บทที่ 2
ทฤษฎีและสรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การหมักปุ๋ยเป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ภายใต้สภาวะที่ควบคุมให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์มากที่สุด จนกระทั่งได้สารอินทรีย์วัตถุที่มีความคงตัว สีน้ำตาลปนดำไม่มีกลิ่น มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรกรรมได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง "ปุ๋ยที่ได้จากซากพืชและซากสัตว์" ปุ๋ยอินทรีย์ตามความหมายในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 หมายถึง "ปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่นๆ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี" ส่วนความหมายทางวิชาการด้านปฐพีวิทยา ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง "ปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์สารที่ผลิตขึ้นโดยกรรมวิธีต่างๆ ไม่ว่าจะทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร่อน และก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อพืชจะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางชีวภาพก่อน" (ยสิศร์ อินทรสถิตย์ และวรรณกรณ์ อินทรสถิตย์, 2548)

2.1 ประเภทของการหมัก

การหมักแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.1.1 การหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจน

เป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ในสภาพที่มีออกซิเจนโดยสามารถแสดงปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ดังสมการที่ 1

$$Organic\ matter + O_2 + Nutrients \rightarrow CO_2 + SO_2 + \text{Resistance organic matter} + \text{New cells} + Heat \quad \text{.....(1)}$$

จากสมการที่ 1 พบว่าจุลินทรีย์จะใช้ ออกซิเจน และแร่ธาตุ (Nutrients) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Organic matter) โดยผลลัพธ์ที่ได้ คือ ปุ๋ยหมัก พลังงานความร้อน ก๊าซ CO_2, SO_2 และพลังงานความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 **การหมักปุ๋ยแบบไม่ใช้ออกซิเจน**

เป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุในสภาพที่ปราศจากออกซิเจนโดยสามารถแสดงปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ดังสมการที่ 2

$$\text{Organic matter} + H_2O + \text{Nutrients} \rightarrow CH_4 + CO_2 + NH_3 + \text{Resistance organic matter} + \text{New cell} + \text{Heat} \quad \text{.....(2)}$$

การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน โดยมีผลิตภัณฑ์เป็น ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำๆ เช่น กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ เป็นต้น ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันระหว่างการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนกับการหมักแบบใช้ออกซิเจนพบว่า การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้พลังงานต่อหน่วยน้ำหนักของสารอินทรีย์น้อยกว่า และมีกลิ่นเหม็นเนื่องจากสารอินทรีย์มวลโมเลกุลต่ำชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้น

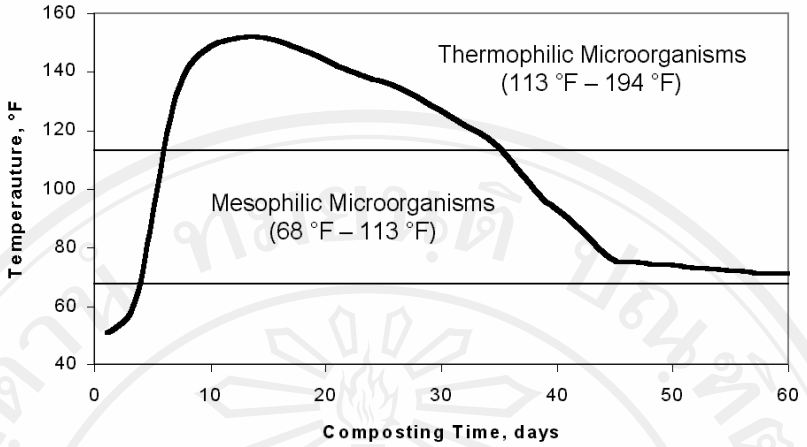
2.2 **กระบวนการหมักหรือย่อยสลายสารอินทรีย์**

กระบวนการหมักเป็นกระบวนการเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายเศษซากอินทรีย์สารต่างๆ โดยที่กระบวนการการย่อยสลายเกิดจากองค์ประกอบหลักๆด้วยกัน 2 ส่วนคือ จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

2.2.1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง

ในกระบวนการหมัก จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ความร้อน และฮิวมัส (ผลิตภัณฑ์สารอินทรีย์ขั้นสุดท้ายค่อนข้างมีเสถียรภาพ) เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยกับเวลาในการหมัก สามารถจำแนกกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ออกเป็น 4 ระยะด้วยกันดังนี้ (รูปที่ 2.1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาของการหมัก

ที่มา : Fogiel (2003)

ระยะที่ 1 ระยะปรับตัว (Latent phase)

เป็นระยะเริ่มต้นของกระบวนการหมัก กล่าวคือ เมื่อนำวัสดุหมักมากองรวมกันต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งสำหรับจุลินทรีย์ในการปรับตัวให้เข้ากับอาหารแล้วจึงแบ่งตัวเพิ่มจำนวน โดยในช่วงนี้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ระยะที่ 2 ระยะเมโซฟิลิค (Mesophilic phase) หรือระยะอุณหภูมิปานกลาง

ในช่วงนี้จุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น และทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นในกองหมัก อุณหภูมิในกองหมักจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งอยู่ในช่วงเมโซฟิลิค คือประมาณ 25-40 °ซ จุลินทรีย์หลักที่จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในช่วงนี้ คือจุลินทรีย์ในกลุ่มเมโซฟิลิค (Mesophilic bacteria) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลาย ได้แก่ กรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ และจะส่งผลให้ค่าพีเอชของกองวัสดุหมักมีค่าลดลง

ระยะที่ 3 ระยะเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic phase) หรือระยะอุณหภูมิสูง

อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะสูงขึ้นเรื่อยๆจนมีค่าสูงกว่า 40 °ซ จุลินทรีย์ในกลุ่มเมโซฟิลิคจะค่อยๆ ตายลง จนกระทั่งอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยมีค่าสูงถึงประมาณ 50-65 °ซ โดยที่การย่อยสลายสารอินทรีย์ในช่วงนี้จะเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic bacteria) เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายหมด อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยก็จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆ

ระยะที่ 4 ระยะได้ที่ (Maturation phase)

เมื่ออุณหภูมิของกองหมักลดลงมาอยู่ในช่วง 25-30 °ซ จุลินทรีย์พวกเมโซฟิลิคเริ่มกลับเข้ามามีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์อีกครั้ง โดยจุลินทรีย์พวกนี้มาจาก สปอร์จุลินทรีย์ที่ทนความร้อน (Heat resistance spore) หรืออาจมาจากบรรยากาศภายนอกกองหมักก็ได้ อุณหภูมิของกอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หมักจะลดลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศโดยรอบ (Ambient air temperature) ในระยะนี้สารอินทรีย์โครงสร้างซับซ้อนเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการ ฮิวมิฟิเกชั่น (Humification) ไปเป็นฮิวมิกคอลลอยด์ (Humic colloid) และเป็นฮิวมัสในที่สุด

นอกจากนี้ในระยะนี้ยังเกิดปฏิกิริยา ไนตริฟิเกชั่น (Nitrification) ซึ่งเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท และไนเตรทด้วย จากนี้ประชากรรุ่นที่ 2 และ 3 (Second and third – level consumer) เช่น โปรโตซัว และ บีทเทิล (Beetles) เริ่มเจริญเติบโตขึ้น โดยใช้ประชากรรุ่นแรก เช่น แบคทีเรีย ฟังไจ และแอคติโนมัยซีสเป็นอาหาร

หลังจากหมักวัสดุจนได้ที่แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นปุ๋ยหมัก ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ย หรือวัสดุปรับปรุงดิน (Soil conditioner) โดยปุ๋ยหมักที่ได้นี้ประกอบด้วย ฮิวมัส สารอินทรีย์อื่นๆ พร้อมทั้งโปรโตพลาสซึ่มของจุลินทรีย์ ซึ่งประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลัก (N, P, K) และจุลธาตุอาหารต่างๆ (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl) ซึ่งหลังจากการสลายตัวแล้วถูกปลดปล่อยออกมาให้แก่ดินและพืชต่อไป

ประเภทของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมัก

การหมักถือเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่อาศัยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ จุลินทรีย์ชนิดต่างๆที่มีความสำคัญในการหมักได้แก่

ก.รา (Fungi)

ราหรือฟังไจเป็นจุลินทรีย์ที่จัดอยู่ในพวกยูคาริโอติกเซลที่ใช้สารอินทรีย์เป็นอาหาร (Organoheterotrophic eucaryotic cell) แบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ โมลด์ (Mold) และยีสต์ (Yeast) โดยโมลด์เป็นจุลินทรีย์แบบแอโรบิก และมีโครงสร้างเป็นเส้นใย ในขณะที่ยีสต์พบได้ทั้งชนิดที่เป็นแอโรบิกและแอนแอโรบิกและมีโครงสร้างเป็นเซลเดียว

ฟังไจและแบคทีเรียมีข้อแตกต่างกันคือ ฟังไจเจริญเติบโตได้ในสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นต่ำและมีช่วงพีเอชที่กว้างกว่า ต้องการไนโตรเจนในการเจริญเติบโตน้อยกว่า ดังนั้นจึงย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนมากกว่า ฟังไจสร้างสปอร์ในการสืบพันธุ์ ในขณะที่แบคทีเรียสร้างสปอร์สำหรับการดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

ฟังไจตรวจพบเสมอในกองปุ๋ยหมัก โดยชนิดและปริมาณขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ วัสดุที่นำมาหมัก ความชื้น พีเอช และอุณหภูมิ ในช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในกองหมัก โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 °ซ ฟังไจในกองหมักตายลงเกือบหมดแต่แบคทีเรียบางชนิดยังมีชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นในช่วงที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 °ซ ฟังไจจึงเจริญอยู่ที่บริเวณผิวนอกของกองหมักซึ่งมีความชื้นและอุณหภูมิต่ำกว่าภายในกองหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟังไจที่ตรวจพบได้ในการทำปุ๋ยหมัก ได้แก่ ฟังไจพวก *Geotrichum candidum, Aspergillus fumigatus, Cladosporium sp., Aspergillus sp., Mucor sp.* เป็นต้น

ข. แอคติโนมัยซิส (Actinomycetes)

แอคติโนมัยซีสมีลักษณะอยู่ระหว่างฟังไจและแบคทีเรีย คือ มีโครงสร้างเป็นเส้นใยคล้ายกับฟังไจ แต่จัดเป็นจุลินทรีย์พวกโปรคาริโอติกเซลเช่นเดียวกับแบคทีเรีย เจริญได้ดีในอาหารจำพวกสารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น เซลลูโลส ไคติน โปรตีน แวกซ์ โดยมักเจริญเติบโตอยู่ที่ผิววัสดุ แต่เจริญเติบโตได้ไม่ดีเมื่อมีการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ และไม่สามารถแข่งขันกับฟังไจและแบคทีเรียในสภาพที่มีอาหารเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามแอคติโนมัยซิสสามารถมีชีวิตอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าฟังไจ

