 2546. โรคและศรัตรูบางชนิดของผักและการป้องกันกำจัด. พิมพ์ครั้งที่ 11. โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพาณิช จำกัด. กรุงเทพฯ.

อมรศรี ตุ้ยระพิงค์. 2542. ปุ๋ยหมักจากกากอ้อยคุณภาพที่ดีบ้านโป่ง. ว.ส่งเสริมการเกษตร (วิทย์.) 29(133): 19-21.

อรพิน โปกุล. 2551. ปุ๋ยอินทรีย์. สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

อร่าม คุ้มทรัพย์. 2543. พืชผัก : เกษตรธรรมชาติแบบไทยไทย. โรงพิมพ์อักษรไทย. กรุงเทพฯ.

อารี กังแฮ. 2536. การผลิตเอนไซม์เซลลูเลสและไซลาเนสจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยเชื้อ *Aspergillus niger* ATCC 6275. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Ahmed, Z., Banu, H.,Rahnan, M.M., Akhter, F. and Haque M.S. 2001. Microbial activity on the degredation of linocellulose polysaccharide. J. Biol. Sci. 1(10): 993-997.

Alam, M.Z., Muhammad, N. and Mahmat, M.E. 2005. Production of cellulase from oil palm biomass as substrate by solid state bioconvertion. J. App. Sci. 2(2): 569-572.

Alipour, H.R. and Torkashvand, A.M. 2009. Compost quality management by adding sulfuric acid and alkaline wastewater of paper mill as two amendments. J. Engg. Technol. 55: 294-297.

Aoki, N., Nakasaki, K. and Kubota, H. 1994. Accelerated composting of grass clippings by controlling moisture level. J. Waste Manag. and Res. 12: 13-20.

APHA, AWWA and WEF. 1998. Standard method for the examination of water and wastewater. American public health association. Washington, D.C.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis. AOAC. Washington, DC.

Basaglia, M., Concheri, G., Cardinali, S., Pasti-Grigsby, B.M. and Nuti, M.P. 1992. Enhanced degradation of ammonium-pretreated wheat straw by lignocellulolytic *Streptomyces* spp. J. Micorbiol. 38(10): 1022-1025.

Castaldi, P., Garau, G. and Melis, P. 2008. Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water soluble fractions. J. Waste Manag. 28: 534-540.

Chaturvedi, S., Singh, B., Nain, L., Khare, S.K., Pandey, A.K. and Satya, S. 2010. Evaluation of hydrolytic enzymes in bioaugmented compost of jatropha cake under aerobic and partial anaerobic conditions. Anal. Microbiol. 60(4): 685-691.

Chavalparit, O. 2006. Clean technology for the crude palm oil industry in Thailand. Ph.D. Dissertation. University of Wageningen.

Cooperband, L.R., Stone, A.G., Fryda, M.R., Ravet, J.L., 2003. Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. J. Compost Sci. Util. 11: 113-124.

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

Dickerson, G.W. 2005. Backyard Composting. Extension Guide H-110. 505: 646-3228.

Droussi, Z., Oraziob, V.D., Hafidic, M. And Ouatmanea, A. 2009. Elemental and spectroscopic characterization of humic-acid-like compounds during composting of olive mill by-products. J. Hazard. Mater. 163: 1289-1297.

Dhull, S.K., Goyal, S. and Kapoor, K.K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. J. Bioresour. Technol. 96: 1584-1591.

Eklind, Y. and Kirchmann, H. 2000. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. J. Bioresour. Technol. 74: 115-124.

Erickson, M.C., Liao, J., Jiang, X. and Doyle, M.P. 2009. Inactivation of *Salmonella* spp. in cow manure composts formulated to different initial C:N ratios. J. Bioresour. Technol. 100: 5898-5903.

Gaind, S., Pandey, A.K. and Lata, N. 2005. Biodegradation of crop residues as affected by exogenous inorganic nitrogen and fungal inoculants. J. Basic Microbiol. 45(4): 301–311

Ghosh, S., Ghosha, S., Kapadnisb, B. P. and Singh, N. B. 2000. Composting of cellulosic hospital solid waste: a potentially novel approach. J. Int. Biodeter. Biodeg. 45: 89-92.

Golueke, C.G. 1991. Principles of composting. J. Waste Recyc. 14-27.

Guven, K., Celik, S. and Uysal, I. 2005. Antimicrobial activity of aentaurea apecies. Pharmaceut Biol. 43: 67–71.

Hamoda, M.F., Abu Qdais, H.A. and Newham, J. 1998. Evaluation of municipal solid waste composting kinetics. J. Resour., Conserv. and Recyc. 23: 209-223.

Hallesmeersch, I. and Vandamme, E.J. 2003. Grass cell wall degradation by fungal cellulases and hemicellulases. J. Fungal Divers. 13: 13-27.

Hassan, A.O., Ishida, M., Shukri, I.M. and Tajuddin, A.M. 1994. Oil-Palm Fronds as a roughage feed source. Livestock Research Division, Malaysian Agriculture Research and Development Institute (MARDI), Kuala Lumpur, Malaysia.

Heerden, I.V., Cronje, C., Swart, S.H. and Kotze, J.M. 2002. Microbial, chemical and physical aspects of citrus waste composting. J. Bioresour. Technol. 81: 71-76.

Hien, E., Houot, S., Hien, V., Masse, D., Kabor, T.W.T. and Zombr, P. 2010. Effect of the raw materials and mixing ratio of composted wastes on the dynamic of organic matter stabilization and nitrogen availability in composts of Sub-Saharan Africa. J. Bioresour. Technol. 101: 1002-1013.

Huang, D., Huang, G., Huang, H., Li, J., Wang, R., Xi, X., Yu, H. and Zeng, G. 2007. Microbial community succession and lignocellulose degradation during agricultural waste composting. J. Biodeg. 18: 793-802.

Jeong, Y.K. and Kim, J.S. 2001. A new method for conservation of nitrogen in aerobic composting process. J. Bioresour. Technol. 79:129-133.

Kapoor, K.K., Yadav, K.S., Singh, D.P., Mishra, M.M. and Tauro, P. 2003. Enrichment of compost by *Azotobacter* and phosphate solubilising microorganisms. J. Agr. wastes. 125-133.

Kirk, T.K., Croan, S. and Tien, M., 1985. Production of multiple ligninases by *Phanerochaete chrysosporium*: effect of selected growth conditions and use of a mutant strain. Enz. Microbiol. Technol. 8: 27-32.

Kuba, T., Tscholl, A., Partl, C., Meyer, K. and Insam, H. 2008. Wood ash admixture to organic wastes improves compost and its performance. J. Agr. Ecosyst. and Environ. 127: 43-49.

Kuhad, C.K., Singh, A. and Eriksson, K.E.L. 1997. Microorganisms and enzymes involved in the degradation of plant fiber cell walls. J. Biochem. Engg. and Biotechnol. 57: 45-125.

Kumar, P.K.R. and Lonsane, B.K. 1987. Extraction of gibberellic acid from dry mouldy bran product under solid state fermentation. J. Proc. Biochem. 22: 139-143.