แอคติโนมัยซิสที่สามารถตรวจพบได้ระหว่างการหมัก ได้แก่ *Streptomyces, Micromonospora* (Gray et al., 1971a) *หรือ Thermoactinomyces, Thermomonospora* (Finstein and Morris, 1975)

ค. แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ประเภทโปรคาริโอติกเซลที่พบกระจายอยู่ทั่วไปในดิน น้ำ อากาศ แต่ส่วนมากพบในน้ำ และดินที่มีความชื้นสูง แบคทีเรียแตกต่างกับฟังไจและแอคติโนมัยซีส คือ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทุกช่วงของการหมัก

ชนิดของแบคทีเรียที่ตรวจพบในระหว่างการหมักเป็นกลุ่มเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียทั้งพวกที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Heterotrophic) และพวกที่ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Autotrophic) เจริญเติบโตอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 60 – 80 °ซ ในระหว่างการหมัก ชนิดของแบคทีเรียที่พบได้แก่ Thermus *(T. thermophilus, T. aquaticus)*, *Bacillus schlegelii*, *Hydrogenobacter spp*., และ *Heterotrophic Sporeforming Bacilli* แต่ในช่วงที่อุณหภูมิของกองหมักลดลงหรือช่วงระยะได้ที่ ตรวจพบเมโซฟิลิคแบคทีเรียได้หลายชนิดคือ Nitrogen-Fixers, Sulfur-Oxidizers, Hydrogen-Oxidizer, Nitrifiers, and Producers of Extracellular Polysaccharides หรือ Bacterial Humin (Beffa et al., 1996)

ง. โปรโตซัว (Protozao)

โปรโตซัว เป็นสัตว์เซลเดียวที่มีขนาดเล็ก พบมากในน้ำปุ๋ยหมัก มีบทบาทน้อยในการย่อยสลายเศษซากสารอินทรีย์ เจริญอยู่ได้โดยอาศัยการย่อยแบคทีเรียและเชื้อราที่ตายแล้ว

2.2.2 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะมีผลให้อัตราเร็วในการย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าสูง สามารถจำแนกปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ก) ปัจจัยด้านกายภาพ

- **ความชื้น**

ความชื้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการหมัก 2 ประการคือ ใช้ในการละลายสารอาหารและเกลือแร่ต่างๆ ที่จำเป็นในการดำรงชีพ และเป็นตัวชี้ว่าการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนสามารถเกิดขึ้นในกองหมักได้หรือไม่ ซึ่งข้อจำกัดของความชื้นในการหมักคือการที่มีความชื้นต่ำหรือสูงเกินไป ถ้าหากความชื้นภายในกองปุ๋ยมีความเหมาะสมไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป การถ่ายเทออกซิเจนก็จะเกิดได้ดีจุลิน-ทรีย์สามารถนำออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี มีผลให้อัตราเร็วในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักก็จะสูง ถ้าความชื้นภายในกองมีค่าสูงเกินไปจะมีผลทำให้การถ่ายเทอากาศเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากช่องว่างระหว่างวัสดุหมักลดลง ทำให้เกิดสภาพไร้อากาศ ในขณะที่ถ้าหากความชื้นในกองหมักมีค่าต่ำเกินไปจะมีผลให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียเกิดขึ้นน้อยโดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิของกองหมักมีค่าสูง (Miller, 1992)

ค่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการหมักมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 70 – 80 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 60) และควรควบคุมให้ความชื้นมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมดังกล่าวตลอดการหมักจนถึงช่วงที่อุณหภูมิของกองหมักเริ่มลดลง (Polprasert, 1989)

อัตราการถ่ายเทธาตุอาหาร และการถ่ายเทของเสียจะเกิดขึ้นสูงที่สุดในสภาพแวดล้อมที่เป็นของเหลว และจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในการหมักที่ธาตุอาหารมีลักษณะเป็นของแข็ง โดยที่ความชื้นจะถูกจำกัดโดยความสามารถในการถ่ายเทอากาศของวัสดุหมัก โดยปกติค่าความชื้นเริ่มต้นที่ใช้ในการหมักมีค่าประมาณร้อยละ 55 – 65 ในขณะที่ความชื้นที่ต่ำที่สุดที่จะยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์คือประมาณร้อยละ 30-35 โดยสรุปแล้วพบว่าความชื้นมีผลกระทบกับการหมักในด้าน การถ่ายเทอากาศและกิจกรรมของจุลินทรีย์ การที่จะควบคุมการหมักให้ได้ผลดีที่สุดจะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง การเติมอากาศ อุณหภูมิ และความชื้น ประกอบเข้าด้วยกัน (Stentiford, 1996)

- **อุณหภูมิ**

ความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักมีความสำคัญในด้านการเพิ่มอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ การฆ่าเชื้อโรคในกองหมัก และมีผลต่อชนิดของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในระหว่างการหมักโดยทั่วไปอุณหภูมิที่สูงกว่า 60-65 °ซ หรือสูงกว่าช่วงเทอร์โมฟิลิค มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทางชีวภาพลดลง และจากการศึกษาโดยใช้ตัวอย่างปุ๋ยหมักจากโรงงานหมักปุ๋ยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการหมักมีค่าต่ำกว่า 55 °ซ ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคถูกทำให้ตายลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 50 °ซ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิในการหมักจึงมีวัตถุประสงค์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ และฆ่าเชื้อโรคอย่างเหมาะสม โดยที่การควบคุมอุณหภูมิในกองหมักสามารถทำได้โดยการปรับค่าความชื้น และการเติมอากาศรวมทั้งการใช้วัสดุที่เป็นฉนวนคลุมที่ผิวของกองหมัก (Polprasert, 1989)

อุณหภูมิในกองหมักเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพ การควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการหมักมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี ปราศจากเชื้อโรคไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ เพราะที่อุณหภูมิสูงจะสามารถฆ่าเชื้อโรคในกองหมักได้ (Stentiford, 1996) โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับวัตถุประสงค์ต่างๆสามารถจำแนกได้ดังนี้คือ

- อุณหภูมิ > 55 °ซ ได้ปุ๋ยหมักที่ปลอดภัยที่สุด สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เกือบทุกชนิด
- อุณหภูมิ 45-55 °ซ ที่อุณหภูมินี้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จะมีค่าสูงที่สุด
- อุณหภูมิ 35-40 °ซ ที่อุณหภูมินี้จุลินทรีย์หลายชนิดจะสามารถเจริญเติบโตได้

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกระบวนการหมักโดยอุณหภูมิเป็นผลที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ อุณหภูมิสูงภายในกองหมักเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ภายในกองหมักและกำหนดอัตราเร็วในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์มักจะหยุดกิจกรรมต่างๆ เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมและจะตายลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าช่วงที่เหมาะสม ยกเว้นจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ในการดำรงชีพ (Miller, 1992)

- **การระบายอากาศ หรือการเติมอากาศ**

การเติมอากาศมีความสำคัญ 3 ประการคือ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจน ให้เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อกำจัดน้ำออกจากสารอาหารที่มีความชื้นมากเกินไป และเพื่อควบคุมอุณหภูมิของกองหมักให้เหมาะสม (Haug, 1993)

การเติมอากาศที่เพียงพอเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในระหว่างการหมักเพื่อเติมออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์ และเพื่อระบายของเสียจำพวกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่เกิดขึ้น ถ้ามีการเติมอากาศที่ไม่เพียงพอจะทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนมีผลให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าลดลง และเกิดกลิ่นเหม็นขึ้นภายในกองหมัก ในทางตรงข้ามถ้ามีการเติมอากาศมากเกินไปจะมีผลทำให้กองหมักมีอุณหภูมิและความชื้นต่ำเกินไป อย่างไรก็ตามการเติมอากาศในปริมาณมากมีข้อดีในกรณีที่ของเสียที่นำมาใช้ในการหมักมีปริมาณความชื้นสูง หรือต้องการควบคุมอุณหภูมิของกองหมักให้เหมาะสมกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ของฟังไจ (Gray et al., 1971b)

การเพิ่มอุณหภูมิของกองหมัก และการย่อยสลายจะถูกยับยั้งโดยสภาพการขาดแคลนออกซิเจน ซึ่งสภาพไร้ออกซิเจนมักไม่เป็นที่ต้องการสำหรับการหมักของเสียหลายชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากสภาพการหมักแบบไร้ออกซิเจนไม่สามารถทำให้อุณหภูมิภายในกองหมักสูงขึ้นได้ตามต้องการเพราะพลังงานที่เกิดขึ้นจากการหมักมีค่าน้อยกว่าการหมักแบบใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้แก่ กรดอินทรียระเหยง่าย (Volatile Organic Acid) สารประกอบซัลเฟอร์และสารประกอบไนโตรเจนระเหยง่าย จะมีผลทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น (Miller, 1992)

ปริมาณอากาศที่ต้องการสำหรับจุลินทรีย์ในการหมักขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก อุณหภูมิของกระบวนการหมัก ช่วงเวลาของกระบวนการหมัก (ในช่วงแรกต้องการอากาศมากกว่า) และสภาพของกระบวนการหมัก (ความชื้น โครงสร้าง) (Stentiford, 1996)

- **ขนาดของวัสดุ**

ขนาดของวัสดุที่นำมาหมักควรมีขนาดที่เหมาะสมที่สุดไม่ใหญ่ หรือเล็กจนเกินไป เพราะเมื่อกองหมักมีความพรุนสูงจะทำให้สะดวกต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ดังนั้นของเสียที่มีขนาดใหญ่ๆ เช่น ขยะชุมชน ของเสียจากกิจกรรมทางการเกษตร จึงต้องนำมาลดขนาดก่อนนำไปทำการหมัก ในขณะที่ของเสียจำพวกอุจจาระ กากตะกอนน้ำเสีย หรือสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ มีขนาดอนุภาคที่เล็กแต่มีช่องว่างขนาดใหญ่น้อย ดังนั้นจึงต้องผสมของเสียเหล่านี้เข้ากับวัสดุปรับสภาพ (Bulking agent) เพื่อช่วยให้มีช่องว่างขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น หรือผสมเข้ากับสารอินทรีย์ชนิดอื่น (Amendment) เพื่อช่วยปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนและความพรุนได้ในเวลาเดียวกัน

ข) ปัจจัยทางด้านเคมี

- **อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน**

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วย ถ้าในของเสียอินทรีย์มีปริมาณไนโตรเจนอย่างเพียงพอ การย่อยสลายก็จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ในทางกลับกันถ้าหากวัสดุหมักเริ่มต้นมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอ กระบวนการการย่อยสลายก็จะเกิดขึ้นช้ามาก

ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักเริ่มต้นมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 40 จะไม่เกิดปฏิกิริยามิเนอรัลไรเซชั่น (Mineralization) เนื่องจากสารอินทรีย์ไนโตรเจนถูกจุลินทรีย์นำไปใช้จนหมดเหลือจึงไม่เหลือ แอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ แต่ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่า 40 จะเกิดปฏิกิริยามินอรัลไรเซชั่นเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็น แอมโมเนียมไนโตรเจน ถ้าหาก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักเริ่มต้นมีค้าน้อยเกินไปคือมีค่าประมาณ 15/1 ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียมในระบบมีมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นจึงมีโอกาสสูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย (Pierzynski et al., 1994) หรือปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดินได้ (Polprasert, 1989)

Finstein and Morris (1975) ได้ทำการทดลองหมักของเสียจากสัตว์ปีก และขี้เลื่อยพบว่าวัสดุหมักที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 40/1 ต้องการออกซิเจนมากกว่าวัสดุหมักเริ่มต้น ที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 25/1 และการหมักขยะชุมชนที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 25/1 จะปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น

การปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอาศัยการผสมวัตถุดิบในการหมักที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างกันเพื่อปรับให้ค่าสุดท้ายหลังจากการผสมมีค่าตามที่ต้องการ

- **พีเอช**

พีเอช เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในการหมัก เนื่องจากแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และฟังไจ มีช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต เช่น แบคทีเรียไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสิ่งแวดล้อมที่มีพีเอชต่ำกว่า 3 และที่พีเอชสูงกว่า 10.5 นอกจากนี้แบคทีเรียและแอคติโนมัยซีสจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชที่เป็นกลางและอ่อนแอลงเมื่อมีพีเอชต่ำลง (Miller, 1992)

อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่างการหมักจะมีค่าสูง เมื่อพีเอชมีค่าอยู่ระหว่าง 6-9 โดยทั่วไปวัสดุหมักเริ่มต้นมีพีค่าเอชประมาณ 6 ในช่วงแรกของการหมัก พีเอชจะมีค่าลดลง การย่อยสลายจะเกิดช้าลง แต่เมื่อช่วงเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นค่าพีเอชจะสูงขึ้นมาอยู่ที่ประมาณ 8.5 อย่างรวดเร็ว เนื่องจากปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชั่น หลังจากนั้นพีเอชของการหมักจะตกลงมาอยู่ระหว่าง 7.5 – 8.0 เพราะปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชั่นลดลง โดยทั่วไปแล้วการหมักไม่จำเป็นต้องมีการปรับ พีเอชเริ่มต้น เพราะพีเอชของการหมักถูกปรับตัวให้เป็นกลางโดยอัตโนมัติ (Miller, 1992)

กระบวนการหมักเป็นกระบวนการที่สามารถเปลี่ยนพีเอชที่สูงหรือต่ำของวัสดุหมักเริ่มต้นให้ไปอยู่ในสภาพเป็นกลางได้เนื่องจากการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย การปรับพีเอชของวัสดุหมักเริ่มต้นจึงไม่จำเป็นยกเว้นในกรณีที่วัสดุหมักเริ่มต้นมีพีเอชสูงหรือต่ำมากเกินไปจะทำให้กระบวนการหมักในช่วงแรกเกิดได้ช้ามาก ก็ควรจะต้องมีการปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง เพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการหมัก (Haug, 1993)

การหมักแบบใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นที่ช่วงพีเอชที่เป็นกลาง ในขณะที่การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีค่าพีเอชลดลงในช่วงแรกของการหมัก เนื่องจากเกิดกรดไขมัน (Fatty Acid)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากนั้นค่าพีเอชจะกลับมาอยู่ในช่วงค่าที่เป็นกลางอีกครั้งเนื่องจากกรดถูกเปลี่ยนไปเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยแบคทีเรีย (Polprasert, 1989)

- **ส่วนประกอบของสารอาหาร**

ของเสียอินทรีย์ที่นำมาหมักนั้นมีเนื้อ (Texture) ผันแปรไปได้มากตั้งแต่เนื้อผสม เช่น ขยะชุมชน กากตะกอนน้ำเสีย ไปจนถึงเนื้อเดี่ยว เช่น จากโรงงานอาหาร อย่างไรก็ตามของเสียเหล่านี้ไม่ว่าจะมาจาก การเกษตร อุตสาหกรรม หรือมาจากชุมชน ก็มีส่วนผสมของ น้ำตาล โปรตีน ไขมัน เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนิน (Gray et al., 1971a)

ส่วนประกอบของของเสียที่นำมาหมักมีผลต่อชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการหมัก โดยแบคทีเรียชอบอาหารจำพวกกรดอะมิโน และสารประกอบไนโตรเจน ในขณะที่ฟังไจชอบสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต แบคทีเรียสามารถย่อยสลายอาหารที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้ตั้งแต่ 10/1 จนถึง 20/1 แต่ฟังไจสามารถย่อยสลายอาหารที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้ตั้งแต่ 150/2 ถึง 200/1 ดังนั้นของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสูง เช่น ของเสียจากสัตว์ กากตะกอนน้ำเสีย แบคทีเรียจะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ถ้าเป็นสารประกอบที่ซับซ้อนของคาร์โบไฮเดรต เช่น เซลลูโลส โพลีแซคคาไรด์ ลิกนิน ฟังไจจะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แทน (Miller, 1992)

ธาตุอาหารพวกฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เหล็ก โบรอน ทองแดง ฯลฯ มีความจำเป็นต่อกระบวนการเมตะโบลิซึมของจุลินทรีย์ ถ้าหากในของเสียมีธาตุอาหารพวกนี้เพียงพอการหมักก็จะเกิดขึ้นได้ดี

- **ออกซิเจน**

ออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญและมีความหมายต่อความสำเร็จในการทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากจุลินทรีย์เมื่อทำการออกซิไดซ์คาร์บอนให้เป็นพลังงานนั้นจะต้องมีการใช้ออกซิเจนในกระบวนการนี้ ดังนั้นถ้าปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ กระบวนการจะเปลี่ยนไปปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะเข้ามาแทนที่ ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายช้า และเกิดกลิ่นเหม็นจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น

เพื่อให้อัตราเร็วในการหมักมีค่าสูงที่สุด ควรจะคงระดับออกซิเจนไว้ที่ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 10 เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดสภาพไร้อากาศภายในกองหมัก (แบคทีเรียสามารถอยู่ได้ในความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำถึงร้อยละ 5) การตรวจวัดระดับออกซิเจนสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดออกซิเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 วิธีการเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมัก

วิธีการเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยหมักมีหลายวิธี สามารถจำแนกออกได้ดังนี้

ก) การเติมอากาศโดยวิธีแอคทีฟ หรือการเติมอากาศโดยตรง

วิธีการเติมอากาศให้แก่กองหมักโดยวิธีแอคทีฟเป็นวิธีการเติมอากาศที่ผู้ปฏิบัติการทำการเติมอากาศเข้าสู่กองหมักโดยตรง สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่นวิธีการเติมอากาศโดยการพลิกกลับกอง หรือวีการเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศ

- **การเติมอากาศโดยการพลิกกลับกอง**

การเติมอากาศด้วยวิธีนี้สามารถกระทำได้โดยใช้ แรงงานคน (รูปที่ 2.2 ก) หรือเครื่องจักรกล (รูปที่ 2.2 ข) มีหลักหลักการในการเติมอากาศคือ เมื่อทำการพลิกกลับกองหมัก อากาศจากภายนอกจะสามารถเคลื่อนที่เข้าไปไปกองหมักเพื่อให้จุลินทรีย์นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อไป การพลิกกลับกองมีข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือเป็นการเพิ่มความพรุนให้แก่กองหมัก ซึ่งจะส่งผลให้การระบายอากาศเกิดได้ดีขึ้น ตัวอย่างของรูปแบบการเติมอากาศวิธีนี้ ได้แก่ การหมักปุ๋ยแบบกองแถวพลิกกลับกอง

- **การเติมอากาศแบบใช้ปั๊มลมหรือเครื่องเติมอากาศ**

มีหลักการในการเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศหรือปั้มลมเป่าอากาศเข้าไปสู่กองปุ๋ยหมักโดยตรงผ่านท่อเติมอากาศ หรือสามารถใช้ปั้มลมดูดอากาศออกจากกองหมัก ในขณะที่อากาศภายในกองหมักถูกดูดออกมาข้างนอกจะมีผลทำให้อากาศจากภายนอกไหลเข้าสู่กองหมักตามผิวนอกของกองหมัก ตัวอย่างของรูปแบบการเติมอากาศวิธีนี้ ได้แก่ การเติมอากาศในกองหมักปุ๋ยแบบกองแถวสถิตย์ (รูปที่ 2.3)

ข) การเติมอากาศโดยวิธีแพสซีฟ หรือการเติมอากาศทางอ้อม

วิธีการเติมอากาศโดยวิธีแพสซีฟเป็นวิธีการเติมอากาศที่ผู้ปฏิบัติการไม่ต้องใช้พลังงานกล, พลังงานคน หรือพลังงานไฟฟ้า ในการเติมอากาศเข้าสู่การหมักโดยตรง แต่จะใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหมักภายในกองหมักในการเติมอากาศ มีหลักการในการเติมอากาศคือ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายในกองหมัก อุณหภูมิภายในกองหมักจะสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอก อากาศร้อนภายในกองหมักจะขยายตัวแล้วลอยตัวสูงขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศตามแนวดิ่ง ในขณะเดียวกันอากาศเย็นภายนอกบริเวณรอบๆ กองหมักก็จะไหลเข้ามาแทนที่เข้าสู่กองหมัก วิธีนี้มีข้อดีคือไม่ต้องใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรกลในการเติมอากาศ (รูปที่ 2.4) ตัวอย่างของรูปแบบการเติมอากาศวิธีนี้ ได้แก่ การหมักแบบกองแถวที่ไม่มีการพลิกกลับกอง การหมักแบบเติมอากาศบนพื้นแบบจีน (Chinese ground-surface aerobic composting pile) การหมักในถังปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เครื่องเติมอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก) การพลิกกลับด้วยแรงงานคน

ที่มา : http://fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e06.htm#TopOfPage (19 กันยายน 2550)

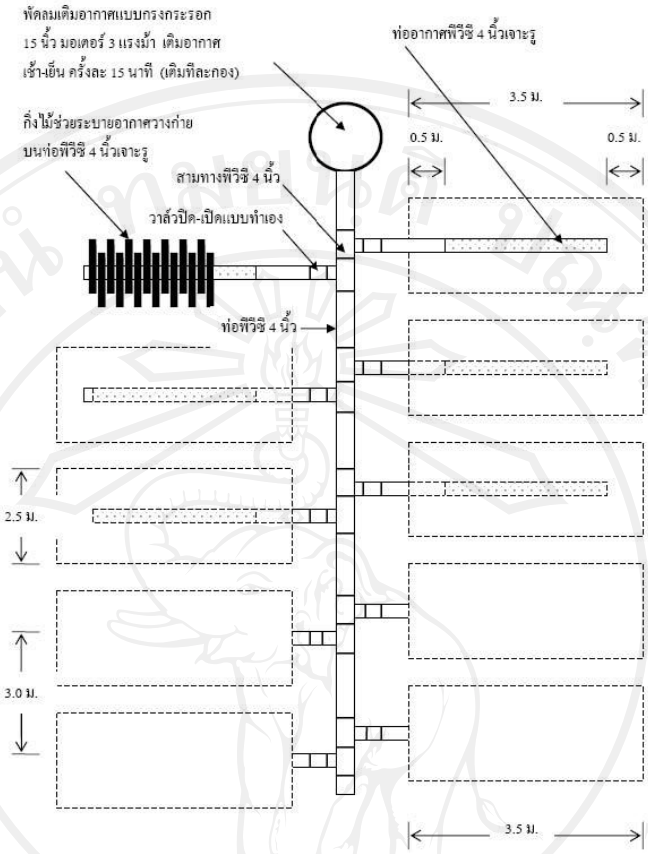
ข) การพลิกกลับกองด้วยเครื่องจักร

ที่มา : http://www.portablescreen.com/profuctcart/pc/viewPrd.asp?idcategory=39&idproduct=19