Li, X., Zhang, R. and Pang, Y. 2008. Characteristics of dairy manure composting with rice straw. J. Bioresour. Technol. 99: 359-367.

Little, C.R. and Magill, C.W. 2003. Elicitation of defense response genes in sorghum floral tissue inflected by *Fusarium thapsinum* and *Curvularia lutana* at anthesis. J. Physiol and Mol. Plant Pathol. 63: 271-279.

Maijala, P. 2000. *Heterobasidion annosum* and wood decay: Enzymology of cellulose, hemicellulose and lignin degradation. Ph.D. Dissertation. University of Helsinki.

Mayende, L., Wilhelmi, B.S. and Pletschke, B.I. 2006. Cellulases (CMCases) and polyphenol oxidases from thermophilic *Bacillus* spp. isolated from compost. J. Soil Biol. and Biochem. 38: 2963-2966.

Meunchang, S., Panichsakpatana, S. and Weaver, R.W. 2004. Co- composting of filter cake and bagasse by-products from a sugar mill. J. Bioresour. Technol. 96(4): 437-442.

Migheli, Q., Gonzalez-Candelas, L., Dealessi, L., Camponogara, A. and Ramon-Vidal, D. 1998. Transformants of *Trichoderma longibrachiatum* overexpressing the $\beta$-1,4-endoglucanase gene *egl*1 show enhanced biocontrol of *Phythium ultinum* on cucumber. J. Phytopathol. 88: 673-677.

Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing suger. J. Anal. Chem. 31(3): 426-428.

Miyatake, F. and Iwabuchi, K. 2005a. Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. J. Bioresour. Technol. 97: 961-965.

Miyatake, F. and Iwabuchi, K., 2005b. Effect of high compost temperature on enzymatic activity and species diversity of culturable bacteria in cattle manure compost. J. Bioresour. Technol. 96: 1821-1825.

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.

Ohkuma, M., Maeda, Y., Johjima, T. and Kudo, T. 2001. Lignin degradation and roles of white rot fungi : Study on an efficient symbiotic system in fungus-growing termites and its application to bioremediation. J. Ecomol. Sci. Res. 52(1): 6-16.

Osono, T. and Takeda, H. 2004. Accumulation and release of nitrogen and phosphorus in relation to lignin decomposition in leaf litter of 14 tree species. J. Ecol. Res. 19: 593-602.

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

Riker, A.J and Riker, R.S., 1936. Introduction to research on plant disease. St. Louis and New York, John S, Swift Co., 117p.

Ruiz, I., Blazquez, R. and Soto, M. 2009. Methanogenic toxicity in anaerobic digesters treating municipal wastewater. J. Bioresour. Technol. 100: 97–103.

Saludes, R.B., Iwabuchib, K., Kayanumab, A. and Shigab, T. 2007. Composting of dairy cattle manure using a thermophilic-mesophilic sequence. J. Bios. Engg. 98: 198-205.

Schuchardt, F., Darnoko, D. and Guritno, P. 2002. Composting of empty oil palm fruit bunce (EFB) with simultaneous Evapoaration of oilmill waste water (POME). International Oil Palm Conference, Nusa Dua, Bali, Indonesia.

Singh, B., Singh, Y., Ladha, J.K., Bronson, K.F., Balasubramanian, V., Singh, J. and Khind, C.H. 2002. Chlorophyll meter– and leaf color chart–based nitrogen management for rice and wheat in Northwestern India. J. Agron. 94: 821-829.

Sornyotha, S., Ratanakhanokchai, K. and Kyu, K.L. 2003. Binding of the polysaccharide-binding protein (P195) from *Bacillus circulans* B6 to insoluble substrate. Proc. Sci, Natural Resour. and Environ. Econ. 144-152.

Steger, K., Jarvis, A., Vasara, T., Romantschuk, M. and Sundh, I. 2007. Effects of differing temperature management on development of Actinobacteria populations during composting. J. Res. Microbiol. 158: 617-624.

Sundberg, C. 2005. Improving compost process efficiency by controlling aeration, temperature and pH. Ph.D. Dissertation. University of Swedish.

Tang, J.C., Shibata, A., Zhou, Q. and Katayama, A. 2007. Effect of temperature on reaction rate and microbial community in composting of cattle manure with rice straw. J. Biosci. and Bioeng. 104: 321-328.

Tiquia, S.M. 2002. Evolution of extracellular enzyme activities during manure composting. J. Appl. Microbiol. 92: 764-775.

Trautmann, N.M. and Krasny, M.E. 1997. Composting in the Classroom. Center for the Environment, Cornell University.

Tuomela, M. 2002. Degradation of lignin and other $C^{14}$-labelled compounds in compost and soil with an emphasis on white-rot fungi. Ph.D. Dissertation in Microbiology, University of Helsinki.

Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A. and Itavaara, M. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. J. Bioresour. Technol. 72: 169-183.

Yeser, A.Z., Rahman, R.A. and Kalin, M.S. 2007. Co-Composting of Palm Oil Mill Sludge-Sawdust. J. Biol Sci. 10(24): 4473-4478.

Yoshida, S., Hiradate, S., Tsukamoto, T., Hatakeda, K. and Shirata., A. 2001. Antimicrobial activity of culture filtrate of *Bacillus amyloliquefacien* RC-2 isolated from mulberry leaves. J. Phytopathol. 91: 181-187.

Yu, H., Zeng, G., Huang, H., Xi, X., Wang, R., Huang, D., Huang, G. and Li, J., 2007. Microbial community succession and lignocellulose degradation during Agricultural waste composting. J. Biodeg. 18: 793-802.

Yu S., Grant O., Jerry, O.G.C. and Leonard, J. 2008. A statistical method for the analysis of nonlinear temperaturetime series from compost. J. Bioresour. Technol. 99: 1886-1895.

Zhang, M., Su, R., Qi, W. and He, Z. 2010. J. Enhanced enzymatic hydrolysis of lignocellulose by optimizing enzyme complexes J. Appl. Biochem. Biotechnol. 160:1407–1414

Zeng, G.M., Huang, H.L., Huang, D.L., Yuan, X.Z., Jiang, R.Q., Yu, M., Yu, H.Y., Zhang, J.C., Wanga, R.Y. and Li, X.L. 2009. Effect of inoculating white-rot fungus during different phases on the compost maturity of agricultural wastes. J. Proc. Biochem. 44: 396-400.