(19 กันยายน 2550)

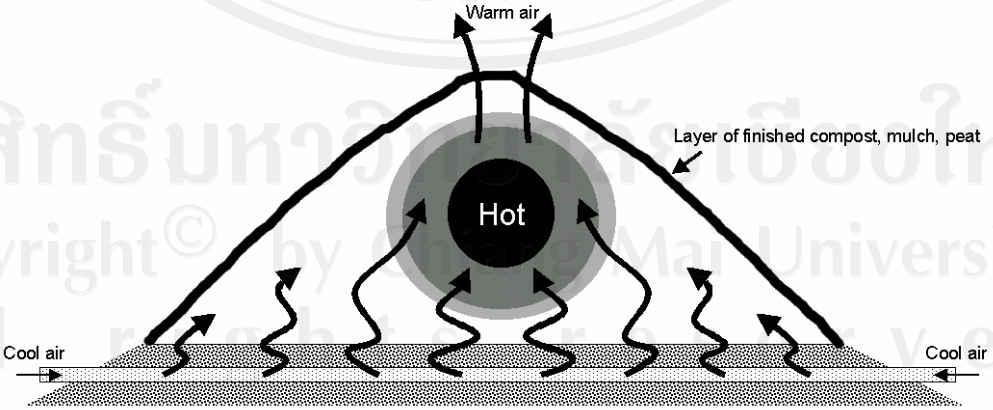
รูปที่ 2.2 การพลิกกลับกองหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 การเติมอากาศแบบใช้ปั๊มลม หรือเครื่องเติมอากาศในการหมักปุ๋ยแบบกองแถวสถิต

ที่มา : ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูล (2550)



รูปที่ 2.4 การเติมอากาศโดยวิธีแพสซีฟ

ที่มา **:** Fogiel (2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 วิธีการหมักปุ๋ยอินทรีย์รูปแบบต่างๆ

วิธีการหมักปุ๋ยอินทรีย์ มีมากมายหลายแบบ ทั้งแบบที่ใช้เครื่องจักรกล และแบบที่ใช้แรงงานคน หรือแบบที่หมักในถังปฏิกิริยา และแบบที่กองกับพื้นหมักกลางแจ้ง โดยแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป การจะเลือกวิธีใดไปใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักก็จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ต่อไปนี้คือ ตัวอย่างวิธีการหมักปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้รับความนิยมและรู้จักกันแพร่หลาย

ก. การหมักแบบกองแถวพลิกกลับกอง

เป็นรูปแบบการหมักที่ไม่ใช้ถังปฏิกิริยาที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน กระบวนการหมักทำได้โดยผสมวัสดุหมักให้เข้ากัน แล้ววางกองไว้ ทำการเติมอากาศให้กองหมัก โดยการพลิกกลับกองประมาณ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ การพลิกกลับกองหมักสามารถกระทำได้โดยใช้แรงงานคน หรือใช้เครื่องจักรกลก็ได้ แล้วแต่ขนาดของกองหมัก ถ้ากองหมักมีขนาดใหญ่ก็ควรใช้เครื่องจักรในการพลิกกลับ ถ้ากองหมักมีขนาดเล็กก็สามารถใช้แรงงานคนได้ (รูปที่ 2.5)

รูปที่ 2.5 การหมักแบบกองแถวพลิกกลับกอง

ที่มา : http://www.abt-compost.com/windrow.html (19 กันยายน 2550)

ข. การหมักในถังปฏิกิริยา

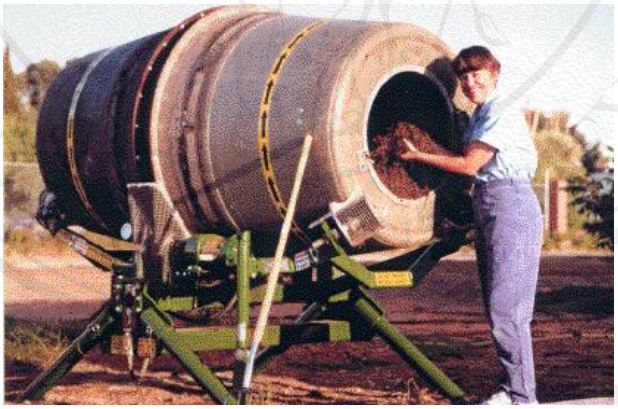
การหมักแบบนี้เป็นการหมักในภาชนะปิด ภายในถังจะมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับกระบวนการหมัก โดยที่รูปร่างของถังปฏิกิริยามีหลายรูปแบบตัวอย่างเช่น ถังกลม ถังเหลี่ยม ถังหมุน ฯลฯ โดยขนาดของถังหมักมีได้ตั้งแต่ถังขนาดเล็กจนถึงตู้คอนเทนเนอร์ขนาดใหญ่ การเติมอากาศสามารถกระทำได้ทั้งวิธีใช้เครื่องเติมอากาศ หรือวิธีแพสซีฟ การหมักในถังปฏิกิริยามี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อดีคือ สามารถควบคุมกลิ่นโดยการต่อท่อระบายอากาศ ควบคุมการหมักได้ง่าย และสวยงาม (รูปที่ 2.6)

ก. การหมักในถังปฏิกิริยาขนาดใหญ่

ที่มา : http://www.ciwmb.ca.gov/FoodWaste/Compost/images/Naturesoil.jpg (19 กันยายน 2550)



ข. การหมักในถังปฏิกิริยาขนาดเล็ก

ที่มา : http://www.ciwmb.ca.gov/FoodWaste/Compost/images/Augspurger.jpg (19 กันยายน 2550)

รูปที่ 2.6 การหมักในถังปฏิกิริยา

ค. การหมักปุ๋ยแบบกองแถวสถิตเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศ

การหมักโดยวิธีนี้เป็นการนำเอาของวัสดุหมักมากองไว้แล้วเติมอากาศโดยเครื่องเติมอากาศผ่านท่อเข้าไปในกองหมัก อากาศที่เติมเข้าไปจะทำให้เกิดการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

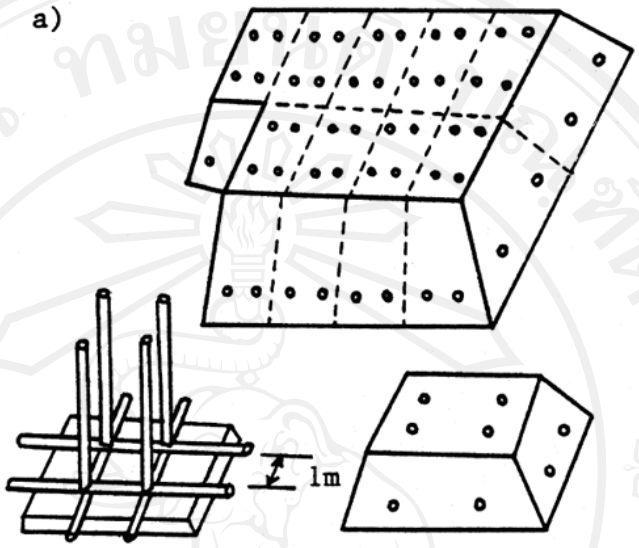
อัตราการเติมอากาศขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่นำมาหมัก และขนาดของกองหมัก วิธีการหมักแบบนี้สามารถควบคุมปริมาณอากาศที่เติมได้ และสามารถควบคุมอุณหภูมิในกองหมักได้ ข้อดีของการหมักแบบเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศ คือใช้บุคลากรในการดำเนินการน้อย (รูปที่ 2.7)

ง. การหมักแบบเติมอากาศบนพื้นแบบจีน

วิธีนี้จะนำวัสดุหมักเริ่มต้นมากองไว้บนพื้น โดยที่กองหมักจะมีความกว้างประมาณ 2 ม. ยาวประมาณ 2 ม. และสูงประมาณ 0.5 ม. มีการเสียบท่อระบายอากาศ หรือไม้ไผ่ในแนวนอนและแนวตั้งเพื่อเป็นการระบายอากาศตามธรรมชาติ และเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กองหมัก เพื่อป้องกันการสูญเสียอุณหภูมิในกองหมักอาจทำการคลุมผิวหน้าของกองหมักด้วยวัสดุคลุมดิน (ฟางข้าว หรือแผ่นพลาสติก) วิธีนี้กองหมักจะกองไว้อยู่กับที่จนกระบวนการหมักเสร็จสิ้นโดยสมบูรณ์ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องพลิกกลับกองหมัก ท่อระบายอากาศสามารถเอาออกได้ หลังจากกระบวนการหมักเริ่มต้นไป 1-2 วัน โดยที่อากาศจะสามารถระบายเข้าและออกผ่านตามรูที่เกิดจากการนำท่อระบายอากาศออก (รูปที่ 2.8)

รูปที่ 2.7 การหมักปุ๋ยแบบกองแถวฤดิตย์เติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศ
ที่มา : ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูล (2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.8 การหมักแบบเติมอากาศบนพื้นแบบจีน

ที่มา http://www.fao.org/docrep/field/003/ab467e/AB467E05.htm (19 กันยายน 2550)

2.5 การประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมัก

การได้ที่ของปุ๋ยหมัก (Comppost stability or compost maturity) มีความสำคัญต่อการนำปุ๋ยหมักไปใช้ เนื่องจากถ้าหากมีการนำปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ที่ไปใช้ จะส่งผลให้เกิดผลกระทบต่างๆ ต่อดินและพืชเช่น การขาดแคลนไนโตรเจนที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช การย่อยสลายของปุ๋ยหมักที่ยังไม่ได้ที่ทำให้เกิดการย่อยสลายต่อในดินและจะทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนในดินลดลง นำไปสู่สภาพไร้ออกซิเจน และสภาพรีดิวซ์อย่างรุนแรง ทำให้ขาดแคลนออกซิเจนและมีผลต่อการละลายของโลหะหนักในดิน ทำให้มีสภาพไม่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ด (Seed germination) เนื่องจากการเกิดสารเป็นพิษ (Phytotoxic substance) จำพวกแอมโมเนีย เอธิลีนออกไซด์ และกรดอินทรีย์ ซึ่งพืชต้องปรับตัวต่อสภาพสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเหล่านี้ โดยการลดอัตราการเกิดเมตาโบลิซึม ลดการหายใจของราก ลดการดูดซึมสารอาหาร (Jimenez and Garcia, 1989)

วิธีประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมักมีหลายวิธี โดยแต่ละวิธีก็จะพิจารณาพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก.การประเมินการได้ที่โดยวิธีการทางกายภาพ

ตัวแปรต่อไปนี้ใช้เป็นปัจจัยชี้วัดการได้ที่ของปุ๋ยหมักได้คือ

- **อุณหภูมิ**

อุณหภูมิเป็นตัวแปรที่ใช้บอกถึงการได้ที่ของปุ๋ยหมักได้ โดยปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วอุณหภูมิของกองหมัก ต้องมีค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการพลิกกลับกองหมัก (Jimenez and Garcia, 1989)

อุณหภูมิที่ลดลงจนใกล้กับอุณหภูมิของบรรยากาศเป็นปัจจัยที่ชี้ว่าการหมักเกือบเสร็จสมบูรณ์แล้ว อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ลดลงนี้ต้องไม่ใช่เนื่องมาจากการตายของจุลินทรีย์เนื่องจาก การขาดออกซิเจน ความชื้นที่ต่ำ หรือการขาดลักษณะที่เป็นฉนวนกั้นความร้อนของกองหมัก การใช้อุณหภูมิเป็นตัวบ่งชี้การได้ที่ของปุ๋ยหมักตั้งอยู่บนความจริงที่ว่าอัตราการผลิตความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ซึ่งอัตราการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ลดลงหลังจากสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายหมดลง นอกจากนี้ หากกองหมักยังมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิคแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักยังไม่ได้ที่ (Haug, 1993)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่บอกถึงการได้ที่ของปุ๋ยหมักได้ โดยปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วจะมีอุณหภูมิภายในกองเท่ากับอุณหภูมิห้อง (Barberis and Nappi, 1996)

- **กลิ่น**

กลิ่นเหม็นของขยะจะลดลงตั้งแต่ช่วงแรกของการหมัก และกลิ่นเหม็นจะหายไปเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก (Jimenez and Garcia, 1989)

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นส่วนประกอบหลักที่ทำให้เกิดกลิ่นของขยะชุมชน และกรดอินทรีย์ดังกล่าวลดลงในระหว่างการหมัก โดยเฉพาะในช่วงสุดท้ายของการหมัก นอกจากนี้กรดอื่นๆ ที่พบในขยะชุมชนคือ กรดอะซิติก (Acetic) กรดโพรไพโอนิก (Propionic) กรดบิวธิริก (Butyric) กรดวาเรอลิก (Valeric) และกรดคาโพรอิก (Carproic) (Chanyasak et al., 1982)

กลิ่นที่พบในระหว่างการหมักกากตะกอนน้ำเสียจะค่อยๆ ลดลงในช่วงระยะเวลาหนึ่งหลังจากการหมัก และจะได้กลิ่นชัดเจนอีกเมื่อทำการพลิกกลับกองหมักแต่หลังจากนั้นประมาณ 1 ชั่วโมงกลิ่นดังกล่าวก็หายไป ซึ่งเมื่อการหมักได้ที่แล้วกลิ่นเหม็นหายไปอย่างสมบูรณ์แม้มีการพลิกกลับกองหมักอีก (Haug, 1980)

- **สี**

ในระหว่างการหมักขยะชุมชน วัสดุหมักค่อยๆกลายเป็นสีดำ และปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วมีสีน้ำตาลดำ หรือสีดำอันเนื่องมาจากสีของฮิวมัส (Jimenez and Garcia, 1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วมีสีซีดหรือสีเทาเนื่องจากสีของแอคติโนมัยซิส (Polprasert, 1989)

ข. การประเมินการได้ที่โดยวิธีการทางเคมี

การประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมักสามารถใช้ตัวแปรทางเคมีดังต่อไปนี้

- **ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน**

ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นค่าที่วัดการได้ที่และคุณภาพของปุ๋ยหมัก โดยปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วจะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ประมาณ 20/1 แต่ค่าที่ได้อาจแตกต่างไปจากนี้บ้าง เช่น 18/1 – 20/1 เนื่องจากมีสารอินทรีย์คาร์บอนบางส่วนอยู่ในรูปย่อยสลายได้ยาก (ลิกนิน) ก็ยังถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ (Jimenez and Garcia, 1989)

ในบางกรณีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่น้อยกว่า 20/1 ปุ๋ยหมักที่ได้นั้นอาจยังไม่ได้ที่เนื่องจากวัสดุหมักเริ่มต้นมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง เช่น การหมักขยะชุมชนกับกากตะกอนน้ำเสีย เป็นต้น ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้ค่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่จุดสิ้นสุดของการหมักหารด้วยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่จุดเริ่มต้นของการหมัก ((C/N)final/(C/N)initial) เป็นค่าที่ใช้แสดงการได้ที่ของปุ๋ยหมัก โดยค่าที่ถือว่าปุ๋ยหมักได้ที่แล้วมีค่าอัตราส่วนดังกล่าวน้อยกว่า 0.75 เมื่อเวลาในการหมักมีค่าจนถึง 120 วัน

ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนใช้เป็นปัจจัยชี้การได้ที่ของปุ๋ยหมักได้ โดยปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 5/1-20/1 ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาหมัก (Hirai et al., 1983)

- **พีเอช (pH)**

ในช่วงแรกของการหมักพีเอชของกองหมักลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 5 และหลังจากนั้นพีเอชค่อยๆ สูงขึ้นและสูงขึ้นมาอยู่ที่ค่าระหว่าง 7-8 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก โดยค่าพีเอชที่เป็นกรดภายในกองหมักเป็นตัวชี้ว่าการหมักยังไม่ได้ที่เนื่องจากเวลาในการหมักยังน้อยเกินไป หรือเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในกองหมัก (Jimenez and Garcia, 1989)

- **ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)**

โดยปกติสารฮิวมัสมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกประมาณ 180-200 cmol/kg ดังนั้นฮิวมัสจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

ระดับของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินมีความสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของปุ๋ยหมักดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในการประมาณระดับการได้ที่ของการหมักได้ (Harada and Inoko, 1975)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อเริ่มต้นการหมักค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 40 cmol/kg (40 meq/100 g) ไปเป็น 80 cmol/kg (80 meq/100 g) ที่จุดสิ้นสุดของการหมักภายหลังการหมัก 12 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังสรุปว่าการได้ที่ของปุ๋ยหมักตรวจสอบได้โดยการวัดค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนหระจุบวก ถ้าค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของปุ๋ยหมักมีค่า ≥ 60 cmol/kg จะถือได้ว่าปุ๋ยหมักได้ที่แล้ว (Tiquai et al., 1997)

ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก คือความสามารถของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่ดูดซับหรือเก็บเอาประจุบวกไว้ และเนื่องจาก โปแตสเซี่ยม แคลเซี่ยม แมกนีเซี่ยม และอื่นๆ เป็นธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดังนั้นถ้าอนุภาคสามารถดูดซับธาตุต่างๆ ไว้ได้มาก ก็เป็นประโยชน์ต่อพืชมาก โดยค่าต่ำที่สุดของค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ถือว่าปุ๋ยหมักได้ที่แล้วมีค่าเท่ากับ 60 cmol/kg (60 meq/100g) (Epstein, 1997)

- **แอมโมเนียไนโตรเจน**

ปริมาณแอมโมเนียในกองหมักจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อทำการหมักไปได้ระยะหนึ่ง เนื่องมาจากแบคทีเรียจะทำการย่อยสลายโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโน แล้วกรดอะมิโนจะถูกย่อยสลายต่อเป็นกรดไขมัน (Fatty acids) และแอมโมเนีย หลังจากนั้นภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน แอมโมเนียจะถูกย่อยสลายต่อโดยไนตริฟายอิ้งแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) กลายเป็นไนไตรท์ไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจนตามลำดับ ส่วนกรดไขมันและคาร์โบไฮเดรตจะรวมตัวกันอยู่ในเซลของแบคทีเรียในรูป Volatile fatty acids และจะถูกย่อยสลายตัวกลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วควรจะมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนน้อยกว่า 400 mg/kg (Zucconi and Berloldi 1987)

- **ไนไตรท์ และไนเตรท**

ระหว่างการหมักถ้าสามารถตรวจพบ ไนไตรท์ และไนเตรทในปริมาณที่มากพอแสดงว่าปุ๋ยหมักที่ได้เป็นปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้ว ปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วควรมีปริมาณไนเตรทไนโตรเจนมากกว่า 400 mg/kg (Jimenez and Garcia, 1989)

ค. การประเมินการได้ที่โดยวิธีการทางชีวภาพ

การประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมักใช้ตัวแปรทางชีวภาพต่อไปนี้

- **ค่าดัชนีการงอก**

Zucconi et al. (1981) ได้ทำการทดลองเพื่อหาดีกรีของการได้ที่ของปุ๋ยหมักโดยใช้การงอกของเมล็ด Lepidium Sativum L. และพบว่าค่าดัชนีการงอกมีค่ามากกว่าร้อยละ 50 เป็นดีกรีที่ยอมรับได้ว่าปุ๋ยนั้นได้ที่แล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- **การนับจำนวนจุลินทรีย์**

เมื่อกระบวนการหมักดำเนินการมาจนถึงช่วงสุดท้ายของการหมักเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียจะลดจำนวนลง ดังนั้นการตรวจสอบโดยการนับจำนวนแบคทีเรียชนิดนี้เป็นระยะๆ ตลอดเวลาในการหมักก็จะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรีย ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยได้

- **ความต้องการออกซิเจน** มีการทดสอบได้ 2 วิธีคือ

: *ความต้องการออกซิเจนโดยการหายใจ* ถ้าออกซิเจนที่ถูกใช้ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักมีค่าน้อยกว่า 10 มก./ลิตร ในระยะเวลา 7 วันของการหมักแสดงว่าปุ๋ยหมักได้ที่แล้ว

: *ความต้องการออกซิเจนโดยการออกซิไดซ์ด้วยโปแตสเซียมไดโครเมต* ถ้าออกซิเจนที่ถูกใช้ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักมีน้อยกว่า 40 มก./ล.-ชม. ในระยะเวลา 3 วันของการหมักและค่าซีโอดีของปุ๋ยน้อยกว่า 700 มก./ล. แสดงว่าปุ๋ยหมักได้ที่แล้ว

สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้กำหนดคู่มือที่ใช้เป็นแนวทางตรวจสอบการสิ้นสุดการหมักของปุ๋ยหมักดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.6 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548

กรมวิชาการเกษตรได้มีการกำหนดรายละเอียดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ 11 รายการ ดังนี้

ก.ขนาดของปุ๋ย : เกณฑ์กำหนดไม่เกิน 12.5 x 12.5 มม. ขนาดปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้นี้เพื่อให้ขนาดของปุ๋ยเหมาะสมในการนำไปใช้

ข. ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ : เกณฑ์กำหนดไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีความชื้นสูงมากเกินไป จะเสียค่าใช้จ่ายมากในการขนส่งโดยเฉพาะในภาวะน้ำมันแพง ที่สำคัญปุ๋ยอินทรีย์ความชื้นสูงเกษตรกรได้ประโยชน์น้อยไม่สะดวกในการใช้

ค. ปริมาณหินและกรวด : เกณฑ์กำหนดให้มีปริมาณหิน และกรวดขนาดใหญ่กว่า 5 มม. ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เหตุผลในเกณฑ์ข้อนี้ชัดเจนเพราะว่าปริมาณหินและกรวดไม่มีประโยชน์ และเป็นการเพิ่มน้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์ไม่เป็นธรรมแก่เกษตรกร

ง. พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ : เกณฑ์กำหนดให้ต้องไม่มีวัสดุเหล่านี้อยู่ในปุ๋ยอินทรีย์

จ.ปริมาณอินทรียวัตถุ : เกณฑ์กำหนดให้มีไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีควรมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก อินทรียวัตถุที่ต่ำหรือสูง เป็นผลโดยตรงจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากพืช เช่น ฟางข้าว จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก แต่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากมูลสัตว์ เช่น มูลไก่ จะมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 2.1 คู่มือประกอบการตรวจสอบความได้ที่/ความสิ้นสุดการหมักของปุ๋ยหมัก

สิ่งที่ต้องตรวจสอบ (จะต้องบรรลุ 1 ใน 4 ข้อต่อไปนี้)	นัยสำคัญ
1. ต้องบรรลุ 2 ใน 3 ของการตรวจสอบดังต่อไปนี้ ก. อัตราส่วน คาร์บอนต่อไนโตรเจน ต้องไม่มากกว่า 25/1 ข. อัตราการใช้ออกซิเจนต้องต่ำกว่า 150 mg O_2/กก. อินทรีย์วัตถุ/ชั่วโมง ค. อัตราการงอกของเมล็ดผักกาดหัวในปุ๋ยหมักต้องมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 90 ของตัวอย่างชุดควบคุมและอัตราส่วนการเจริญเติบโตของพืชในส่วนผสมของดินและปุ๋ยหมักต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของตัวอย่างชุดควบคุม	ก. เพราะคาร์บอนจะแตกตัวในระหว่างการย่อยสลาย ทำให้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง ข. จุลินทรีย์ต้องการออกซิเจน ดังนั้นถ้าความต้องการออกซิเจนลดลงย่อมแสดงถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ลดน้อยลงด้วย ค. เมล็ดผักกาดหัวมีขนาดเล็ก งอกได้เร็วและอ่อนแอต่อสารพิษจากพืช เช่นกรดอินทรีย์ซึ่งสะสม ในปุ๋ยหมักที่ยังหมักไม่สมบูรณ์
2. ปุ๋ยหมักที่หมักเสร็จแล้วต้องมีการบ่มไว้อย่างน้อย 21 วัน และปุ๋ยที่กองไว้ต้องมีความร้อนที่มากกว่าอุณหภูมิห้องได้ไม่เกินกว่า 20 °ซ	กิจกรรมของจุลินทรีย์จะผลิตความร้อนออกมา ถ้ากองหมักไม่มีความร้อนเกิดขึ้นย่อมแสดงถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ลดน้อยลง
3. ปุ๋ยหมักที่หมักเสร็จแล้วต้องมีการบ่มไว้อย่างน้อย 21 วันและอินทรียวัตถุต้องลดลงอย่างน้อยที่สุดร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก	ในขณะที่การหมักยังดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่อง ไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะระเหยออกไป ทำให้ปุ๋ยมีน้ำหนักเบาและอัดตัวกันแน่นขึ้น
4. ปุ๋ยหมักจะต้องมีการหมักบ่มไว้เป็นเวลา 6 เดือน	ในกรณีที่ไม่มีการตรวจวิเคราะห์อื่นใดเลย การหมักบ่มปุ๋มเป็นเวลา 6 เดือน ภายใต้สภาพที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการหมักที่สมบูรณ์ก็น่าจะพอเพียง

ที่มา: สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2547)

ฉ. ค่าพีเอช : เกณฑ์กำหนดให้ มีค่าพีเอช ระหว่าง 5.5 – 8.5 ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีค่าพีเอช ต่ำกว่า 5.5 จุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์จะหยุดกิจกรรม แต่จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคจะทำงานได้ดีขึ้น แต่ถ้าปุ๋ยอินทรีย์มีค่าพีเอช มากกว่า 8.5 ไนโตรเจนในปุ๋ยจะกลายเป็นก๊าซแล้วสูญหายไปในอากาศ ทำให้สูญเสียธาตุอาหารซึ่งแต่เดิมมีน้อยอยู่แล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ช. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน : เกณฑ์กำหนดไว้ไม่เกิน 20/1 ปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีควรมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20/1 ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 20/1 จะเกิดการย่อยสลายใหม่เมื่อใส่ลงในดิน ถ้าใช้ในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำไม่ดีอาจเป็นอันตรายต่อพืช

ซ. ค่าการนำไฟฟ้า : เกณฑ์กำหนดไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/ม. (dS/m) ค่าการนำไฟฟ้า หรือเป็นค่าที่วัดความเค็มของปุ๋ย โดยปกติพบว่าค่าความเค็มที่ 6 เดซิซีเมน/ม. จะมีปริมาณเกลือมากกว่าร้อยละ 0.175 ค่าการนำไฟฟ้าสามารถบ่งบอกได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์นั้นมีการเติมปุ๋ยเคมีลงไปหรือไม่ ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ที่เติมปุ๋ยเคมีลงไปเพื่อเพิ่มธาตุอาหารถือว่าเป็นปุ๋ยเคมีตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518

ฌ. ปริมาณธาตุอาหารหลัก : เกณฑ์กำหนดให้มี

- ไนโตรเจน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1โดยน้ำหนัก
- ฟอสฟอรัส ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
- โพแทสเซียม ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

ญ. การย่อยสลายที่สมบูรณ์ : เกณฑ์กำหนดให้มากกว่าร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก

ฎ. ปริมาณโลหะหนัก : เกณฑ์กำหนดให้มี

- สารหนู (Arsenic) ไม่เกิน 50 มก. / กก.
- แคดเมียม (Cadmiun) ไม่เกิน 5 มก. / กก.
- โครเมียม (Cromiun) ไม่เกิน 300 มก./กก.
- ทองแดง (Copper) ไม่เกิน 500 มก. / กก.
- ตะกั่ว (Lead) ไม่เกิน 500 มก. / กก.
- ปรอท (Mercury) ไม่เกิน 2 มก. / กก.

2.7 ตัวอย่างถังหมักมูลฝอยภายในบ้านเรือน

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของถังหมักมูลฝอยภายในบ้านเรือน โดยที่ถังหมักแต่ละแบบจะมีรูปร่าง ขนาดความจุ และลักษณะการเติมอากาศที่แตกต่างกัน แล้วแต่การออกแบบของผู้ผลิต

ก. AI-Ko Aero-Therm

ถังหมักนี้เป็นถังหมักในสภาวะใช้ออกซิเจนมีขนาดความจุ 400 ล. ทำจากพลาสติกรีไซเคิลร้อยละ 100 ถังหมักมีประตูเปิดด้านข้าง 2 ด้าน เพื่อให้สามารถระบายปุ๋ยหมักออกจากถังได้ง่าย ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 8 สัปดาห์ ผลิตจำหน่ายโดยบริษัทในประเทศเยอรมัน ราคาประมาณ 11,250 บาท (รูปที่ 2.9)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 2.9 Al-Ko Aero-Therm

ที่มา :http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/The_Good_Compost_Guide(1999).pdf (19 กันยายน 2550)

ข. Aussie Rotter

ถังหมักนี้เป็นถังหมักมูลฝอยจากบ้านเรือนในสภาวะแบบใช้ออกซิเจนมีขนาดความจุ 280 ล. ทำจากพลาสติก รีไซเคิลสีดำ ทนต่อแสงอุลตราไวโอเล็ตตัวถังเคลื่อนย้ายได้ง่าย ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักจะขึ้นอยู่กับวิธีการหมัก ผลิตจำหน่ายโดยบริษัทในประเทศออสเตรเลีย ราคาจำหน่ายประมาณ 2,205 บาทต่อถัง (รูปที่ 2.10)

ค. Compost Tumbler

ถังหมักนี้เป็นถังหมักมูลฝอยจำพวกเศษอาหาร กิ่งไม้ และใบไม้แบบเร็ว ปราศจากกลิ่นและแมลงมีขนาดความจุ 300 ล. ทำจากโลหะป้องกันการกัดกร่อน และพลาสติกรีไซเคิล หรือพลาสติกที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โครงยึดถังด้านหน้าออกแบบให้สามารถป้อนมูลฝอยได้ง่าย อุณหภูมิภายในถังสูงเพียงพอต่อการกำจัดวัชพืช โครงสร้างถังมีลักษณะเรียวบริเวณปลายถังทำให้ระบายปุ๋ยหมักออกจากถังได้ง่าย ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 3 สัปดาห์ ผลิตจำหน่ายโดยบริษัทในประเทศออสเตรเลีย ราคาประมาณ 14,400 บาทต่อถัง (รูปที่ 2.11)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 2.10 Aussie Rotter

ที่มา : http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/The_Good_Compost_Guide_(1999).pdf (19 กันยายน 2550)

รูปที่ 2.11 Compost Tumbler

ที่มา :http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/The_Good_Compost_Guide_(1999).pdf (19 กันยายน 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

๓. Compostabin

ถังหมักนี้เป็นถังหมักมูลฝอยจำพวกเศษอาหาร ใบไม้ และกิ่งไม้ มีขนาดความจุ 220 ล.ทำจากพลาสติกโพลีเอทิลีนรีไซเคิลทนต่อแสงอุลตราไวโอเล็ต โดยถังออกแบบให้รักษาอุณหภูมิสูงเพื่อเร่งการย่อยสลายมูลฝอย (6-8 สัปดาห์) และมีช่องระบายปุ๋ยหมักออกจากถังได้

ง่าย ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 8 สัปดาห์ ผลิตจำหน่ายโดยบริษัทในประเทศออสเตรเลียราคาประมาณถังละ 2,025 บาท (รูปที่ 2.12)

รูปที่ 2.12 Compostabin

ที่มา :http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/The_Good_Compost_Guide_(1999).pdf (19 กันยายน 2550)

จ. Compostainer

เป็นถังหมักมูลฝอยในสภาวะใช้ออกซิเจน มีขนาดความจุรวมประมาณ 200 ล. ทำจากพลาสติกภายในถังมีตะแกรงเหล็ก เพื่อช่วยระบายน้ำจากมูลฝอย บริเวณด้านข้างถังและฝาถังมีการเจาะรูเพื่อเป็นการเติมอากาศ และระบายอากาศให้กับถังหมัก ผลิตจำหน่ายโดยบริษัทในประเทศแคนาดา (รูปที่ 2.13)