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

# ข้อมูลทางสถิติ

Table 12. Chlorophyll A of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill wastes (P≤0.05)

| | Treatment (mg/g) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Time (day)** | **Control** | **Tap water** | **POME** | **Decanter effluent** | **Decanter cake** |
| 7 | 1.6140 [b] | 2.5725 [a] | 1.8250 [b] | 1.6395 [b] | 1.8899 [b] |
| 14 | 2.1510 [b] | 2.5290 [a b] | 2.1483 [b] | 3.0510 [a] | 2.1281 [b] |
| 21 | 1.9845 [b] | 2.3842 [a b] | 2.6423 [a b] | 2.6106 [a b] | 2.9242 [a] |
| 28 | 2.5099 [c] | 2.7124 [b c] | 3.4505 [b] | 5.3401 [a] | 4.8293 [a] |

Table 13. Chlorophyll B of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill wastes (P≤0.05)

| | Treatment (mg/g) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Time (day)** | **Control** | **Tap water** | **POME** | **Decanter effluent** | **Decanter cake** |
| 7 | 2.2029 [b] | 3.8551 [a] | 2.5357 [b] | 2.1932 [b] | 2.6371 [b] |
| 14 | 2.9965 [b] | 3.5624 [a b] | 2.9915 [b] | 4.4632 [a] | 2.9556 [b] |
| 21 | 2.7368 [a] | 3.2887 [a] | 3.6913 [a] | 3.6253 [a] | 4.1722 [a] |
| 28 | 3.4742 [b] | 3.8496 [b] | 5.0326 [b] | 8.6202 [a] | 7.6623 [a] |

Table 14. Total chlorophyll of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill wastes (P≤0.05)

| | Treatment (mg/g) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Time (day) | Control | Tap water | POME | Decanter effluent | Decanter cake |
| 7 | 3.8170 [b] | 6.4276 [a] | 4.3608 [b] | 3.8326 [b] | 4.5271 [b] |
| 14 | 5.1474 [b] | 6.0914 [a b] | 5.1398 [b] | 7.5142 [a] | 5.0837 [b] |
| 21 | 4.7213 [a] | 5.6729 [a] | 6.3337 [a] | 6.2359 [a] | 7.0964 [a] |
| 28 | 5.9841 [b] | 6.5619 [b] | 8.4831 [b] | 13.9603 [a] | 12.4916 [a] |

Table 15. Fresh weight of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill wastes (P≤0.05)

| | Treatment (g/plant) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Time (day) | Control | Tap water | POME | Decanter effluent | Decanter cake |
| 7 | 0.3679 [a] | 0.5980 [a] | 0.5904 [a] | 0.6017 [a] | 0.6087 [a] |
| 14 | 1.2156 [d] | 4.7126 [c] | 6.0431 [b] | 6.9087 [a] | 6.6079 [a b] |
| 21 | 4.6794 [c] | 8.6640 [b] | 9.4621 [a] | 9.9083 [a] | 9.9259 [a] |
| 28 | 5.6387 [c] | 9.5448 [b] | 10.5622 [a] | 11.1955 [a] | 10.7081 [a] |

Table 16. Dry weight of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill wastes was (P≤0.05)

| | Treatment (g/plant) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Time (day)** | **Control** | **Tap water** | **POME** | **Decanter effluent** | **Decanter cake** |
| 7 | 0.0443 [a] | 0.0438 [a] | 0.0402 [a] | 0.0358 [a] | 0.0466 [a] |
| 14 | 0.1389 [d] | 0.4609 [c] | 0.5910 [b] | 0.7013 [a] | 0.6769 [a] |
| 21 | 0.6042 [c] | 1.1136 [b] | 1.1929 [a b] | 1.2253 [a] | 1.2457 [a] |
| 28 | 0.7094 [c] | 1.1657 [b] | 1.2750 [a b] | 1.3351 [a] | 1.2696 [a b] |

Table 17. Height of the water spinach (*Impomoea aquatica* Forsk.) using compost from palm oil mill wastes (P≤0.05)

| | Treatment (g/plant) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Time (day)** | **Control** | **Tap water** | **POME** | **Decanter effluent** | **Decanter cake** |
| 7 | 4.83 [a] | 5.75 [a] | 5.72 [a] | 5.70 [a] | 5.83 [a] |
| 14 | 7.60 [b] | 10.88 [a] | 11.43 [a] | 11.70 [a] | 11.35 [a] |
| 21 | 12.38 [b] | 18.10 [a] | 18.65 [a] | 19.25 [a] | 19.53 [a] |
| 28 | 17.23 [c] | 27.15 [b] | 27.50 [a b] | 28.60 [a b] | 28.75 [a] |

# ภาคผนวก ข

## วิธีการวิเคราะห์

**1) ความชื้น** (AOAC, 1990)

**อุปกรณ์**

1. ตู้อบไฟฟ้า (hot air oven)
2. โถดูดความชื้น (desiccator)
3. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (moisture can)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า (digital analytical balance) 4 ตำแหน่ง

**วิธีการ**

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

2. ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาน้ำหนักแน่นอน 1-2 กรัม ใส่ลงภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปอบที่ตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้ นำไปใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนได้อุณหภูมิเท่าภายนอกแล้วจึงชั่งน้ำหนัก

4. อบซ้ำ จนได้ผลต่างไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม นำค่าไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

**การคำนวณ**

ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) = (A-B) x 100 / A

โดยที่ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

**2) การวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์**

**อุปกรณ์**

1. บีกเกอร์ (beaker) สำหรับใส่สาร
2. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. เครื่องกรองสุญญากาศ (vacuum pump)
5. โกร่งบดสาร (mortar and pestle)
6. กรวยแก้ว (glass funnal)
7. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)

**สารเคมี**

1. สารละลายอะซิโตนเข้มข้น และ 80 เปอร์เซ็นต์
2. โซเดียมซัลเฟต ($Na_2SO_4$)
3. แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

**วิธีการ**

นำผักที่หั่นให้ละเอียด สุ่มตัวอย่างประมาณ 1-5 กรัม ใส่ในโกร่งบด เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 1 กรัม เพื่อช่วยในการสกัดคลอโรฟิวส์ เติมอะซิโตนความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พร้อมกับคนผสมให้เข้ากันประมาณ 2-3 นาที จากนั้นไปกรองด้วยระบบสุญญากาศ นำสารละลายส่วนใสที่ได้มากำจัดโมเลกุลของน้ำด้วยการเติมโซเดียมซัลเฟตที่มีสูตรโครงสร้างไร้น้ำปริมาณ 3-5 กรัม กรองเอาโซเดียมซัลเฟตออกแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยอะซิโตนเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 649 และ 665 นาโนเมตร (A.O.A.C., 1990)

**การคำนวณ**

ปริมาณคลอโรฟิวส์รวม (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $17.72A_{649} + 6.45A_{665}$

ปริมาณคลอโรฟิวส์เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $11.63A_{649} - 2.39A_{665}$

ปริมาณคลอโรฟิวส์บี (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $20.11A_{649} - 5.18A_{665}$

**3) ปริมาณไนโตรเจน (TKN), ฟอสฟอรัส ($P_2O_5$) และโปตัสเซียม ($K_2O$)** (A.O.A.C., 1990)

**3.1 ปริมาณของไนโตรเจน (TKN)**

**อุปกรณ์**

1. ขวดย่อยโปรตีน (kjeldahl flask)
2. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ปิเปต (pipette) 10 มิลลิลิตร
4. บิวเรต (burette) ขนาด 50 มิลลิตร
5. ชุดย่อยและกลั่นโปรตีน (total kjeldahl nitrogen) ประกอบด้วย เตาย่อย และเครื่องจับไอกรด