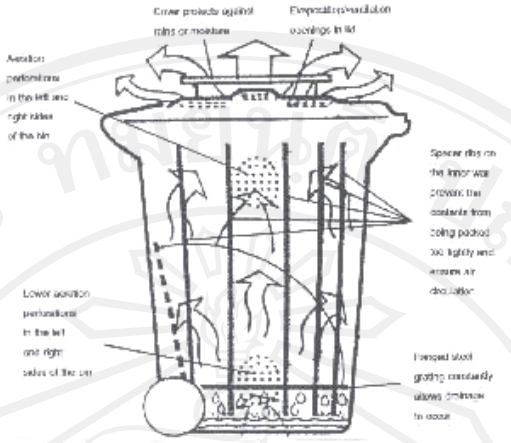
ฉ. The earth machine

เป็นถังหมักมูลฝอยในสภาวะใช้ออกซิเจนมีขนาดความจุรวมประมาณ 21 ลบ.ฟุต ทำจากพลาสติกตัวถังสามารถปรับช่องเพื่อการถ่ายเทอากาศได้ ผลิตจำหน่ายโดยบริษัทในประเทศสหรัฐอเมริกา (ดังรูปที่ 2.14)

ช. Biostack

เป็นถังหมักมูลฝอยในสภาวะใช้ออกซิเจนมีขนาดความจุรวมประมาณ 13 ลบ.ฟุต ทำจากพลาสติกตัวถังแบ่งเป็นชั้นต่อเรียงซ้อนกัน เพื่อช่วยในการพลิกกลับมูลฝอย และระบายปุ๋ยหมักทำได้ง่าย ราคาประมาณ 3,915 บาทต่อถัง (ดังรูปที่ 2.15)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.13 Compostainer

ที่มา :http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/The_Good_Compost_Guide_(1999).pdf (19 กันยายน 2550)

รูปที่ 2.14 The earth machine

ที่มา :http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/The_Good_Compost_Guide_(1999).pdf (19 กันยายน 2550)

\

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 2.15 Biostack

ที่มา :http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/The_Good_Compost_Guide_(1999).pdf (19 กันยายน 2550)

2.8 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

กรมควบคุมมลพิษ และศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการทดลองการหมักมูลฝอยโดยใช้ถังหมักขนาดเล็ก โดยนำเอาเศษอาหารจากบ้านเรือนมาคลุกผสมกับเศษใบไม้แห้ง ในอัตราส่วน 1/1 โดยปริมาตร ทำการหมักโดยเติมมูลฝอยครั้งเดียวและไม่มีการกวนผสม ใช้ถังหมักขนาดเล็ก 3 แบบที่มีลักษณะแตกต่างกัน ถังหมักแบบที่ 1 มีขนาด 185 ล. เจาะช่องและติดตะแกรงบริเวณด้านหน้า และด้านบน เพื่อระบายอากาศและเติมอากาศให้กับถังหมัก ถังหมักแบบที่ 2 มีขนาด 200 ล. เจาะรูโดยรอบขนาด 1 ซม. เพื่อระบายอากาศและเติมอากาศให้กับถังหมัก ทำการยึดถังหมักกับแกนหมุน เพื่อให้สามารถหมุนถังโดยรอบเพื่อคลุกวัสดุหมัก และถังหมักแบบที่ 3 ขนาด 200 ล.เจาะรูโดยรอบขนาด 1 ซม. ภายในถังติดตั้งท่อพีวีซี ขนาด 3 นิ้ว มีความยาวรวม 180 ซม. เจาะรูโดยรอบ เพื่อเป็นการระบายอากาศและเติมอากาศให้กับถังหมัก ทำการทดลองโดยตั้งถังหมักทั้ง 3 แบบไว้กลางแจ้ง ในอุณหภูมิบรรยากาศเหมือนสภาพการใช้งานทั่วไป

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักพบว่าอุณหภูมิของวัสดุหมักในถังหมักทั้งสามมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน กล่าวคือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หลังจากดำเนินการหมักไปเป็นระยะเวลาประมาณ 10 วัน และรักษาระดับค่อนข้างคงที่ เป็นช่วงเวลาประมาณ 30 วัน หลังจากนั้นอุณหภูมิจึงลดลงจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด พบว่า ความชื้นของวัสดุหมักในถังหมักทั้งสาม มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการหมัก โดยความชื้นลดลงจากช่วงเริ่มต้นประมาณร้อยละ 75 เหลือประมาณร้อยละ 60 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงตรงกันข้ามกับความชื้น กล่าวคือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการหมัก ทั้งนี้เนื่องมาจากการสูญเสียความชื้นจากการระเหยน้ำในระหว่างการหมัก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหย (สารอินทรีย์) ในวัสดุหมัก พบว่า สัดส่วนของของแข็งระเหย ในของแข็งทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหย ในถังหมักทั้งสามมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ปริมาณของแข็งลดลงจากประมาณร้อยละ 80-90 ในช่วงเริ่มต้น เหลือประมาณร้อยละ 60-70 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง หรือคิดเป็นการลดของปริมาณสารอินทรีย์เท่ากับร้อยละ 75 ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง

การกำหนดระยะเวลาของการหมักที่เหมาะสมในถังหมักขนาดเล็กสำหรับบ้านเรือนทั้ง 3 รูปแบบ เมื่อสังเกตจากระยะเวลาที่อุณหภูมิของวัสดุหมักลดลงถึงอุณหภูมิบรรยากาศ และลักษณะทางเคมีของวัสดุหมัก ได้แก่ ความชื้น และปริมาณของแข็งระเหย ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ พบว่าใช้ระยะเวลาประมาณ 60 วัน

Roper et al. (2006) ได้ทำการทดลองหมักปุ๋ยจากมูลไก่ โดยทำการทดลองในกล่องหมักที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 กล่อง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกล่องหมัก โดยที่กล่องใบที่หนึ่งเป็นกล่องปิดไม่มีการเติมท่อระบายอากาศ กล่องใบที่สองกับกล่องใบที่สาม มีการเติมอากาศแบบแพสซีฟ โดยที่กล่องใบที่สองจะเสียบท่อเติมอากาศที่เจาะรูขนาด 5 มม.ตลอดความยาวท่อ ในแนวราบทะลุผ่านที่ก้นกล่องจำนวนสองท่อ แล้วเสียบท่อระบายอากาศในแนวดิ่งจำนวนสองเส้นเช่นกัน ส่วนกล่องใบที่สามจะมีท่อเติมอากาศในแนวราบจำนวนสองท่อสั้นๆ ที่มุมล่างของกล่องและมีท่อระบายอากาศในแนวดิ่งเป็นลักษณะโดมหนึ่งท่อ

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การเติมอากาศแบบธรรมชาติสามารถเพิ่มอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักให้สูงขึ้นได้เนื่องมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก โดยกล่องใบที่หนึ่ง (ไม่มีการเติมท่อระบายอากาศ) อุณหภูมิจะสูงขึ้นถึง 60 °ซ ภายในระยะเวลาสามวัน แล้วจะคงที่อยู่เป็นเวลาหนึ่งวัน พอวันที่ห้าเป็นต้นไป อุณหภูมิก็จะลดต่ำลงมาเรื่อยๆจนเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศภายในวันที่ 10 ส่วนกล่องใบที่สอง (เติมอากาศแบบแพสซีฟ) อุณหภูมิภายในกองหมักจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงเทอร์โมฟิลิค กายในระยะเวลาสามวัน แล้วจะคงที่อยู่ในช่วงนี้ต่อไปจนจบการทดลอง (14 วัน) โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 60 °ซ ส่วนกล่องใบที่สาม(เติมอากาศแบบแพสซีฟ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิจะขึ้นไปสูงถึง 75 °ซ ภายในวันที่สองของการทดลองและจะอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิค ต่อไปอีกเป็นเวลาประมาณ 10 วัน อุณหภูมิถึงจะค่อยๆ ลดลงมาถึงอุณหภูมิบรรยากาศ

Zhu et al. (2004) ได้ทำการทดลองหมักมูลสุกร โดยทำการทดลองในถังหมัก เปรียบเทียบวิธีการเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศ เติมอากาศแบบแพสซีฟ และเติมแบบธรรมชาติ (Natural aeration system) โดยได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆดังนี้ พีเอช ความชื้น แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน ปริมาณอินทรียวัตถุ และสารประกอบฮิวมิค เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพ และการได้ที่ของปุ๋ยหมัก

ผลการทดลองสรุปได้ว่า วิธีการเติมอากาศทั้ง 3 แบบสามารถทำให้กองหมักมีเสถียรภาพได้ และอุณหภูมิภายในกองหมักจะสูงถึงช่วงเทอร์โมฟิลิค เป็นเวลานานพอที่จะฆ่าเชื้อโรคในกองหมักได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ พีเอช แอมโมเนียไนโตรเจนไนไตรท์ไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ดัชนีการงอก สารอินทรีย์คาร์บอน ในแต่ละกองมีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนอุณหภูมิภายในกองหมักมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเทอร์โมฟิลิค แล้วลดลงมาถึงอุณหภูมิบรรยากาศเหมือนกัน แต่อุณหภูมิภายในกองหมักแต่ละกองมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละวัน

อนุวัฒน์ เฟื่องจันทร์ (2546) ได้ทำการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษอาหารจากครัวเรือนมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย และศึกษาผลของการกวนและการเติมอากาศที่มีผลต่อการทำงานของเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียโดยใช้ถังหมักขนาดเล็กขนาดประมาณ 100 ล. โดยการทดลองจะนำเอาเศษอาหารมาผสมกับใบไม้แห้งเพื่อปรับความชื้นให้มีค่าประมาณร้อยละ 50-65 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 25/1-30/1 แล้วนำวัสดุหมักมาใส่ในถังหมัก โดยติดตั้งท่อสำหรับเติมอากาศไว้บริเวณด้านล่างของถัง ใส่วัสดุหมักครึ่งถัง จากนั้นมีการเติมวัสดุหมักประมาณ 10 วัน ในระหว่างการหมักจะมีการกวนและการเติมอากาศ ในอัตราการเติมที่แตกต่างกัน โดยใช้เครื่องเติมอากาศและใช้การเติมอากาศโดยวิธีธรรมชาติ