**สารเคมี**

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นสารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_2$) และโปแตสเซียมซัลเฟต ($K_2SO_4$) อัตราส่วน 1:10
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์
4. สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์
5. สารละลายกรดเกลือเข้มข้น 0.02 นอร์มัล
6. สารละลายอินดิเคเตอร์

**วิธีการ**

**ขั้นตอนการย่อย**

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อย และทำแบลงค์ด้วย
2. ใส่สารผสม $CuSO_4.5H_2O$ และ$K_2SO_4$ (1:10) 5 กรัม
3. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
4. วางหลอดย่อยในเตาย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่าง และเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย
5. เปิดสวิทช์เครื่องดักจับและเตาย่อย ตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 350 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส
6. ปล่อยทิ้งให้เย็น
7. นำมาถ่ายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และใช้น้ำกลั่นล้างหลอดย่อยให้หมดสารละลายตัวอย่าง แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เก็บไว้กลั่นต่อไป

**ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรต**

1. จัดอุปกรณ์กลั่นแล้วเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่นด้วย

2. นำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตรซึ่งบรรจุกรดบอลิก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ซึ่งเติมอินดิเคเตอร์เรียบร้อยแล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดนี้

3. ดูดสารละลายตัวอย่างด้วยปิเปตแบบกระเปาะขนาดความจุ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในช่วงใส่ตัวอย่าง แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกซ์ลงไป 20 มิลลิลิตร

4. กลั่นประมาณ 10 นาที ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดลองรับ

5. ไตรเตรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดเกลือที่ความเข้มข้น 0.02 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง

**การคำนวณ**

ปริมาณไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์) = (A-B) x N x 1.4007) / W

ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) = (A-B) x N x 1.4007 x F / W

โดยที่ A = ปริมาตรของสารละลายกรดเกลือที่ใช้ไตรเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายกรดเกลือที่ใช้ไตรเตรตกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือ (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง

F = เฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณหาโปรตีนสำหรับแหล่งโปรตีนชนิดต่างๆ

**3.2 ฟอสฟอรัส ($P_2O_5$)**

**อุปกรณ์**

1. บีกเกอร์ (beaker) สำหรับใส่สาร
2. เตาให้ความร้อน (hot plate)
3. ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. กรวยแก้ว (glass funnel)
5. ขวดรูปชมพู่ (erlenmayer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. ปิเปต (pipette) ขนาด 1, 5 และ10 มิลลิลิตร
7. กระดาษกรองเบอร์ 42 (whatman paper 42)
9. หลอดทดลอง (test tube) ขนาด 10 มิลลิลิตร
10. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)

**สารเคมี**

1. กรดผสม ($HNO_3/HClO_4$) เตรียมโดยผสม $HNO_3$ 1250 มิลลิลิตร $HClO_4$ 250 มิลลิลิตร และ $NH_4VO_3$ 0.06 กรัม (ละลาย $NH_4VO_3$ 0.06 กรัมด้วยน้ำกลั่นประมาณ 5-10 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนสารละลายหมด ทิ้งให้เย็นแล้วผสมลงในกรด)

2. สารละลาย vanadomolybdate เตรียมโดย

2.1 ละลาย ammonium molybdate 40 กรัม ด้วยน้ำกลั่นที่อุ่นแล้ว 400 มิลลิลิตร

2.2 ละลาย ammonium meta-anadate 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่นที่อุ่นแล้ว 300 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนสารละลายหมด เมื่ออุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้น 160 มิลลิลิตร

2.3 ผสมสารในข้อ 2.1 และ 2.2 เข้าด้วยกัน แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา เมื่อต้องการใช้แต่ละครั้งนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น 4 เท่า

3. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดยละลาย $KH_2PO_4$ (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) 3.48 กรัม ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร ค่อยๆเติมกรดไนตริกเข้มข้น 12 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ30 มิลลิกรัมต่อลิตรใน $HClO_4$ ร้อยละ 4 เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสความเข้มข้น 1,000 มิลลิลิตรต่อกรัม 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ3.0 มิลลิลิตรใส่ในขวดปรับปริมาตร เติม $HClO_4$ ร้อยละ 20 ลงไป 20 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร

**วิธีการ**

1. ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 1 กรัม ใส่ใน erlenmayer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมกรดผสม $HNO_3/HClO_4$ 15 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆให้เข้ากัน ปิดปาก flask ด้วยกรวยแก้ว จากนั้นย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จนควันน้ำตาลหมด แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนควันสีขาว ทำการย่อยต่อไปจนสารละลายใส

3. วางไว้ให้เย็นลง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ลงใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ใช้น้ำ deionized ล้างตัวอย่างปุ๋ยบนกระดาษกรอง จนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี

4. ปิเปตสารละลาย vanadomolybdate 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี วางไว้ 20 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร

5. ทำ blank เช่นเดียวกับข้อ 2 – 5

6. เขียนกราฟมาตรฐานระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกนตั้ง

**การคำนวณ**

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) = (A-B) x 250/ (1,000 x W) x 2.291 x mof

โดยที่ A = ความเข้มข้นฟอสฟอรัสของสารละลายตัวอย่างเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

B = ความเข้มข้นฟอสฟอรัสของ blank เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

W = น้ำหนักตัวอย่าง

Mof = (100 + ความจุความชื้นในดิน)/ 100

Table 18. Absorption (420 nm) of phosphorus at different concentrations

| Phosphorus (mg/l) | OD (420nm) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 5 | 0.043 |
| 10 | 0.087 |
| 15 | 0.123 |
| 20 | 0.159 |
| 25 | 0.192 |
| 30 | 0.238 |

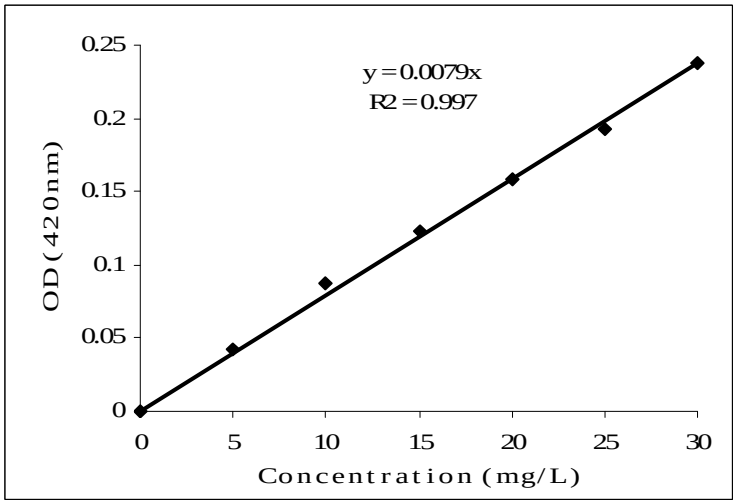


Figure 16. Standard curve of phosphorus

**3.3 โปแตสเซียม ($K_2O$)**

**อุปกรณ์**

1. บีกเกอร์ (beaker) สำหรับใส่สาร
2. เตาให้ความร้อน (hot plate)
3. ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. กรวยแก้ว (glass funnel)
5. ขวดรูปชมพู่ (erlenmayer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร

6. ปิเปต (pipette) ขนาด 1, 5 และ10 มิลลิลิตร

7. กระดาษกรองเบอร์ 42 (whatman paper 42)

9. หลอดทดลอง (test tube) ขนาด 10 มิลลิลิตร

10. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)

**สารเคมี**

1. กรดผสม เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด

2. กรดผสม 20 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยผสม 563 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นแล้วปรับให้ครบ 2 ลิตร

3. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดยละลาย KCl (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) 1.9067 กรัม ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร ค่อยๆเติมกรดไนตริกเข้มข้น 12 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80, และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรใน $HClO_4$ ร้อยละ 4 เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมความเข้มข้น 1,000 มิลลิลิตรต่อกรัม 0, 2, 4, 6, 8, และ 10 มิลลิลิตรใส่ในขวดปรับปริมาตร เติม $HClO_4$ ร้อยละ 20 ลงไป 20 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร

**วิธีการ**

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ใน erlenmayer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมกรดผสม $HNO_3/HClO_4$ 15 มิลลิลิตร แล้วทำเช่นเดียวกับข้อ 2-3 ของการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส

3. นำไปวัดการปลดปล่อยแสงด้วยเครื่อง flame photometer

4. เขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าที่อ่านได้กับความเข้มข้นของโพแทสเซียม โดยให้ค่าที่อ่านได้เป็นแกนตั้ง

**การคำนวณ**

ปริมาณโปแตสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) = (A-B) x 250/ (1,000 x W) x 2.291 x mof

โดยที่ A = ความเข้มข้นของโปแตสเซียมสารละลายตัวอย่างเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

B = ความเข้มข้นโปแตสเซียมของ blank เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

W = น้ำหนักตัวอย่าง

Mof = (100 + ความจุความชื้นในดิน) / 100

**4) เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน** (Goering and van Soest, 1970 อ้างโดย เผด็จ สังขไพฑูรย์, 2548)

**อุปกรณ์**

1. ครูซิเบิล (fritted glass crucible)
2. ตู้อบแห้ง (hot air oven)
3. เครื่องย่อยหาเยื่อใย (fiber extractor)
4. เครื่องชั่ง (digital analytical balance) 4 ตำแหน่ง
5. โถอบแห้ง (desiccator)
6. กระดาษกรองเบอร์ 4 (whatman paper 4)
7. เตาเผา (muffle furnace)
8. ชุดกรองสุญญากาศ (vacuum pump)

**สารเคมี**

1. สารละลาย neutral detergent (ND)

1.1 โซเดียมลอริลซัลเฟต (sodium lauryl sulfate)

1.2 ไดโซเดี่ยมเอทธิลีนไดอะมีนเตตระอะซีเตท (E.D.T.A.)

1.3 โซเดียมบอเรต (sodium borate)

1.4 โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (sodium hydrogen phosphate)

1.5 2- เอททอกซี่เอทานอล (2-ethoxyetanol)

1.6 น้ำกลั่น

ชั่ง E.D.T.A. 18.61 กรัมและโซเดียมบอเรต 6.81 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นพอประมาณ จากนั้นเติมโซเดียมลอริลซัลเฟต 30 กรัม และ2-เอททอกซี่เอทานอล 10 มิลลิลิตร

ชั่งโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 4.56 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายข้อ 1 แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

2. โซเดียมซัลไฟต์ (sodiumsulfide)

3. เดคาไฮโดรเนฟทาลีน (decahydronaphthalene)

4. อะซีโตน (acetone)

5. สารละลาย acid detergent (AD)

5.1 กรดซัลฟิวริคเข้มข้น

5.2 ซิติลไตรเมทซิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (cetyl trimethyl ammoniumbromide)

5.3 น้ำกลั่น

เตรียมกรดซัลฟิวริคความเข้มข้น 1 นอร์มอล จากนั้นเติมซิติลไตรเมทซิลแอมโมเนียมโบรไมด์ 20 กรัม เขย่าให้เข้ากัน

**วิธีการ**

การวิเคราะห์โดยอาศัยการละลายใน detergent ชนิดต่างๆ โดย neutral detergent จะละลายองค์ประกอบภายในเซลล์ (cell content) acid detergent จะละลายองค์ประกอบภายในเซลล์ (cell content) รวมทั้งเฮมิเซลลูโลส

1. นำครูซิเบิลที่ล้างสะอาดแล้วไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกไปไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งตัวอย่างแห้งบดละเอียด 20-30 mash ประมาณ 0.5-1.0 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ทรงสูงสำหรับวิเคราะห์เยื่อใยขนาด 600 มิลลิลิตร

3. เติมสารละลาย neutral detergent (ชั่ง E.D.T.A. 18.16 กรัม และ $Na_2B_4O_7.10H_2O$ 6.81 กรัมใส่บีกเกอร์เติมน้ำกลั่นที่ต้มร้อน 90-100 องศาเซลเซียส ลงไปพอประมาณ คนให้ทั่วจนละลายหมด นำมาผสมกับสารละลายของโซเดียมลอริลซัลเฟต 30 กรัม กับ 2-เอททอกซี่เอธานอล 10 มิลลิลิตร) 100 มิลลิลิตร $Na_2SO_4$ 0.5 กรัม และเดคาไฮโดรแนบทาลีน 2 มิลลิลิตร

4. นำบีกเกอร์ไปตั้งบนเครื่องหาเยื่อใย ต้มให้เดือด 60 นาที

5. นำบีกเกอร์ออกจากเครื่องย่อย ถ่ายสารละลายใส่ครูซิเบิลที่วางบนขวดกรองล้างตัวอย่าง ล้างด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 3-4 ครั้ง

6. ล้างตะกอนด้วยอะซิโตน 2 ครั้ง

7. นำครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง

8. นำครูซิเบิลออกใส่ในโถดูดความชื้น จนกระทั่งเย็นชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือ ผนังเซลล์

9. นำครูซิเบิลที่ล้างสะอาดแล้วไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

10. นำตัวอย่างทั้งหมดจากการวิเคราะห์ผนังเซลล์ ถ่ายลงในบีกเกอร์สำหรับวิเคราะห์เยื่อใยขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารละลาย acid detergent (กรดซัลฟูริคเข้มข้น 49.01 กรัม ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร จากนั้นเติมซิติลไตรเมทซิลแอมโมเนียมโบรไมด์ 20 กรัม) 100 มิลลิลิตร นำไปตั้งบนเครื่องย่อยหาเยื่อใย ต้มให้เดือดแล้ว ย่อยต่อไปอีก 60 นาที นับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด

11. นำบีกเกอร์ออกจากเครื่องย่อย ถ่ายสารละลายใส่ในครูซิเบิลที่วางบนขวดกรอง ล้างตัวอย่างส่วนที่เหลือติดในบีกเกอร์ลงในครูซิเบิลให้หมดด้วยน้ำร้อน จากนั้นใช้น้ำร้อนล้างตะกอนในครูซิเบิลอีก 3-4 ครั้ง

12. ล้างตะกอนด้วยอะซิโตน 2 ครั้ง หรือจนกระทั่งสารละลายที่ไหลออกจากครูซิเบิลไม่มีสี

13. นำครูซิเบิลไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมงหรือจนกว่าค่าจะคงที่

14. นำครูซิเบิลออกจากโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่หายไปจากครูซิเบิลคือ เฮมิเซลลูโลส

15. นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ลิกนินต่อ โดยการเติมซัลฟูริกเข้มข้น 72 เปอร์เซ็นต์ ลงไปประมาณครึ่งหนึ่งของครูซิเบิล ใช้แท่งแก้วคนให้ทั่ว

16. เมื่อครบ 3 ชั่วโมงกรองกรดออก ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด

17. นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมงหรือจนกว่าค่าจะคงที่

18. นำครูซิเบิลออกจากโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างที่หายไปคือ เซลลูโลส

19. นำตัวอย่างไปเผาที่ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เอาออกจากโถอบแห้งทิ้งไว้ให้เย็นชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่หายไปคือ ลิกนิน

**การคำนวณ**

เปอร์เซ็นต์เฮมิเซลลูโลส = (น้ำหนักหลังย่อยด้วย ND – น้ำหนักหลังย่อยด้วย AD X 100) / น้ำหนักตัวอย่าง

เปอร์เซ็นต์เซลลูโลส = (น้ำหนักหลังย่อยด้วย AD – น้ำหนักหลังย่อยด้วย $H_2SO_4$ X 100) / น้ำหนักตัวอย่าง

เปอร์เซ็นต์ลิกนิน = (น้ำหนักเยื่อใยหลังอบจากการย่อยด้วย $H_2SO_4$ – น้ำหนักเยื่อใยหลังเผา X 100) / น้ำหนักตัวอย่าง

**5) กิจกรรมของเอนไซม์ CMCase** (Sornyotha *et al.*, 2003)

**อุปกรณ์**

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
2. อ่างทำน้ำร้อน (water bath)
3. หลอดทดลอง (test tube) ขนาด 8 มิลลิลิตร
4. ปิเปต (pipette) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร

**สารเคมี**

1. carboxymethyl cellulose
2. citrate buffer พีเอช 4.8

**วิธีการ**

นำ crude enzyme 0.125 มิลลิลิตร บ่มกับ 0.125 มิลลิลิตร ของ carboxymethyl cellulose (CMC) ร้อยละ 1 ที่ละลายใน citrate buffer 0.05 โมลาร์ พีเอช 4.8 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วตรวจหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น โดยวิธีของ DNS method ซึ่งใช้ไซโลสเป็นน้ำตาลมาตรฐาน

1 ยูนิตของคาร์บอกซีเมททิลเซลลูเลส หมายถึง ปริมาณเอนไซม์ที่ย่อย CMC ให้น้ำตาลกลูโคส 1 ไมโครโมล ในเวลา 1 นาที ภายใต้สภาวะที่ทำการทดสอบ

$$\text{ยูนิต/มิลลิลิตร} = \frac{\text{มิลลิลิตรของกลูโคส x 1,000 x จำนวนเท่าการเจือจางตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลกลูโคส x ระยะเวลาการบ่ม x ปริมาตรตัวอย่าง}}$$

(กรัม/โมล) (นาที) (มิลลิลิตร)

$$\text{ยูนิต/กรัม} = \frac{\text{ยูนิต/มิลลิลิตร (ปริมาณน้ำที่ใช้สกัด + ปริมาณน้ำที่เหลือจากการเลี้ยงเชื้อ)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้สกัด (กรัม)}}$$

(มิลลิลิตร) (มิลลิลิตร)

การคำนวณปริมาณน้ำที่เหลือจากการเลี้ยงเชื้อ สมมุติตัวอย่างที่เก็บมีความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าตัวอย่าง 100 กรัมมีความชื้นอยู่ 50 มิลลิลิตร ในการวิเคราะห์นำตัวอย่าง 10 กรัม เพราะฉะนั้นจะมีความชื้นอยู่ 5 มิลลิลิตร

**6) กิจกรรมของเอนไซม์ไซลาเนส** (Sornyotha *et al.*, 2003)

**อุปกรณ์**

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
2. อ่างทำน้ำร้อน (water bath)
3. หลอดทดลอง (test tube) ขนาด 8 มิลลิลิตร
4. ปิเปต (pipette) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร

**สารเคมี**

1. oats spelt xylan
2. citrate buffer พีเอช 4.8

**วิธีการ**

นำ crude enzyme 0.125 มิลลิลิตร บ่มกับ 0.125 มิลลิลิตร ของ oats spelt xylan ร้อยละ 1 ที่ละลายใน citrate buffer 0.05 โมลาร์ พีเอช 4.8 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วตรวจหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น โดยวิธีของ DNS method ซึ่งใช้ไซโลส เป็นน้ำตาลมาตรฐาน โดยคำนวณเช่นเดียวกับ CMCase แต่ใช้น้ำหนักโมเลกุลไซโลสแทนกลูโคส

1 ยูนิตของไซลาเนส หมายถึง ปริมาณเอนไซม์ที่ย่อย oats spelt xylan ให้น้ำตาลไซโลส 1 ไมโครโมล ในเวลา 1 นาที ภายใต้สภาวะที่ทำการทดสอบ

**7) กิจกรรมของเอนไซม์ลิกนิเนส** ( Buswell *et al.,* 1995 อ้างโดยโสภาวรรณ รัตนพันธุ์, 2546)

**อุปกรณ์**

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
2. อ่างทำน้ำร้อน (water bath)
3. หลอดทดลอง (test tube) ขนาด 8 มิลลิลิตร
4. ปิเปต (pipette) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร

**สารเคมี**

1. veratryl alcohol 10 มิลลิโมลาร์
2. *D*-tartaric acid buffer พีเอช 3.0
3. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) 0.5 มิลลิโมลาร์

**วิธีการ**

นำสารละลาย veratryl alcohol 10 มิลลิโมลาร์ 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับ *D*-tartaric acid บัฟเฟอร์ 0.25 โมลาร์ พีเอช 3 0.5 มิลลิลิตร เอนไซม์ 0.5 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 0.75

มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายของ veratryl alcohol เป็น 2 มิลลิโมลาร์ *D*-tartaric acid บัฟเฟอร์ 0.05 โมลาร์ และเริ่มปฏิกิริยาโดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 มิลลิโมลาร์ 0.25 มิลลิลิตร (ทันทีก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสง) ปริมาตรรวม 2.5 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงทันทีที่ความยาวคลื่น 310 นาโนเมตร นาน 1 นาที นำค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นภายใน 1 นาทีคำนวณค่ากิจกรรมของเอนไซม์ เมื่อคำนวณให้อยู่ในรูปยูนิต/กรัม คำนวณเช่นเดียวกับไซลาเนสและ CMCase โดยคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้สกัด และปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในตัวอย่าง

กิจกรรมของเอนไซม์ LiP (ยูนิต/มิลลิลิตร) = $(\Delta A/min \times 2.5 \times 10^6 \times D)/\varepsilon_{31}$

$\Delta A/min$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นภายในเวลา 1 นาที

D คือ ค่าการเจือจางตัวอย่างเอนไซม์

$\varepsilon_{310}$ ของ veratryldehyde เท่ากับ 9300 $mol^{-1}cm^{-1}$

1 ยูนิต หมายถึง ปริมาณเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาย่อยสลายสับสเตรตเกิดผลิตภัณฑ์ veratryldehyde 1 ไมโครโมล ภายในเวลา 1 นาที

**8) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS reagent** (Miller, 1959)

**อุปกรณ์**

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer**)**
2. อ่างทำน้ำร้อน (water bath)
3. หลอดทดลอง (test tube) ขนาด 8 มิลลิลิตร
4. ปิเปต (pipette) ขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร

**สารเคมี**

1. 3,5-dinitrosalicylic acid
2. sodiumhydroxide
3. sodium potassium tartrate

**DNS (3,5- dinitrosalicylic acid) reagent** ชั่งสาร 3,5-dinitrosalicylic acid 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันบน hot plate เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอก

ไซม์ (32 กรัม ในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร) ผสมให้เข้ากันแล้วค่อยๆเติม sodium potassium tartrate 600 กรัม ปรับปริมาตรให้ครบ 2,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ใส่ในขวดสีชา ในอุณหภูมิห้อง

**วิธีการ**

ปิเปตสารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติมด้วย DNS (3, 5-dinitrosalicylic acid) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ทำให้เย็นทันทีเพื่อหยุดปฏิกิริยา นาน 10 นาที แล้วจึงเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 550 นาโนเมตร ในการทดลองชุดควบคุมใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์เช่นเดียวกัน เปรียบเทียบจากกราฟมาตรฐาน

**สารละลายมาตรฐานน้ำตาลกลูโคสหรือไซโลส**

เตรียมสารละลายมาตรฐานน้ำตาลกลูโคสหรือไซโลส 1.0 กรัมต่อลิตร โดยการชั่งน้ำตาลกลูโคสหรือไซโลสที่อบแห้งแล้วปริมาณ 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เจือจางสารละลายที่ได้ให้มีความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 กรัมต่อลิตร

Table 19. Absorption (550 nm) of glucose and xylose at different concentrations

| **Concentration (g/l)** | **OD (550 nm)** | |
|---|---|---|
| | **Glucose** | **Xylose** |
| 0 | 0 | 0 |
| 0.1 | 0.038 | 0.033 |
| 0.2 | 0.076 | 0.078 |
| 0.3 | 0.118 | 0.121 |
| 0.4 | 0.165 | 0.172 |
| 0.5 | 0.238 | 0.242 |
| 0.6 | 0.282 | 0.306 |

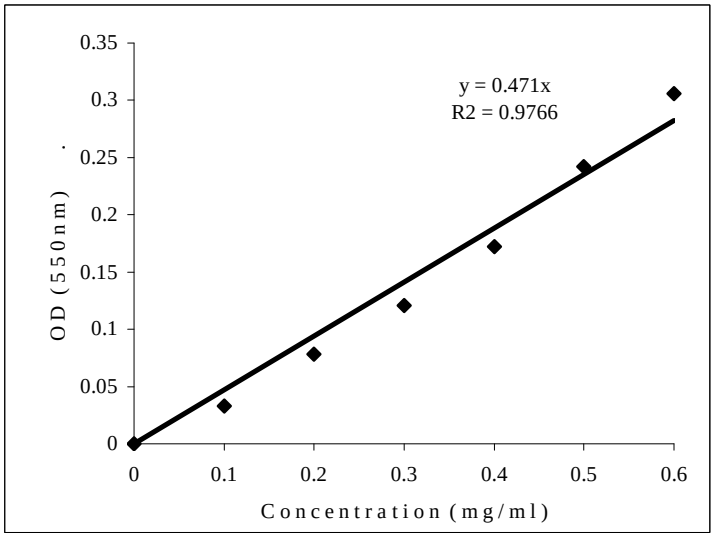


Figure 17. Standard curve of xylose

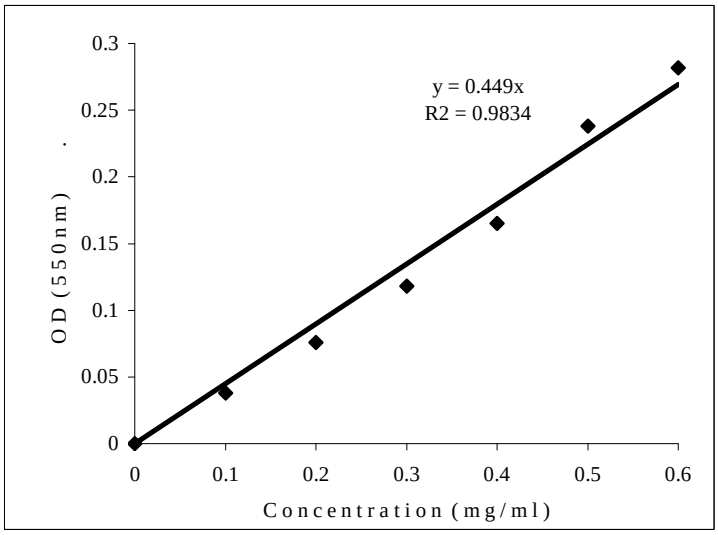


Figure 18. Standard curve of glucose

**9) COD (chemical oxygen demand)** (APHA, AWWA and WEF, 1998)

**อุปกรณ์**

1. ชุดวิเคราะห์ซีโอดี
2. บิลเลต (burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ปิเปต (pipette) ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
4. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร

**สารเคมี**

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.025 นอร์มอล

ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมงจำนวน 12.259 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นเติมกรดซัลฟามิก ($NH_2HO_3H$) 0.12 กรัม แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

2. sulfuric acid reagent

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต ($Ag_2SO_4$) 22 กรัม ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นในขวดขนาด 1 ปอนด์ (2.65 ลิตร) เนื่องจากซิลเวอร์ซัลเฟตละลายยากมาก อาจต้องใช้เวลา 1-2 วันจึงจะละลายหมด

3. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

3.1 การเตรียมสารละลาย

สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต [$Fe(NH_4)_2$ $(SO_4)_2.6H_2O$] จำนวน 39 กรัม ในน้ำกลั่นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรโดยใช้น้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

3.2 การหาความเข้มข้นของสารละลาย

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต (0.25 นอร์มอล) จำนวน 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติม sulfuric acid reagent 30 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น ไทรเตรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เติมเฟอร์โรอิน 2-3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์

ความเข้มข้นนอร์มอล = ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (มิลลิลิตร) x 0.25 / ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

4. สารละลายเฟอร์โรอิน

ละลาย 1-10 ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_8N_2.H_2O$) จำนวน 1.485 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$) จำนวน 0.695 กรัม เติมน้ำจนปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

5. ซิลเวอร์ซัลเฟต ($Ag_2SO_4$) ชนิดผง

6. เมอร์คิวรีซัลเฟต ($HgSO_4$) ชนิดผลึกหรือผง ใช้เป็นตัวกำจัดอนุภาคคลอไร ($Cl^-$)

7. กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) ใช้ในกรณีที่กำจัดไนไตรท์เท่านั้น

**วิธีการ**

1. ใส่ $HgSO_4$ ประมาณ 0.4 กรัม ลงในขวดรีฟลักซ์พร้อมด้วย glass bead 2-3 เม็ด จากนั้นเติมตัวอย่างน้ำที่ได้หาปริมาณที่เหมาะสมแล้วลงในขวด ปิเปตสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ 10 มิลลิลิตร เติมลงไปเขย่าให้เข้ากัน

2. ค่อย ๆ เติม กรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ผสม $AgSO_4$ ลงไป 30 มิลลิลิตร (ไม่ต้องเขย่า)

3. นำขวดรีฟลักซ์นี้ไปต่อกับเครื่องควบแน่น ค่อยๆหมุนขวดให้ส่วนผสมเข้ากันดีก่อนแล้วจึงทำการรีฟลักซ์หรือต้มให้เดือดเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเครื่องควบแน่นก่อนที่จะถอดขวดรีฟลักซ์ออกไปไทเทรต

4. ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่น 20 มล. และน้ำยาเคมีต่าง ๆ เหมือนที่ใช้วิเคราะห์น้ำตัวอย่าง แล้วทำการรีฟลักซ์ไปพร้อมกับตัวอย่าง

5. ไทเทรตหาปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือหรือมาเกินพอด้วยสารละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ โดยใช้สารละลาย ferroin เป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยดจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ อ่านปริมาตรที่ไทเทรตตอนเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดงทันที

**วิธีการคำนวณ**

ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร) = (A-B) x N x 8 x 1,000 / ปริมาณตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

โดยที่ A = ปริมาณสารละลายฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตรเตรต blank

B = ปริมาณสารละลายฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตรเตรตตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของสารละลายฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (นอร์มอล)

**10) ของแข็งทั้งหมด (total solid; TS)**

**อุปกรณ์**

1. เครื่องชั่ง (digital analytical balance) 4 ตำแหน่ง
2. ถ้วยกระเบื้องสำหรับระเหย (crucible)

3. เตาอบ (hot air oven)

4. โถดูดความชื้น (desiccator)

5. อ่างทำน้ำร้อน (water bath)

**วิธีการ**

นำตัวอย่างน้ำทิ้ง 20 มิลลิลิตร ใส่ถ้วยกระเบื้องสำหรับระเหยที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำถ้วยไประเหยให้แห้งใน water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นอบถ้วยให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 45 นาที แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (APHA, AWWA and WEF. 1998)

**วิธีการคำนวณ**

ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) = น้ำหนักของแข็ง (มิลลิกรัม) x 1,000 / ตัวอย่างมิลลิลิตร)

**11) ไขมัน (ether extract)**

**อุปกรณ์**

1. เครื่องชั่ง (digital analytical balance) 4 ตำแหน่ง

2. ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus)

3. เตาอบ (hot air oven)

4. โถดูดความชื้น (desiccator)

**สารเคมี**

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether)

**วิธีการ**

1. อบขวดก้นกลมที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นนำไปชั่งบนเครื่องชั่งละเอียดจดบันทึกน้ำหนักไว้

2. นำตัวอย่างที่บดละเอียด และอบให้แห้งแล้วประมาณ 2 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ลงในทิมเบิล (trimble)

3. สกัดไขมันด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ติดต่อกันนานอย่างน้อย 4 ชั่วโมง

4. เมื่อหยุดสกัดแล้ว นำขวดก้นกลมไปแช่ในอ่างน้ำร้อนเพื่อระเหยอีเทอร์ออกไปจนหมด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิเกเตอร์ แล้วนำไปชั่งบนเครื่องชั่งละเอียด จดบันทึกน้ำหนักอีกครั้ง

5. คำนวณปริมาณไขมันในตัวอย่าง

**วิธีคำนวณ**

เปอร์เซ็นต์ไขมัน = น้ำหนักขวดหลังสกัดไขมัน – น้ำหนักขวดก่อนสกัด X 100 / น้ำหนักตัวอย่าง

**12) คาร์บอนทั้งหมด (TOC)**

**อุปกรณ์**

1. เครื่องชั่ง (digital analytical balance) 4 ตำแหน่ง
2. เตาเผา (muffle furnace)
3. ตู้อบความชื้น (hot air oven)
4. โถดูดความชื้น (desiccator)
5. ถ้วยเผา (Porcelain crucible)
6. เตาให้ความร้อน (hot plate)

**วิธีการ**

นำตัวอย่างเข้าอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืนหลังจากนั้นนำไปทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องสำหรับเผาที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน นำตัวอย่างมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ organic matter เพื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ organic carbon (Yeser *et al*., 2007)

**วิธีคำนวณ**

%OM = 100 - ash (%)

%TOC = organic matter (%) / 1.8

**13) Agar well diffusion assay**

**อุปกรณ์**

1. ตู้เขี่ยเชื้อ (laminar air flow)
2. กล้องจุลทรรศน์ (Optical microscopes)
3. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (vernier calipers)
4. คอร์กบอเลอร์ (cork borer) ขนาด 10 มิลลิเมตร

**วิธีการ**

เลี้ยงเชื้อราโรคพืชบนอาหาร PDA นาน 2 วัน นำไปทำ spore suspension ความเข้มข้น $10^4$ spore/ml ดูดตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร เพื่อนำไป spread plates จนวุ้นแห้ง เจาะหลุมจำนวน

4 หลุมต่อเพลต หยดตัวอย่างที่ละลายใน DMSO 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 50 ไมโครลิตร บ่มไว้ 24-48 ชั่วโมง วัดขนาดวงใส (Guven *et al.*, 2005)

**วิธีคำนวณ**

ขนาดวงใสการยับยั้ง (มิลลิเมตร) = ความกว้างผ่านเส้นผ่าศูนย์กลาง - ขนาดคอร์กบอเลอร์

# ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ สกุล** นายวีรยุทธ์ จวนซ้าย

**รหัสประจำตัวนักศึกษา** 5111020022

**วุฒิการศึกษา**

| วุฒิ | ชื่อสถาบัน | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
|---|---|---|
| วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับ 2 | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย | 2549 |

**ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)**

- ทุนทักษะนักอุตสาหกรรมเกษตรจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ร่วมกับคณะอุตสาหกรรมเกษตร ปีการศึกษา 2551

**การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน**

Juansai, W. and Prasertsan, P. 2010. Comparison on composting from different types of palm oil mill wastes. The 22nd Annual Meeting of the Thai Society of Biotechnology (TSB2010); Biotechnology for Healthy Living, Prince of Songkla University, Trang, Thailand. 20-22 October 2010. pp. 937.