ผลการทดลองมีดังนี้ ร้อยละการลดลงของคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์มีมากขึ้น เมื่อความถี่ในการกวนมีมากขึ้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพดี มีธาตุอาหารที่พืชต้องการสูง และมีปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อที่เป็นอันตรายต่ำ และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ USEPA (1981)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สรพรรณ อมตธรรม (2546) ได้ทำการทดลองศึกษาผลของการให้ความร้อนในการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารโดยใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย โดยนำเศษอาหารมาผสมกับขี้เลื่อย หรือใบไม้แห้งเพื่อปรับค่าความชื้นให้มีค่าประมาณร้อยละ 55-65 เติมปุ๋ยยูเรียเพื่อปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในช่วง 25/1-30/1 เติมเชื้อเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียลงไป แล้วนำไปให้ความร้อนโดยถังหมุนจนถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการ และรักษาอุณหภูมิให้คงที่เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงนำไปหมักต่อในกล่องหมักเป็นเวลา 30 วัน และนำไปบ่มในโรงบ่มอีกประมาณ 60 วันโดยในการทดลองจะให้ความร้อนในถังหมุนจนถึงอุณหภูมิ 30, 40, 50, 60 และ70 °ซ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับการไม่ให้ความร้อนในถังหมุน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนแก่วัสดุหมักที่อุณหภูมิต่างๆ กันก่อนนำไปหมักมีผลต่อกระบวนการหมัก คือในการหมักเศษอาหารผสมขี้เลื่อย อุณหภูมิ 40 °ซ ให้ผลดีที่สุด โดยมีค่าการลดลงของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนสูงสุดร้อยละ 17 และปุ๋ยหมักได้ที่ภายใน 79 วัน ขณะที่กองอื่นๆ ยังคงไม่ได้ที่เมื่อหมักครบ 100 วันแล้ว มีค่าคาร์บอนที่ลดลงร้อยละ 6-10 เนื่องจากการย่อยสลายเซลลูโลส และลิกนินที่มีมากในขี้เลื่อยนั้นต้องอาศัยจุลินทรีย์เฉพาะกลุ่ม คือ เชื้อราในกลุ่มเทอร์โมฟิลิค ซึ่งเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 40-50 °ซ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิดังกล่าวจึงช่วยให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลสและลิกนินได้มากกว่ากองอื่นๆ

สำหรับการหมักเศษอาหารผสมใบไม้แห้งนั้นพบว่า การให้ความร้อนไม่มีผลต่อค่าคาร์บอนที่ลดลงมากนัก แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงก็มีผลให้ใช้เวลาในการหมักสั้นลง นอกจากนี้ใบไม้แห้งยังช่วยรักษาความชื้นของกองหมักได้ดีกว่าขี้เลื่อยอีกด้วย

ปุ๋ยหมักที่ได้จากการศึกษานี้มีคุณภาพดี มีธาตุอาหารที่พืชต้องการสูง ทั้งสองการทดลองไม่พบเชื้อ Salmonella, Shigella และ Cholera แต่พบเชื้อแบคทีเรีย Pseudomonas aeruginosa ไข่และตัวอ่อนของพยาธิ Strongyloides stercoralis

เจนวิทย์ กรอบทอง (2544) ได้ทำการทดลอง ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ได้แก่ เศษลำไย เศษสับปะรด เศษฟรุตสลัด และเศษขิงดอง นำมาผสมกับใบไม้แห้ง ซึ่งจะเปรียบเทียบการใช้สารเร่งปุ๋ยหมักต่างชนิดกันคือ สารไบโอนิค กับเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย วัตถุดิบจะถูกผสมให้เข้ากันโดยใช้ถังหมุนที่มีปริมาตร 300 ล. อัตราส่วนการผสมได้ถูกควบคุมด้วยความชื้นร้อยละ 55-65 ตลอดจนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าไม่เกิน 25/1 โดยเมื่อเริ่มการทดลองจะมีการเติมปุ๋ยยูเรียให้กองปุ๋ยหมักเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณไนโตรเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการทดลองพบว่า การทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องและใบไม้แห้งด้วยวิธีดังกล่าวสามารถทำปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี ยกเว้นการผสมเศษขิงดองกับใบไม้แห้ง ที่การหมักไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ส่วนการผสมเศษลำไย เศษสับปะรด และเศษฟรุตสลัดกับใบไม้แห้งนั้น ในระหว่างการหมักในกล่อง สามารถรักษาอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลกเป็นระยะเวลานาน ขณะทำการขณะทำการทดลองไม่พบกลิ่นเน่า ในช่วงการหมักในกล่องความชื้นได้ลดลงจากร้อยละ 57-67 เหลือร้อยละ 39-67 ส่วนในระหว่างการบ่ม ค่าความชื้นได้ควบคุมให้อยู่ระหว่างร้อยละ 55-65 ด้วยการเติมน้ำและพลิกกลับกองหมัก พีเอชเริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อสิ้นสุดการหมักแอมโมเนียไนโตรเจนลดลงต่ำกว่า 400 มก./กก. โดยน้ำหนักแห้ง ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่า 64-115 มล.อิควิวา-เลนท์/100 ก.โดยน้ำหนักแห้ง และกองปุ๋ยหมักมีขนาดลดลงอย่างชัดเจน

การใช้สารไบโอนิคกับเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียเป็นสารเร่งปุ๋ยหมักกับวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องผสมกับใบไม้แห้งดังกล่าวนั้น เมื่อเปรียบเทียบวัตถุดิบอย่างเดียวกันนั้นพบว่าไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมีในกองปุ๋ยหมักที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และใช้ระยะเวลาในการหมักใกล้เคียงกัน ทั้งนี้การใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียจะช่วยทำให้กองปุ๋ยหมักมีค่าการลดลงของมวลมากกว่าการใช้สารไบโอนิค แต่การสารไบโอนิคจะประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่าการใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย

อานุภาพ แก้วกรอง (2541) ศึกษาการหมักปุ๋ยจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนกับเศษหญ้าและการหมักปุ๋ยจากกากตะกอนกับใบไม้แห้ง โดยผสมวัสดุหมักให้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นอยู่ในช่วง 25/1-30/1 ใส่สารเร่ง พด.-1 และควบคุมความชื้นให้มีค่าร้อยละ 60-70 ตลอดการทดลอง กองหมักมีขนาดกว้างและยาวด้านละ 1.5 ม. ใช้ท่อพีวีซีเจาะรูเสียบในกองหมักเพื่อเป็นการให้อากาศ เปรียบเทียบปุ๋ยหมักที่มีความสูง 0.5, 1.0 และ 1.5 ม. และปุ๋ยหมักที่พลิกกลับกองหมักทุกๆ 14 วัน กับปุ๋ยหมักที่ไม่มีการพลิกกลับกอง พบว่าปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสียกับใบไม้แห้งย่อยสลายได้ดีกว่าปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสียกับเศษหญ้า โดยปุ๋ยหมักที่มีความสูง 1 ม. มีคุณภาพดีที่สุด และปุ๋ยหมักที่ทำการพลิกกลับกองหมักทุกๆ 14 วัน มีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าปุ๋ยหมักที่ไม่มีการพลิกกลับ โดยได้ปุ๋ยหมักที่มีเสถียรภาพที่เวลา 100 วัน คุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน คือ มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในช่วง 94-137 มล.อิควิวาเลนท์/100 ก. มีองค์ประกอบเถ้าในช่วงร้อยละ 28-43 อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชุมชนกับเศษหญ้ามีการลดลงของมวลเพียงร้อยละ 18.5-24.1 ซึ่งต่ำกว่าปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนกับใบไม้ที่มีการลดลงของมวลถึงร้อยละ 30.5-40.3

พูนศักดิ์ จันทร์จำปี (2541) ได้ทำการทดลองศึกษาการทำปุ๋ยหมักด้วยเศษอาหารจากตลาดและเศษอาหารจากร้านอาหารผสมกับวัสดุเหลือใช้การเกษตรซึ่ง ได้แก่ เปลือกข้าว ขี้เลื่อย ใบไม้แห้ง และเปลือกถั่วลิสง โดยใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียชนิด Bacillus ผสมกันในถังหมุนที่มีปริมาตร 300 ล. อัตราส่วนการผสมได้ถูกควบคุมด้วยความชื้นร้อยละ 55-65 วัตถุดิบถูกผสม และให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 75 °ซ ในเวลา 3 ชม. หลังจากนั้นนำไปหมักในกล่องหมักประมาณ 1 เดือนแล้วนำไปหมักต่อในกองบ่มจนกระทั่งได้ที่เป็น เวลา 2 เดือน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การทำปุ๋ยหมักด้วยเศษอาหาร และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรด้วยวิธีดังกล่าวสามารถทำปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี โดยที่ในระหว่างการหมักในกล่องสามารถรักษาอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิคได้เป็นเวลานาน และมีปริมาณออกซิเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 3.5-16.3 ซึ่งแสดงถึงสภาพการหมักเป็นแบบมีอากาศ ขณะทำการทดลองไม่พบกลิ่นเหม็นเน่า ใบไม้แห้งสามารถรักษาความชื้นในกล่องได้ดีกว่าวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรชนิดอื่นๆ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าลดลง ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนผสมของขี้เลื่อย และใบไม้แห้งมีการลดลงของขนาดอย่างเห็นได้ชัด เมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่พบเชื้อโรคที่เป็นอันตราย

Polprasert (1989) ได้ทำการวิจัยการหมักปุ๋ยแบบการหมักแบบเติมอากาศบนพื้นแบบจีน วัสดุหลักที่นำมาหมักคือผักตบชวาที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ (ยาว 1-2 ซม.) มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 20/1 และไนโตรเจนร้อยละ 1.6 อุจจาระปนปัสสาวะของหมู มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 8 และไนโตรเจนร้อยละ 3.8 และจะทำการเติมใบไม้ มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 60/1 และไนโตรเจนร้อยละ 5.5 เพื่อปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และเพื่อช่วยในการระบายอากาศของกองหมักนอกจากนี้ยังใช้ฟางข้าวคลุมกองหมักเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน แบ่งการทดลองออกเป็น 2 กอง กองที่ 1 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 25/1 ส่วนกองที่ 2 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30/1 และในระยะเวลาสองสัปดาห์แรกได้ทำการควบคุมค่าความชื้นภายในกองหมักไว้ที่ร้อยละ 60-70 โดยใช้วิธีการพ่นน้ำ

ผลการศึกษาพบว่าในช่วง 2-3 วันแรกของการหมัก อุณหภูมิในกองปุ๋ยมีค่าสูงขึ้นถึงประมาณ 53-60 °ซ ซึ่งมีผลในการฆ่าเชื้อโรคได้ดี และหลังจากนั้นอุณหภูมิของทั้งสองกองก็ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างรวดเร็ว จนลงมาถึงในระดับอุณหภูมิบรรยากาศภายในระยะเวลา 30 วัน และที่เวลา 30 วัน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทั้งสองกองมีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 22/1 และ 16/1 ตามลำดับ มีค่าไนโตรเจนร้อยละ 1.85 และ 1.95 ตามลำดับ มีค่าฟอสฟอรัสร้อยละ 1.28 และ 1.08 ตามลำดับ และภายหลังจากการหมักเป็นระยะเวลา 80 วันอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทั้งสองกองมีค่าลดลงเท่ากับ 10.99 และ 11.8 ตามลำดับ มีค่าไนโตรเจนร้อยละ 2.37 และ 2.11 ตามลำดับ มีค่าฟอสฟอรัสร้อยละ 1.58 และ 1.32 ตามลำดับ จากการทดลองได้สรุปว่าสามารถนำผักตบชวามาผสมกับอุจจาระปนปัสสาวะของหมู แล้วใช้ใบไม้ปรับค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นให้เหมาะสมตามต้องการเพื่อทำปุ๋ยหมักได้ โดยค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่ค่า 25/1 และ 30/1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved