

บทที่ 2

ทฤษฎีและสรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ ภายใต้สภาวะที่ควบคุมให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์มากที่สุด จนกระทั่งได้สารอินทรีย์วัตถุที่มีความคงตัว ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำมีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ สามารถทำการเก็บไว้ และนำไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรกรรมได้ โดยไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.2 วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

จุดประสงค์หลักของการทำปุ๋ยหมักเพื่อเป็นการแปรสภาพวัสดุเหลือทิ้งในรูปของแข็งให้เป็นสารอินทรีย์วัตถุที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้อีก สำหรับวัสดุเหลือทิ้งในรูปของแข็งที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมักสามารถจำแนกเป็นแหล่งใหญ่ ๆ ดังนี้คือ

2.2.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจึงมีอยู่ทั่วไป เช่น ฟางข้าว ใบพืช ลำต้นพืช เปลือกและกาก เป็นต้น วัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวเกษตรกรมักจะนำออกจากไร่นาหรือกำจัดโดยการเผาทิ้งซึ่งเป็นการทำลายธาตุอาหารที่พืชดูดจากดิน เป็นเหตุให้ธาตุอาหารของพืชในดินลดน้อยลง สิ่งที่จะทดแทนธาตุอาหารพืชเหล่านี้ก็โดยการใส่ปุ๋ยเคมี ซึ่งในสภาพเศรษฐกิจปัจจุบันปรากฏว่าราคารับปุ๋ยเคมีเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ นอกจากนี้ปุ๋ยเคมีถึงแม้ว่าจะให้ผลตอบแทนที่รวดเร็วและเห็นผลได้ชัดเจน แต่ผลจากการใช้ปุ๋ยเคมีต่อเนื่องกันเป็นเวลานานๆจะทำให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเสียไปกล่าวคือ ทำให้ดินแน่นและมีความเป็นกรดสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้การที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำปุ๋ยหมัก จึงเป็นแนวทางที่ดีที่นำสิ่งเหลือทิ้งต่างๆกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก

2.2.2 วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

การเพิ่มผลผลิตทางด้านอุตสาหกรรมเพื่อให้สอดคล้องกับผลผลิตทางด้านเกษตรกรรมนั้นเป็นการแปรรูปของวัตถุดิบทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การขยายตัวด้านอุตสาหกรรมในประเทศไทยก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเช่น กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้ กากสับปะรดจากโรงงานสับปะรดกระป๋อง ขี้เลื่อยจากโรงเลื่อย แกลบจากโรงสี ขุยมะพร้าวจากโรงงานกะเทาะมะพร้าว กากเส้นใยปอจากโรงงานแปรง

มันสำปะหลัง เปลือกผลไม้จากโรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง กากปลาจากโรงงานทำน้ำปลา เศษเนื้อต่าง ๆ จากโรงงานฆ่าสัตว์ เป็นต้น แนวทางในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว ได้แก่ การนำมาผลิตปุ๋ยหมัก

2.2.3 วัสดุเหลือทิ้งจากบ้านเรือน

ในเขตชุมชนที่มีประชากรอยู่ร่วมกันจำนวนมากมักจะมีปัญหาในการกำจัดขยะที่เกิดขึ้นทุกวันแนวทางที่สามารถนำขยะเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ได้คือ นำมาทำปุ๋ยหมัก ซึ่งมักเรียกว่าปุ๋ยอินทรีย์ แต่ยังมีปัญหาในการแยกวัสดุที่ปะปนมา เช่น เศษแก้ว เศษโลหะ และเศษพลาสติกต่างๆ

2.2.4 วัชพืช

วัชพืชทุกชนิดที่มีอยู่ตามไร่ นา สวน และวัชพืชน้ำหลายชนิด เช่น ผักตบชวา สะวะในแม่น้ำลำคลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักตบชวาที่เป็นปัญหาในการกำจัดอยู่ในขณะนี้ การนำวัชพืชต่างๆ มาทำปุ๋ยหมัก จึงนับว่าเป็นแนวทางในการกำจัดที่ดี โดยเปลี่ยนให้เป็นปุ๋ยหมักที่มีประโยชน์ต่อการปรับปรุงดิน และช่วยทำลายแหล่งของศัตรูพืชได้เป็นอย่างดี

2.2.5 มูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ

มูลสัตว์จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ เช่น มูลสุกร มูลโค เป็นต้น รวมไปถึงอุจจาระและปัสสาวะของมนุษย์ถึงเหล่านี้นสามารถนำมาใช้ผสมกับเศษพืชทำเป็นปุ๋ยหมักได้

2.2.6 เชื้อจุลินทรีย์บางชนิด

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเชื้อจุลินทรีย์เพื่อนำมาใช้เร่งการหมักให้เร็วขึ้นที่เรียกว่า สารเร่งปุ๋ยหมัก โดยกรมพัฒนาที่ดินจะแจกจ่ายให้เกษตรกรหรือผู้สนใจ ในจำนวนที่เหมาะสมกับปริมาณที่ต้องการจะทำปุ๋ยหมัก ซึ่งปกติแล้วสารเร่งปุ๋ยหมัก 1 ชอง (200 กรัม) สามารถใช้ได้กับวัสดุที่จะนำมาทำปุ๋ยหมักได้ 1,000 กิโลกรัม

2.2.7 สารเคมีชนิดต่าง ๆ

ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น ปุ๋ยยูเรีย ก็สามารถนำมาผสมกับเศษพืชเพื่อเป็นตัวเร่งทำให้เศษพืชสลายตัวเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วขึ้น อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้กับกองปุ๋ยหมักทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพดี

2.2.8 น้ำและวัสดุอื่น ๆ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะช่วยให้การหมักช้าหรือเร็ว เพราะเป็นตัวช่วยปรับความชื้นในกองหมักให้เหมาะสม หากกองปุ๋ยหมักแห้งหรือความชื้นต่ำแล้วจะทำให้การสลายตัวจะเป็นไปได้ช้ามาก แต่ถ้ามีน้ำขังอยู่ในกองปุ๋ยหมักจะทำให้ธาตุอาหารสูญเสียจากกองปุ๋ยได้ง่ายเช่นกัน (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย, 2533) ส่วนวัสดุอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากที่กล่าวมาเช่น ปูนขาว จะนำมาปรับ

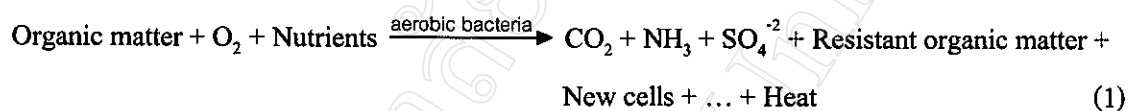
ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของกองปุ๋ยหมักให้เหมาะแก่การย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย นอกจากนี้ดินก็สามารถนำมาผสมในกองปุ๋ยหมักได้เช่นกัน เนื่องจากดินมีส่วนช่วยรักษาความชื้นในกองปุ๋ยหมัก และในดินเองยังมีจุลินทรีย์อยู่ด้วยจึงเป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักไปในตัว ส่งผลให้การย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น

2.3 ประเภทของการหมัก

การหมักแบ่งได้เป็นการหมักแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ดังต่อไปนี้คือ

2.3.1 การหมักแบบใช้ออกซิเจน

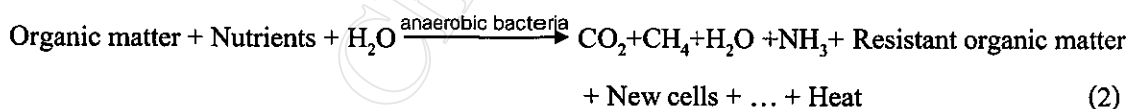
เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจน สามารถแสดงปฏิกิริยาการย่อยได้ดังสมการที่ 1



จากสมการที่ 1 จะเห็นว่า Organic matter หรือสารอินทรีย์ ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น ส่วน Resistant organic matter หรืออินทรีย์สารคงตัวจะเป็นปุ๋ยหมักที่เกิดขึ้นนั่นเองโดยจะเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อีกต่อไป เซลที่เกิดขึ้นใหม่เมื่อตายไปจะถูกย่อยสลายไปเป็นอินทรีย์สารคงตัวเช่นกัน

2.3.2 การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยสมการของการย่อยสลายเป็นดังนี้



จากสมการที่ 2 จะเห็นว่ากระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้จะทำให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ แต่ผลเสียที่ตามมาคือ กลิ่นเหม็น จากก๊าซไข่เน่า (H_2S) และใช้เวลาในการหมักนานกว่าการหมักแบบใช้ออกซิเจนดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ก. กระบวนการไฮโดรไลซิส คือ กระบวนการที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ในรูปโพลีเมอร์และไขมันที่มีโมเลกุลซับซ้อนไปเป็นน้ำตาลและไขมันโมเลกุลเดี่ยว

ข. กระบวนการลดมวลโมเลกุลของสารประกอบ คือ กระบวนการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนที่ 1 ไปเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลลดลง เช่น กรดอะซิติก เมทานอล จุลินทรีย์ดังกล่าวคือ แบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรดซึ่งมีทั้งแฟคคัลเททีฟแบคทีเรีย (Facultative Bacteria) และแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน

ค. กระบวนการเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ คือ กระบวนการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จุลินทรีย์ดังกล่าวคือแบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทนซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์ชนิดนี้มีอัตราการเจริญเติบโตช้ามาก ดังนั้นอัตราเมตาโบลิซึมจึงเป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนซึ่งปฏิกิริยานี้จะสิ้นสุดเมื่อมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนเกิดขึ้น

2.4 วิธีการหมัก

วิธีการหมักแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ได้แก่ การหมักแบบไม่ใช้ถังปฏิกิริยาและการหมักแบบใช้ถังปฏิกิริยา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

2.4.1 การหมักแบบไม่ใช้ถังปฏิกิริยา

เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ที่เป็นสารอินทรีย์มาวางกองรวมกันแล้วทิ้งไว้ให้เกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งอาจจะมีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศเพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาหรือไม่ใช้ก็ได้ รวมไปถึงการพลิกกลับกองปุ๋ยก็จะช่วยทำให้เกิดการผสมตัวของวัสดุในกองหมัก มีการถ่ายเทอากาศและยังช่วยให้เกิดการย่อยสลายทั่วถึงตลอดทั้งกอง

ก. Windrow

Windrow เป็นรูปแบบการหมักแบบไม่ใช้ถังปฏิกิริยาที่นิยมมากที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อน เพียงแค่ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันแล้ววางกองเป็นแนวยาวและทำการพลิกกลับในช่วงเวลาที่เหมาะสม ปกติ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (Hay and Kucherither, 1990) วิธีนี้จะมีการเติมอากาศจากเครื่องเติมอากาศ หรือไม่ใช้ก็ได้ ส่วนขนาดของความสูง ความกว้าง และรูปร่างของกองปุ๋ยนั้นขึ้นกับสภาพของวัตถุดิบและอุปกรณ์ในการพลิกกลับ ถ้าใช้เครื่องจักรในการพลิกกลับกองปุ๋ยสามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่ได้ วิธีนี้ต้องใช้พื้นที่มากเพราะมีการเคลื่อนย้ายกองปุ๋ย รูปที่ 1 แสดงไคอะแกรมของการทำปุ๋ยหมักแบบ Windrow

โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักแบบนี้ไม่มีข้อกำหนดแน่นอน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาใช้ทำ ปุ๋ยหมัก เช่น เศษพืช ขยะเหลือทิ้งต่างๆ มูลสัตว์ ปุ๋ยไนโตรเจน และสารตัวเร่ง เป็นต้น ซึ่งวิธีการทำปุ๋ยหมักที่ทำกันโดยทั่วไปมีแนวทางในการปฏิบัติดังนี้คือ

การทำปุ๋ยหมักแบบใช้เศษพืชอย่างเดียว รวบรวมเศษพืชแล้วนำมากองให้มีขนาดกว้างประมาณ 2-3 เมตร สูงประมาณ 1-1.5 เมตร ส่วนความยาวของกองไม่จำกัดขึ้นอยู่กับวัสดุที่มีอยู่ ย่ำกองวัสดุให้แน่น ขณะเดียวกันรดน้ำให้ชุ่มโดยให้น้ำซึมไปทั่วทุกส่วนของกองวัสดุ เมื่อกองวัสดุแน่นและชุ่มน้ำดีแล้ว นำดินทับไว้ที่ผิวด้านบนของกองปุ๋ยหมักให้หนาประมาณ 1-2 นิ้ว การกองปุ๋ยหมักโดยวิธีนี้จะให้เวลานานมาก เนื่องจากไม่มีการเติมปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษพืช

การทำปุ๋ยหมักโดยผสมมูลสัตว์ ในกรณีที่เกษตรกรมีมูลสัตว์มาผสมในอัตราส่วนวัสดุเศษพืชต่อมูลสัตว์ 100 ต่อ 10 (โดยน้ำหนักเปียก) ตามที่กล่าวมาแล้วว่าการกองปุ๋ยหมักไม่มีข้อกำหนดแน่นอน ดังนั้นในกรณีที่มีมูลสัตว์จำนวนมาก สามารถนำไปใช้ในปริมาณที่มากขึ้นได้ซึ่งจะเป็นผลดีในด้านกระบวนการย่อยสลายและคุณภาพของปุ๋ยหมักด้วย เนื่องจากในมูลสัตว์จะมีเชื้อจุลินทรีย์จำนวนมากและมีปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อพืชอีกด้วย ในขั้นแรกควรนำเศษวัสดุมากองเป็นชั้นให้กว้างประมาณ 2-3 เมตร สูงประมาณ 30-40 เซนติเมตร ย่ำให้แน่นและรดน้ำให้ชุ่ม นำมูลสัตว์โรยที่ผิวน้ำให้ทั่ว หลังจากนั้นนำวัสดุเศษพืชกองทับอีกชั้นหนึ่ง โดยปฏิบัติเหมือนการกองชั้นแรกและทำการกองปุ๋ยหมักประมาณ 3-4 ชั้น ที่ผิวน้ำบนของกองปุ๋ยหมักควรนำมูลสัตว์โรยให้ทั่ว โดยมีความหนาประมาณ 1-2 นิ้ว

การทำปุ๋ยหมักโดยผสมมูลสัตว์และปุ๋ยไนโตรเจน สำหรับเกษตรกรที่มีปุ๋ยไนโตรเจนอาจจะใช้ผสมลงในกองปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มแหล่งไนโตรเจนให้แก่จุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษพืชให้รวดเร็วขึ้น ในขณะเดียวกันบางส่วนของแหล่งไนโตรเจนเหล่านี้ก็ยังคงอยู่ในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์และอินทรีย์ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมักอีกด้วย อัตราส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้คือ 2.0 กิโลกรัม ต่อเศษพืช 1 ตัน ดังนั้นส่วนผสมของปุ๋ยหมักวิธีนี้คือ เศษพืชต่อมูลสัตว์ต่อปุ๋ยไนโตรเจน เท่ากับ 100 : 10 : 0.2 ตามลำดับ

วิธีการกองปุ๋ยหมักปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น โดยทำการกองเศษพืชเป็นชั้นๆ เมื่อโรยมูลสัตว์ที่ผิวน้ำของเศษพืชเรียบร้อยแล้วจึงโรยปุ๋ยไนโตรเจนให้ทั่วบนชั้นของมูลสัตว์แล้วจึงนำเศษพืชมากองในชั้นต่อไปการกองปุ๋ยหมักโดยวิธีนี้จะช่วยลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้สั้นลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเศษพืชที่มีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง

การทำปุ๋ยหมักโดยผสมสารเร่งประเภทจุลินทรีย์ ส่วนผสมเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น แต่มีการใส่สารเร่งประเภทจุลินทรีย์ลงในกองปุ๋ยหมักเพื่อลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้สั้น

ลง กรมพัฒนาที่ดินได้นำสารเร่งปฏิกิริยาหมักมาแจกจ่ายให้แก่เกษตรกรและผู้สนใจ มีชื่อการค้าว่า ไบโอนิค ซึ่งผลิตโดยบริษัท ไมโครไบโอเทค จำกัด ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้นี้ไม่เป็นอันตรายต่อคน สัตว์ และพืช โดยมีวิธีใช้ดังนี้คือ ละลายไบโอนิค 1 ซอง(200 กรัม) ในน้ำอุ่น (45°-50°ซ) จำนวน 20 ลิตร และคนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที และคนบ่อย ๆ เจือจางด้วยน้ำธรรมดา 200 ลิตร ใส่บัวรดบนกองปุ๋ยหมัก ข้อควรระวัง เมื่อเปิดซองแล้วควรใช้ให้หมดในครั้งเดียว และเตรียมเชื้อเสร็จรีบใช้ทันที อย่าทิ้งไว้เกินกว่า 2 ชั่วโมง อีกทั้งอย่าเก็บเชื้อไว้กลางแดดหรือในที่ร้อน

อัตราส่วนผสมของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ทำปุ๋ยหมักแบบใช้เชื้อจุลินทรีย์เป็นสารเร่งมีดังนี้คือ

เศษวัสดุเหลือทิ้ง	1,000 กิโลกรัม
มูลสัตว์	200 กิโลกรัม
ปุ๋ยยูเรีย	2 กิโลกรัม
สารเร่ง(ไบโอนิค)	200 กรัม

เมื่อโรยมูลสัตว์และปุ๋ยในโตรเจนที่ผิวหน้าของเศษพืชแล้วจะราดสารละลายของสารเร่งให้ทั่ว โดยทำการแบ่งใส่เป็นชั้นๆ หลังจากนั้นจึงนำเศษพืชมากองทับในชั้นต่อไป ในกรณีที่เศษวัสดุในการกองปุ๋ยหมักเป็นชิ้นขนาดเล็ก เช่น จี๊เลื่อย แกลบหรือขุยมะพร้าว อาจคลุกเคล้ามูลสัตว์ปุ๋ยในโตรเจนและสารเร่งให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอโดยไม่ต้องกองเป็นชั้นๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น การกองวิธีนี้ปุ๋ยหมักจะใช้ได้อย่างรวดเร็ว และทันฤดูกาลเพราะปลูก เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีปริมาณเศษพืชมากๆ มีระบบการชลประทานที่ดี และมีการปลูกพืชหลายครั้ง

การทำปุ๋ยหมักโดยวิธีการต่อเชื้อ การทำปุ๋ยหมักโดยวิธีนี้จะช่วยให้เกษตรกรประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากเกษตรกรสามารถทำปุ๋ยหมักได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่จำเป็นต้องซื้อสารเร่งทุกครั้ง เพราะเกษตรกรสามารถนำปุ๋ยหมักที่ทำได้มาใช้แทนเป็นสารตัวเร่งสำหรับทำปุ๋ยหมักกองใหม่ต่อไป เนื่องจากจุลินทรีย์ในสารตัวเร่งยังคงมีชีวิตอยู่ในปุ๋ยหมักที่ทำได้ โดยใช้อัตราส่วนดังนี้คือ วัสดุเศษพืช 1 ตัน ผสมกับปุ๋ยหมักที่เป็นแล้ว 100-200 กิโลกรัม สำหรับวิธีการกองปุ๋ยหมักปฏิบัติเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น โดยทำการกองเศษพืชเป็นชั้นๆ ในกรณีที่เศษวัสดุเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็ก จะคลุกเคล้าเศษวัสดุกับปุ๋ยหมักโดยตรง การกองปุ๋ยหมักโดยวิธีนี้จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและลดต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักที่จะนำไปต่อเชื้อนี้เกษตรกรจะต้องมีการดูแลและเก็บรักษา คือต้องไม่ทิ้งตากแดดและลม และควรให้ความชื้นอยู่ในระดับที่พอเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

ข. Static Pile

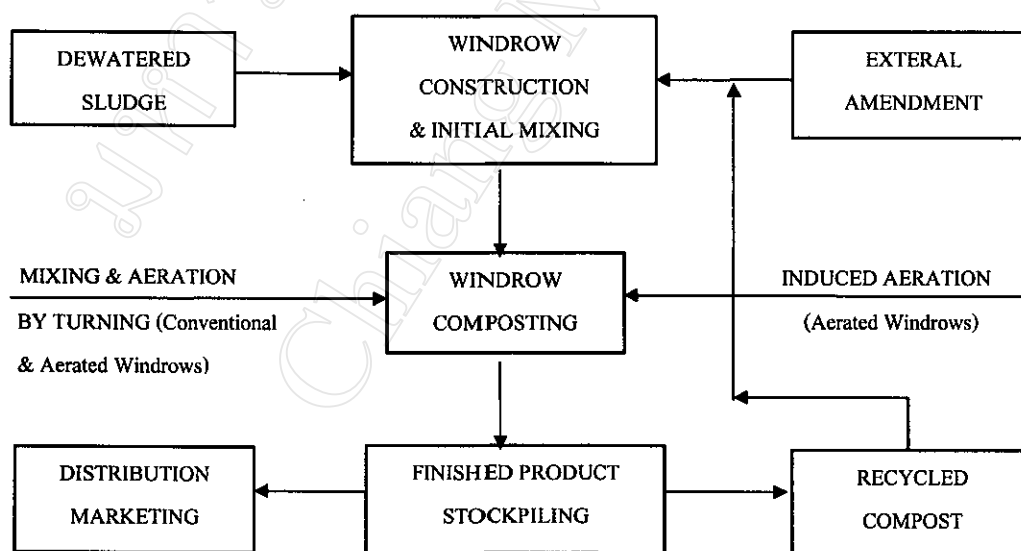
การหมักด้วยวิธีนี้จะไม่มีการพลิกกลับกองปุ๋ย มักใช้วัสดุที่มีลักษณะค่อนข้างเปียกในการหมัก เช่น กากตะกอนจากน้ำเสียมาผสมกับวัสดุ เช่น จี๊เลื่อย เพื่อปรับโครงสร้างของวัสดุให้มี

ความพรุนสูงขึ้น เกิดการแพร่ผ่านของอากาศผ่านรูพรุนจากการเติมอากาศโดยเครื่องเติมอากาศ วิธีนี้จะต้องย่นขนาดของวัสดุที่ใช้ในการหมักกลึง เพื่อให้การย่อยสลายเกิดสม่ำเสมอทั่วทั้งกอง รูปที่ 2 แสดงกองปุ๋ยแบบ Windrow และ Static pile

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่างการหมักแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

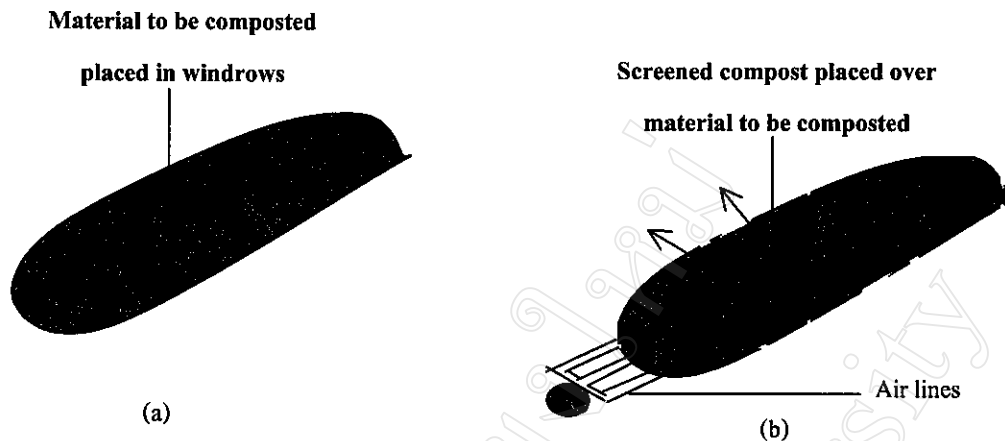
ลักษณะที่ใช้เปรียบเทียบ	การหมักแบบใช้ออกซิเจน	การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน
การใช้พลังงาน	ใช้พลังงานจากภายนอก	ให้พลังงานจากการหมัก
ผลผลิต	ชีวมีส, คาร์บอน ไดออกไซด์ และน้ำ	คาร์บอน ไดออกไซด์, สลัดจ์ และก๊าซมีเทน
การลดลงของปริมาตร	น้อยกว่า 50 %	น้อยกว่า 50 %
เวลาในการหมัก	20-30 วัน	20-40 วัน
จุดประสงค์	ลดปริมาณขยะ	ผลิตพลังงาน
ผลพลอยได้	ปุ๋ยหมัก	ลดปริมาณขยะและได้ขยะที่คงตัว

ที่มา: Tchobanoglous et al., 1993



รูปที่ 1 โคอะแกรมการทำปุ๋ยหมักด้วยวิธี Windrow

ที่มา: Hay et al., 1990



รูปที่ 2 กองปุ๋ยแบบ Windrow (a) และ Static Pile (b)

ที่มา: Tchobanoglous, 1993

2.4.2 การหมักแบบใช้ถังปฏิกริยา

ระบบการหมักนี้จะทำการหมักโดยนำวัตถุดิบมาใส่ในถังปฏิกริยาปิด โดยป้อนอากาศผ่านทางท่อขนาดใหญ่ วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ภายในถังโดยการอัดตัวของวัตถุดิบที่เข้ามาใหม่ หรือมีอุปกรณ์เพื่อช่วยในการผสมภายในถังหมัก การหมักแบบใช้ถังปฏิกริยานี้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามทิศทางการวางของถังปฏิกริยา ดังนี้

ก. ถังปฏิกริยาวางในแนวตั้ง

ถังปฏิกริยาชนิดนี้ถูกกำหนดตามลักษณะการวาง วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ตามแนวตั้งจากบนลงล่าง หรือจากด้านล่างขึ้นบนก็ได้ ดังรูปที่ 3 การป้อนวัตถุดิบสามารถใช้ได้ทั้งการป้อนแบบต่อเนื่องและเป็นครั้งคราว ถังปฏิกริยานี้สามารถใช้ได้ทั้งแบบกลมและแบบสั่นเหวี่ยง ความลึกของวัตถุดิบในถังปฏิกริยานั้นมักใช้ความลึกระหว่าง 6-9 เมตร ค่าดำเนินการของระบบนี้มีราคาต่อหน่วยการผลิตต่ำ

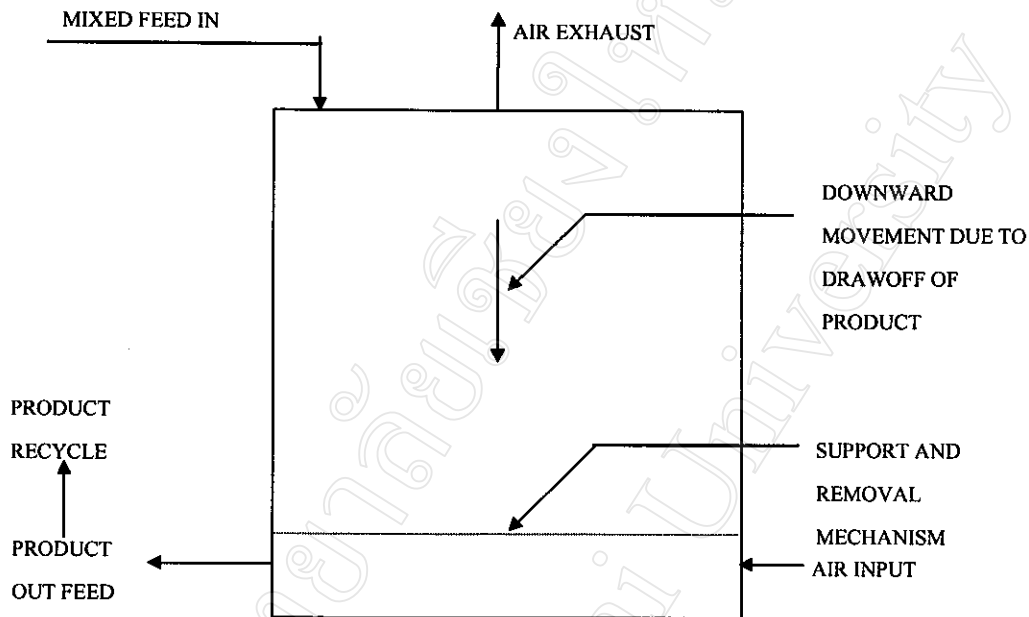
ข. ถังปฏิกริยาวางในแนวนอน

หลักการโดยทั่วไปของถังปฏิกริยาชนิดนี้จะเหมือนกับชนิดวางในแนวตั้งต่างกันเพียงทิศทางการวางถังปฏิกริยาเท่านั้นถังหมุน (Rotary Drum) ดังรูปที่ 4 เป็นถังปฏิกริยาในแนวนอนที่นิยมใช้กันมาก

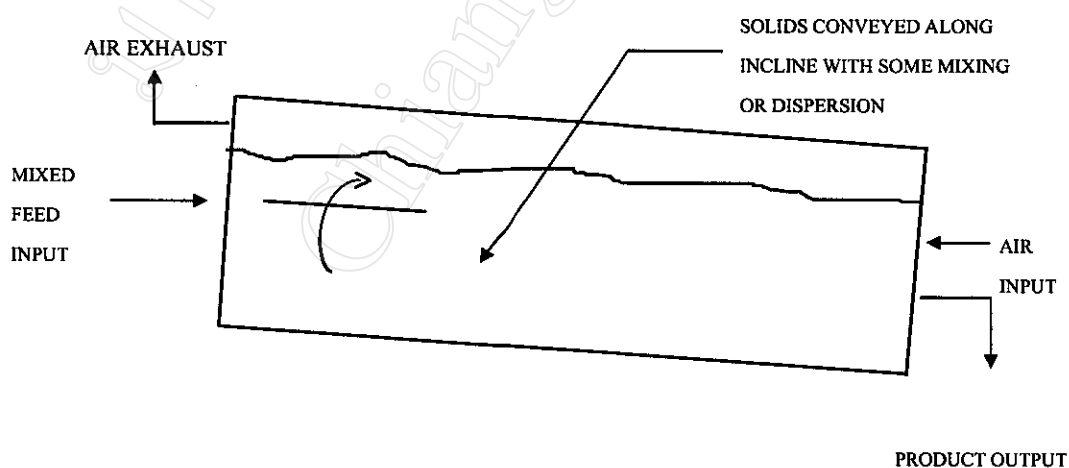
2.4.3 การหมักในกอง

การหมักชนิดนี้เป็นการหมักแบบ Batch ซึ่งมักใช้ภาชนะเป็นรูปกลอง วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าถังในตอนเริ่มต้น หลังจากนั้นจะใช้เวลาประมาณ 7-14 วันก็จะสิ้นสุดการหมัก

ในการหมักทั้งที่ใช้และไม่ใช้ถังปฏิกริยานั้น ปุ๋ยหมักที่ได้ยังอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์พอที่จะนำไปใช้ได้ทันที เช่น ในถังหมุนซึ่งใช้ระยะเวลาหมักเป็นวัตถุดิบ ใช้เวลาในถังปฏิกริยา 1-4 วันซึ่งเวลานั้นสั้นเกินไปที่จะทำให้ปุ๋ยหมักได้ที่ ดังนั้นจึงต้องนำไปทำการบ่ม (Curing) ต่อ ไม่ว่าจะด้วยวิธี Static Pile หรือ Windrows เพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี และปราศจากเชื้อโรค



รูปที่ 3 ถังปฏิกริยาทางในแนวตั้ง
ที่มา: Haug, 1993



รูปที่ 4 ถังปฏิกริยาทางในแนวนอนแบบถังหมุน
ที่มา: Haug, 1993

2.5 ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ดังนั้นสภาพแวดล้อมต่างๆ ภายในกองปุ๋ยหมักจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะเป็นตัวควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์และมีผลต่อไปถึงอัตราการย่อยสลายด้วย สำหรับปัจจัยของสภาพแวดล้อมดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้ดังนี้คือ

2.5.1 ปริมาณสารอาหาร

โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักมักจะพิจารณาถึง ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษวัสดุต่างๆ แต่จุดสำคัญอยู่ที่องค์ประกอบของไนโตรเจนซึ่งจะเป็นตัวกำหนดอัตราการย่อยสลาย ส่วนแร่ธาตุอาหารอื่นๆ ที่มีความสำคัญรองลงไปได้แก่ ฟอสฟอรัส(P) ซัลเฟอร์(S) แคลเซียม(Ca) และแร่ธาตุอื่นๆ ที่เป็นองค์ประกอบภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก สำหรับวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมักอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือพวกที่ย่อยสลายได้ง่าย กับพวกที่ย่อยสลายได้ยาก

ในการผลิตปุ๋ยหมักถ้าวัสดุมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอ อัตราการย่อยสลายจะต่ำหรือถ้าเศษพืชมีค่า C/N ratio กว้าง การย่อยสลายจะช้าลง ดังนั้นการเติมไนโตรเจนลงไปก็เพื่อลดค่า C/N ratio ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมสำหรับให้จุลินทรีย์นำ C และ N ไปใช้ในกิจกรรมสร้างเซลล์ พบว่า C/N ratio ที่เหมาะสมในการย่อยสลายมีค่าระหว่าง 20-40/1 (Polpraseart, 1989)

สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนมีสารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนจนกระทั่งได้โมเลกุลเล็ก และนำเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งของพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ สำหรับสารประกอบไนโตรเจนก็จะถูกย่อยสลายและเซลล์จุลินทรีย์จะนำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนเพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ เช่น สารโปรตีนและ Nucleic Acid เป็นต้น โดยปกติเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่า C/N ratio ประมาณ 10-15 ซึ่งหมายความว่าเวลาที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปใช้ในเซลล์ 10-15 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วยจึงจะทำให้เกิดความสมดุลของสารประกอบทั้ง 2 ในเซลล์และจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดี

Alexander (1961) ได้รายงานว่าในกองหมักนั้นปริมาณคาร์บอนในสารอินทรีย์ร้อยละ 20-40 จะถูกดูดซึมเข้าไปในเซลล์ใหม่และส่วนที่เหลือก็ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตพลังงาน โดยทั่วไปแล้วเซลล์เหล่านี้ประกอบไปด้วยคาร์บอนและไนโตรเจนร้อยละ 50 และ 5 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังนั้นจากที่กล่าวมาความต้องการของไนโตรเจนในการหมักคือต้องให้มีไนโตรเจนประมาณร้อยละ 2-4 ของคาร์บอนเริ่มต้นจึงจะทำให้ได้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของของผสมมีค่าประมาณ 25

การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีค่า C/N ratio ต่ำๆ เช่น ต้นพืชตระกูลถั่ว อาจจะไม่จำเป็นต้องเติมสารไนโตรเจน หรืออาจจะเติมในปริมาณที่น้อยกว่าที่ใช้กับเศษวัสดุที่มีค่า C/N ratio กว้าง นอกจากนี้ ค่า C/N ratio ยังใช้ในการพิจารณาว่าปุ๋ยหมักที่ทำนั้นสามารถจะนำไปใช้ได้หรือไม่ โดยปกติถ้าปุ๋ยหมักมีค่า C/N ratio ประมาณ 26-35 ถือว่าสามารถนำปุ๋ยหมักดังกล่าวไปใช้ได้หรือดินโดยไม่ทำให้พืชเป็นอันตราย แต่ถ้าค่า C/N ratio ลดลงถึง 20 ถือว่าปุ๋ยหมักนั้นมีคุณภาพดี

2.5.2 ลักษณะของเศษวัสดุ

ส่วนใหญ่การทำปุ๋ยหมักจะทำจากเศษพืช โดยเฉพาะการส่งเสริมให้แก่เกษตรกรลักษณะของเศษวัสดุจึงมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งได้แก่ ขนาดของเศษวัสดุ ความสดของเศษวัสดุ เป็นต้น

ขนาดของเศษวัสดุ ถ้าเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็ก การผสมคลุกเคล้าทำได้ทั่วถึง พื้นที่ผิวสัมผัสมีมาก ดังนั้นโอกาสที่จะถูกย่อยสลายจึงมากกว่า แต่ถ้าขนาดของเศษวัสดุมีขนาดที่ละเอียดมากเกินไป เช่น อุจจาระของมนุษย์ มูลสัตว์ สัตว์จากตักตะกอน เป็นต้น เศษวัสดุเหล่านี้ก็จะไปขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนที่จะเข้าไปในกองปุ๋ยเพราะว่าในช่วงเทอร์โมฟิลิกนั้นเป็นช่วงที่มีความต้องการออกซิเจนมากที่สุด อาจทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนภายในกองปุ๋ยหมักได้ ทำให้กองหมักมีกลิ่นเหม็น วิธีแก้ก็คือ นำเศษวัสดุอื่นที่มีขนาดใหญ่กว่ามาผสมเพื่อเป็นการปรับโครงสร้างของกองปุ๋ยหมักให้มีการถ่ายเทอากาศที่ดีขึ้น เช่น เศษกิ่งไม้ ใบไม้ ฟางข้าว หรือเศษวัสดุอื่นๆ ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นนั้นๆ สำหรับการกองปุ๋ยหมักโดยใช้เศษวัสดุที่มีขนาดใหญ่การผสมคลุกเคล้าจะทำได้ไม่ทั่วถึงนัก และปฏิบัติค่อนข้างลำบาก ดังนั้นการกองปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุขนาดใหญ่จึงควรจะกองเป็นชั้นๆ และเมื่อถึงเวลากลับกองปุ๋ยหมัก ก็จะเป็นการช่วยผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันดียิ่งขึ้น Gray et al., 1971 กล่าวว่าขนาดของอนุภาคสำหรับการหมักโดยทั่วไปควรอยู่ในช่วง 0.5-2.0 นิ้ว

ในกรณีที่ทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชมักนิยมใช้เศษพืชแห้ง เนื่องจากสะดวกในการกองและการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักได้ แต่ต้องระมัดระวังในเรื่องความชื้น เพราะการใช้เศษพืชสดซึ่งก็สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ต้องระมัดระวังในเรื่องความชื้น เพราะการใช้เศษพืชสดจะมีปริมาณน้ำมากและการระบายอากาศไม่ดีอาจเกิดกระบวนการเน่าเสียภายในกองปุ๋ยจนเกิดกลิ่นเหม็นได้

2.5.3 ความชื้น

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมักซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากปฏิกิริยาในระบบ Metabolism ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์และการปลดปล่อย Extracellular Enzyme ออกมาย่อยสารโมเลกุลใหญ่ภายนอกเซลล์จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก โดยปกติจะมีอุณหภูมิสูงทำให้น้ำระเหยจากกองปุ๋ยตลอดเวลา ถึงแม้ว่าสารอินทรีย์วัตถุจะมี

คุณสมบัติที่อุ้มน้ำได้ดีก็ตาม ดังนั้นจึงต้องเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้ปริมาณความชื้นมากหรือน้อยเกินไป ระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายประมาณ 50-60% (โดยน้ำหนัก) ถ้าความชื้นต่ำกว่า 40 % การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ถ้าความชื้นมากเกินไปเกินกว่า 80 % จะทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป การระบายอากาศไม่ดีจนทำให้เกิดสภาพไม่มีอากาศ กระบวนการย่อยสลายจะเกิดได้ช้าเช่นกัน(กองอนุรักษดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน, 2537)

Polprasert (1989) กล่าวว่าหากความชื้นของกองปุ๋ยหมักต่ำกว่าร้อยละ 20 จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ภายในกองหมัก ดังนั้นความชื้นที่เหมาะสมควรจะอยู่ระหว่างร้อยละ 50-70 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 60) แต่ถ้าหากความชื้นมีค่ามากกว่าร้อยละ 70 จะทำให้สารอาหารถูกชะล้างออกไปทำให้คุณภาพของปุ๋ยหมักต่ำลงและเกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคด้วย อีกทั้งน้ำส่วนเกินจะไปเกาะอยู่ตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของปุ๋ยหมักทำให้ปิดกั้นการระบายอากาศภายในกองปุ๋ยซึ่งก่อให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนได้

ความชื้นนอกจากจะมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์แล้วยังมีผลทางอ้อมต่อการระบายอากาศ กล่าวคือถ้าความชื้นมีมากการแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักจะเกิดได้ยากจนทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนและมีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวแล้ว

2.5.4 การระบายอากาศ

การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมักเป็นสิ่งจำเป็นอีกประการหนึ่ง เนื่องจากจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศจะใช้ ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในระบบการหายใจภายในเซลล์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายอากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อการเจริญและย่อยสลายเศษซากพืช

การพลิกกลับกองปุ๋ยเป็นการระบายอากาศหรือการเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ย นอกจากจะมีผลดีในด้านการระบายอากาศแล้วยังช่วยลดกลิ่นคาวเสียดูต่างๆ ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอการกลับกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและเป็นวิธีการที่ไม่ต้องลงทุนแต่ต้องใช้แรงงานเพิ่มขึ้น

แต่การเพิ่มการระบายอากาศด้วยการพลิกกลับกองปุ๋ยนั้นจะทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยลดลง ดังรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการพลิกกลับกองปุ๋ยหลาย ๆ ครั้งทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยลดลง จากการศึกษาทดลองของ Hey and Kucherihier, 1990 รายงานว่าการพลิกกลับกองปุ๋ย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ จะมีประสิทธิภาพสูงสุด

ส่วนวิธีการเติมอากาศแบบใช้เครื่องเป่าอากาศเข้าไปตามท่อที่วางเป็นแนวอยู่ใต้กองปุ๋ยหมักนั้นจะช่วยเร่งให้อัตราการหมักเกิดเร็วขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องมีการพลิกกลับกองปุ๋ยซึ่งวิธีนี้

เป็นที่นิยมกันแพร่หลายเพราะไม่ต้องเปลืองแรงงานในการพลิกกลับกองปุ๋ย แต่ไม่ควรเติมอากาศมากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนออกจากกองหมัก มีผลทำให้จุลินทรีย์ที่เติบโตได้ดีที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการเติบโตที่ลดลง อีกทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานอีกด้วย

Leemaharoung Ruang (1988) พบว่าอัตราการเติมอากาศที่ให้ผลดีต่อการหมักคือ 0.03 ลบ.ม./กก.-ชม. โดยใช้ขยะจากชุมชนในเขตกรุงเทพมหานครเป็นวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักแบบใช้เครื่องเป่าอากาศ

2.5.5 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นตัวบ่งชี้ถึงกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกองหมักได้เป็นอย่างดี โดยตัวอย่างกระบวนการย่อยสลายโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่

Proteins → peptides → amino acids → ammonium compounds →
bacterial protoplasm and atmospheric nitrogen or ammonia.

Carbohydrates → simple sugars → organic acids → carbondioxide and
bacterial protoplasm.

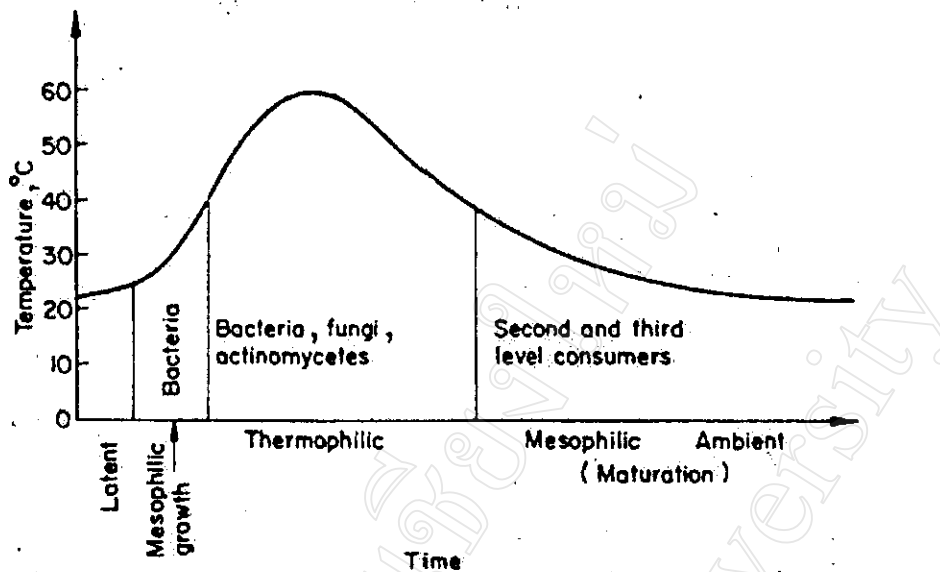
Polprasert (1989) ได้แบ่งระยะการเติบโตของจุลินทรีย์ในกองหมักตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไว้เป็น 4 ระยะ ดังต่อไปนี้ คือ

ก. Latent phase เป็นระยะที่เชื้อจุลินทรีย์จะทำการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของกองหมัก ซึ่งจะเป็นช่วงแรก ๆ ของการหมักซึ่งจะใช้เวลาไม่นานนัก และอุณหภูมิจะยังไม่เพิ่มสูงขึ้นมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 5

ข. Mesophilic phase ในระยะนี้อุณหภูมิในกองหมักจะเพิ่มสูงขึ้น อยู่ในช่วง 25-45°C พวกแบคทีเรียจะเติบโตได้ดี และกระบวนการย่อยสลายจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ

ค. Thermophilic phase ระยะนี้อุณหภูมิในกองหมักจะมีค่าสูงที่สุด คืออยู่ในช่วง 45-65°C เป็นช่วงที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด เชื้อจุลินทรีย์ที่พบมากได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อราและแอคติโนมัยซิส นอกจากนี้ยังพบว่าในหากอุณหภูมิอยู่ในช่วง Thermophilic 55-65°C เป็นระยะเวลา 2-3 วัน จะสามารถทำลายเชื้อโรคบางชนิดได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ง. Maturation phase อุณหภูมิในระยะนี้จะค่อย ๆ ลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศ เมื่อกระบวนการย่อยสลายสิ้นสุดลงจะได้ฮิวมัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช



รูปที่ 5 ระยะการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในกองหมักตามช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ

ที่มา : Polprasert, C., 1989

การกองปุ๋ยหมักแบบวินโดว์นั้นหลังจากกองปุ๋ยหมัก 2-4 วัน อุณหภูมิภายในจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 50-60°C เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยสลาย และคุณสมบัติในการเก็บความร้อนของวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ค่อยแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมัก การที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นดังกล่าว ทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยเปลี่ยนแปลงไป ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็เปลี่ยนไปเช่นกัน ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่พวกที่ทนต่ออุณหภูมิสูง (Thermophilic) และพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophilic) หลังจากอุณหภูมิสูงสุดแล้วก็จะค่อยๆ ลดลงถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำปานกลาง (Mesophilic) สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้น

ระดับความสูงของอุณหภูมิจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของชนิดวัสดุเหลือทิ้งและขนาดของกองปุ๋ยหมักด้วย อุณหภูมิที่สูงมากเกินไปจะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลง และกิจกรรมของจุลินทรีย์จะลดลงตามไปด้วยเป็นเหตุให้อุณหภูมิค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับที่เหมาะสม เชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดอยู่ก็จะเริ่มกิจกรรมในการย่อยสลายต่อไป ดังรูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักแบบ Windrow

2.5.6 ความเป็นกรดเป็นด่าง

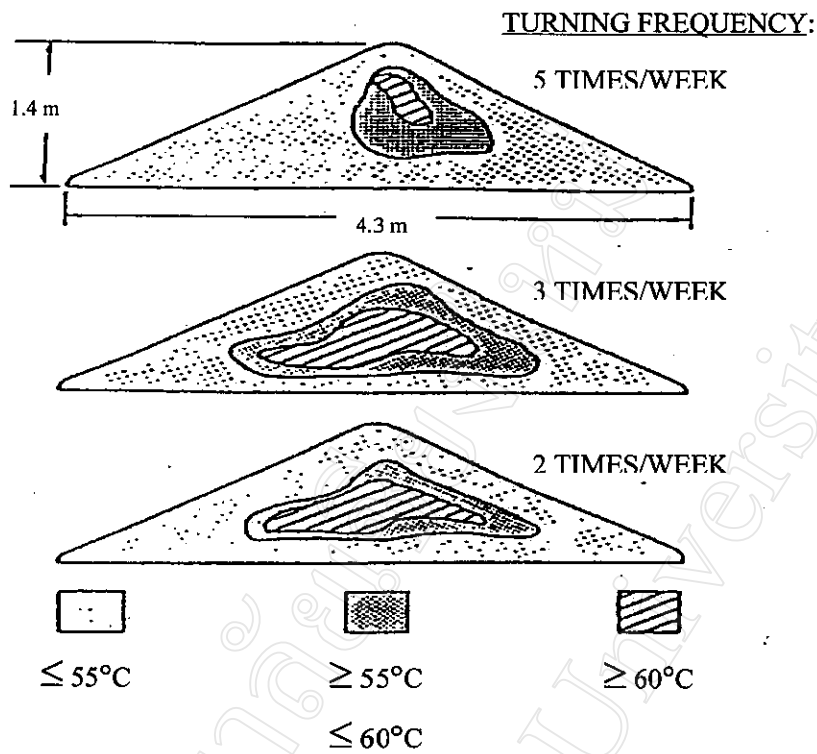
ระดับความเป็นกรดเป็นด่างหรือพีเอช (pH) ในช่วง 3 วันแรกจะลดลงจากเดิมเหลือ 4.5 ถึง 5.5 ซึ่งเป็นระยะ Mesophilic หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมาก

นัก โดยจะอยู่ในช่วง 7.0-8.5 ซึ่งเป็นระยะ Thermophilic เนื่องจากในช่วงแรกจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายวัสดุที่ย่อยสลายได้ง่ายอย่างรวดเร็วและผลิตกรดอินทรีย์บางชนิด มีผลให้ pH ลดลงแต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในระหว่างการหมักจะมีผลให้ pH สูงขึ้น และจะรักษาระดับ pH ดังรูปที่ 7 และเมื่อถึงระยะ Maturation ซึ่งเป็นระยะสุดท้ายของการหมักค่า pH จะอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง คือ 7.0-8.0

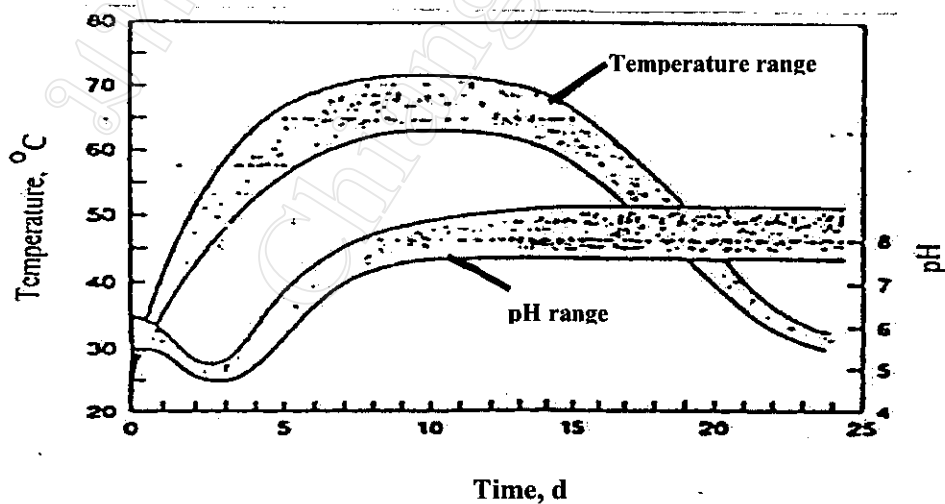
ตารางที่ 2 อุณหภูมิและเวลาที่ต้องการในการกำจัดเชื้อโรคและพยาธิ

ชนิดของเชื้อโรคและพยาธิ	อุณหภูมิและเวลาที่ต้องการ
<i>Salmonella typhosa</i>	ที่ 46°ซ จะหยุดการเจริญเติบโต ที่ 55-60°ซ จะตายภายใน 30 นาที
<i>Salmonella</i> spp.	ที่ 55°ซ จะตายภายใน 1 ชม. ที่ 60°ซ จะตายภายใน 15-20 นาที
<i>Shigella</i> spp.	ที่ 55°ซ จะตายภายใน 1 ชม.
<i>Escherichia coli</i>	ที่ 55°ซ ส่วนใหญ่จะตายภายใน 1 ชม. ที่ 60°ซ จะตายภายใน 15-20 นาที
<i>Entamoeba histolytica</i> cysts	ที่ 68°ซ สามารถทำลายเชื้อโรคได้หมด
<i>Taenia saginata</i>	ที่ 71°ซ จะตายภายใน 5 นาที
<i>Trichinella spiralis</i> larvae	ที่ 50°ซ จะตายอย่างรวดเร็วภายใน 1 ชม. ที่ 62-72°ซ สามารถทำลายเชื้อโรคได้หมด
<i>Necater americanus</i>	ที่ 45°ซ จะตายภายใน 50 นาที
<i>Brucella abortus</i> or <i>suis</i>	ที่ 61°ซ จะตายภายใน 3 นาที
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. <i>aureus</i>	ที่ 50°ซ จะตายภายใน 10 นาที
<i>Streptococcus pyogenes</i>	ที่ 54°ซ จะตายภายใน 10 นาที
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. <i>hominis</i>	ที่ 66°ซ จะตายภายใน 15-20 นาที หรือใช้เวลาไม่นานหลังจากให้ความร้อนจนถึง 67°ซ
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	ที่ 55°ซ จะตายภายใน 45 นาที

ที่มา : Polparsert, C., 1989



รูปที่ 6 อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักแบบ Windrow ซึ่งมีอัตราการพลิกกลับต่างกัน
ที่มา: Hay et al., 1990



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและ pH ในปุ๋ยหมักแบบ Windrow
ที่มา: Tchobanoglous, G., 1993

โดยทั่วไปพวกเชื้อราสามารถทนต่อพีเอชในช่วงกว้าง ๆ ได้มากกว่าพวกแบคทีเรีย คือ ช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6.0-7.5 ส่วนช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับเชื้อราส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5.5-8.0 (Gray, 1971)

การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร(เศษซากพืช)ไม่ค่อยมีปัญหาเกี่ยวกับระดับ pH มากนัก เพราะโดยปกติ pH ของเศษซากพืชอยู่ในช่วงเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อย นอกจากนี้สารอินทรีย์วัตถุก็มีลักษณะเป็นบัฟเฟอร์ที่จะช่วยรักษาระดับ pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก

2.6 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายเศษพืชภายในกองปุ๋ยหมักจนกระทั่งได้ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์นั้นเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกัน ดังแสดงในตารางที่ 3 กองอนุรักษดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน, 2537 ได้จัดแบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยหมักออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่

2.6.1 เชื้อรา

เชื้อรา (Fungi) เป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีลักษณะการดำรงชีวิตคล้ายกับพืช โครงสร้างมีลักษณะเป็นเส้นใยต่อกันและมีสปอร์กระจายอยู่ทั่วไป

ในกองปุ๋ยหมักจะตรวจพบเชื้อราอยู่เสมอ แต่ชนิดและปริมาณของเชื้อราจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักความชื้นและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม การที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและมีความชื้นสูงเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงมักตรวจพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของปุ๋ยหมักซึ่งมีอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นน้อยกว่าในกองปุ๋ยหมัก ในช่วงอุณหภูมิ 50°ซ สามารถตรวจพบเชื้อราได้แต่หากอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 65°ซ จะไม่พบเชื้อราเลย และเมื่ออยู่ในสภาพที่แห้งพบว่าช่วงอุณหภูมิสูง 62-63°ซ ยังสามารถตรวจพบเชื้อราได้ โดยในระยะแรกซึ่งอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นมักจะตรวจพบเชื้อราพวก *Geotrichum candidum* และ *Aspergillus fumigatus* เมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับ 45-55°ซ มักจะตรวจพบเชื้อราพวก *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะพบพวก *Penicillium duponti* อย่างไรก็ตามชนิดของเชื้อราดังกล่าวนี้จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัสดุที่ใช้

2.6.2 แอคติโนมัยซิส

โดยทั่วไปเชื้อแอคติโนมัยซิส (Actinomycetes) มีอัตราการเจริญช้ากว่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา โดยจะเจริญได้ไม่ดีเมื่ออยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศไม่เพียงพอ เนื่องจากจุลินทรีย์พวกนี้ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต ลักษณะของแอคติโนมัยซิสเมื่อเจริญเป็นกลุ่มบนวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักจะสังเกตเห็นได้โดยเป็นจุดสีขาวๆ คล้ายผงปูนขาวซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเห็นได้ในกองปุ๋ยหมักหลังจากอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด

จากข้อมูลของการค้นคว้าวิจัยต่างๆ พบว่าเชื้อแอคติโนมัยซิสสามารถเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูงถึง 65°C และการเจริญจะลดลงหรือหยุดชะงักเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 75°C แต่ความสามารถที่เจริญได้ในสภาพที่อุณหภูมิสูงแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อแอคติโนมัยซิส ซึ่งชนิดที่พบบ่อยในกองปุ๋ยหมักได้แก่ *Thermoactinomyces* sp. และ *Thermomonospora* sp. ซึ่งเป็นพวกที่สามารถผลิตเอ็นไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากสองชนิดที่กล่าวแล้วอาจจะพบพวก *Streptomyces* sp. และ *Micropolyspora* sp. อีกด้วยจากข้อมูลต่างๆ พอจะสรุปได้ว่าจุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักในขณะที่อุณหภูมิสูง

2.6.3 แบคทีเรีย

แบคทีเรีย (Bacteria) มักจะถูกตรวจพบในกองปุ๋ยหมักในปริมาณที่มากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นเสมอ ปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักมีค่าประมาณ 2.3×10^6 เซลล์ต่อน้ำหนัก 1 กรัม ส่วนพวกที่มีสปอร์และทนต่อความร้อนจะมีค่าประมาณ 3.9×10^4 เซลล์ต่อน้ำหนัก 1 กรัม ปริมาณของแบคทีเรียดังกล่าวไม่ใช่เป็นค่าที่แน่นอนแต่จะผันแปรไปจากนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก

อย่างไรก็ตามมีผู้ค้นพบว่าปริมาณของแบคทีเรียจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยทั่วไปมักจะพบพวก *Pseudomonas* sp., *Achromobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococcus* sp. และ *Bacillus* sp. ก่อนข้างจะพบในปริมาณมากกว่าพวกอื่น ๆ โดยเฉพาะพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง ได้แก่ *B. subtilis* และ *B. stearothermophilus* ซึ่งพวกนี้เจริญได้ดีในช่วง 50-55°C ในบางกรณีอาจจะถึง 65°C พวก *Bacillus* sp. จัดเป็นพวกที่สามารถสร้างสปอร์ได้จากการตรวจสอบพบว่าสปอร์จะเพิ่มขึ้นมาตั้งแต่อุณหภูมิ 55°C นอกจากนี้ยังพบว่ายังมีพวก *Clostridium* sp. ซึ่งสามารถสร้างสปอร์ได้เช่นกัน แต่จะเจริญในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน บางครั้งอาจจะพบพวกแบคทีเรียที่สามารถทนต่อความร้อนได้สูง ได้แก่ *Thermus aquaticus* เจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 40-79°C และเจริญได้ดีในช่วง 70°C

2.7 คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมัก

จากการพิจารณาค่าเฉลี่ยของวัสดุที่ย่อยสลายง่ายและที่ย่อยสลายยาก (วัสดุที่ย่อยสลายยากจะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 100 ส่วนวัสดุที่ย่อยสลายง่ายจะมีค่าน้อยกว่า 100) รวมถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งเป็นข้อมูลจากการศึกษาปุ๋ยหมักภายในประเทศของกลุ่มงานอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2537 แสดงในตารางที่ 4 พบว่าปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุที่ย่อยสลายได้ง่ายควรจะมียกระดับปริมาณธาตุอาหารพืชอยู่ในเกณฑ์ ดังนี้

คือ ไนโตรเจน 1.00% (โดยน้ำหนัก), ฟอสฟอรัส 0.50% และโปตัสเซียม 2.00% โดยมีปริมาณธาตุอาหารรองอยู่ในเกณฑ์ดังนี้คือ แคลเซียม 1.50%, แมกนีเซียม 0.40% และซัลเฟอร์ 0.08% ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักได้และเนื่องจากค่าวิเคราะห์มีความผันแปรค่อนข้างสูงจึงนำมาคำนวณคลาดเคลื่อนประมาณ 25%

ในกรณีปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุที่ย่อยสลายยากควรจะมีปริมาณธาตุอาหารพืชอยู่ในเกณฑ์ดังนี้ คือ ไนโตรเจน 0.70% (โดยน้ำหนัก), ฟอสฟอรัส 0.20% และโปตัสเซียม 0.35% โดยมีปริมาณธาตุอาหารรองอยู่ในเกณฑ์ดังนี้คือ แคลเซียม 0.70%, แมกนีเซียม 0.20% และซัลเฟอร์ 0.05% ปริมาณธาตุอาหารหลักและรองของพืชในปุ๋ยหมักตามที่กล่าวข้างต้น น่าจะใช้เป็นเกณฑ์เพื่อกำหนดระดับปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักได้และเนื่องจากค่าวิเคราะห์มีความผันแปรค่อนข้างสูงจึงนำมาคำนวณคลาดเคลื่อนประมาณ 25 % เช่นกัน

เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณธาตุอาหารหลักและรองในปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ รวมทั้งที่ย่อยสลายได้ง่ายและยาก พบว่าปริมาณธาตุอาหารพืชอยู่ในเกณฑ์ดังนี้คือ ไนโตรเจน 1.00% (โดยน้ำหนัก), ฟอสฟอรัส 0.35% และโปตัสเซียม 1.50% โดยมีปริมาณธาตุอาหารรองอยู่ในเกณฑ์ดังนี้คือ แคลเซียม 1.25%, แมกนีเซียม 0.35% และซัลเฟอร์ 0.05% โดยระดับความเป็นกรดเป็นด่างจะอยู่ในช่วง 7.00 ถึง 8.50 ที่ระดับความคลาดเคลื่อนประมาณ 25 % ปริมาณธาตุอาหารดังกล่าว น่าจะใช้เป็นเกณฑ์ทั่ว ๆ ไป เพื่อใช้พิจารณามาตรฐานของปุ๋ยหมักในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2.8 หลักเกณฑ์ในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้ว

ข้อสังเกตว่าปุ๋ยหมักสามารถใช้ได้แล้วมีดังนี้

- ก. สีของปุ๋ยหมักจะเริ่มเข้มขึ้นกว่าเมื่อเริ่มกอง โดยอาจจะเป็นสีน้ำตาลดำ
- ข. อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเมื่อเริ่มกองใหม่ ๆ จะร้อนมาก แต่เมื่อกองไประยะหนึ่งความร้อนจะลดลง เมื่ออุณหภูมิภายนอกและภายในไม่แตกต่างกัน (กองปุ๋ยต้องไม่แห้งหรือแฉะเกินไป) หรือมีความแตกต่างกันน้อยมากแสดงว่ากองปุ๋ยหมักเริ่มใช้ได้แล้ว
- ค. ลักษณะความอ่อนนุ่มของเศษพืช เมื่อใช้นิ้วมือบีดู เศษพืชจะอ่อนนุ่มยุบขาดออกจากกันได้ง่าย ไม่แข็งกระด้างและไม่เป็นก้อนเหมือนเมื่อเริ่มกอง
- ง. สังเกตกลิ่นของปุ๋ยหมัก ถ้าเป็นปุ๋ยหมักใช้ได้ ปุ๋ยหมักจะมีกลิ่นคล้ายกลิ่นของดินตามธรรมชาติ (ถ้ามีกลิ่นฉุนหรือกลิ่นฟาง แสดงว่าปุ๋ยหมักยังใช้ไม่ได้ เนื่องจากขบวนการย่อยสลายยังดำเนินการอยู่)

จ. ดัชนีพืชที่มีระบบรากลึก สามารถเจริญบนกองปุ๋ยหมักได้ แสดงว่าปุ๋ยหมักสลายตัวอย่างเต็มที่

ฉ. ค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน ถ้ามีอัตราส่วน ต่ำกว่า 20:1 ก็พิจารณาเป็นปุ๋ยหมักใช้ได้แล้ว

ตารางที่ 3 ชนิดของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากกองปุ๋ยหมัก

เชื้อรา		แอคติโนมัยซิส	แบคทีเรีย
อุณหภูมิปานกลาง	อุณหภูมิสูง		
<i>Alternaria tennis</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Micromonospora</i>	<i>Achromobacter</i> sp.
<i>Aspergillus</i>	<i>Chaetomium</i>	<i>vulgaris</i>	<i>Angiococcus</i> sp.
<i>amstelodami</i>	<i>thermophilum</i>	<i>Nocardia brasiliensis</i>	<i>Bacillus subtilis</i> G.
<i>Cephalosporium</i> sp.	<i>Humicola insolens</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>stearothermophilus</i>
<i>Cladosporium</i>	<i>H. lanuginosa</i>	<i>thermofuscus</i>	<i>Cellfacicula</i> sp.
<i>herbarum</i>	<i>Mucor pusillus</i>	<i>S. thermophilus</i>	<i>Cellulomonas</i> sp.
<i>Coprinus cinereus</i>	<i>Penicillium duponti</i>	<i>S. thermoviolaceus</i>	<i>Cellvibrio</i> sp.
<i>Geotrichum</i>	<i>Sporotrichum</i>	<i>S. thermovulgaris</i>	<i>Clostridium</i> sp.
<i>candidum</i>	<i>thermophile</i>	<i>S. violacesus-ruber</i>	<i>Myxococcus</i>
<i>Paecilomyces</i>	<i>Talaromyces</i>	<i>Thermoactinomyces</i>	<i>virescens</i>
<i>Polyporus versicolor</i>	<i>thermophilis</i>	<i>vulgaris</i>	<i>M. fulvus</i>
<i>Scopulariopsis</i>	<i>Thermoascus</i>	<i>Thermomonospora</i>	<i>Polyangium</i> sp.
<i>brevicantis</i>	<i>auranticus</i>	<i>curvata</i>	<i>Pseudomonas</i> sp.
<i>Trichoderma viridae</i>		<i>T.fusca</i>	<i>Sorangium</i> sp.
		<i>Thermopolyspora</i>	<i>Sporocytophaya</i> Isp.
		<i>polyspora</i>	<i>Thiobacillus</i>
		<i>Streptosporangium</i> sp	<i>thiooxidans</i>
			<i>T. denitrificans</i>

ที่มา: กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน, 2537

สำหรับมาตรฐานของปุ๋ยหมักแบบอุตสาหกรรมที่มีคุณภาพดีในประเทศ กรมพัฒนาที่ดิน ได้กำหนดมาตรฐานในการพิจารณาปุ๋ยหมัก ดังนี้

- ก. จะต้องมียัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20:1
- ข. มีกรดปุ๋ยไม่ต่ำกว่า 1-1-0.5 (N-P₂O₅-K₂O)
- ค. ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ไม่มากกว่าร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก
- ง. จะต้องมียปริมาณอินทรีย์วัตถุระหว่าง 30-60 %
- จ. ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 6.0-7.5
- ฉ. ปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้วจะต้องไม่มีความร้อนหลงเหลืออยู่
- ช. ปุ๋ยหมักที่ดีจะต้องไม่มีกลิ่น
- ซ. ปุ๋ยหมักที่ดีจะต้องปราศจากเชื้อโรคทุกชนิด

2.9 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

2.9.1 ด้านการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน

เมื่อพิจารณาตามคุณสมบัติของปุ๋ยหมักซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุชนิดหนึ่ง สามารถแบ่งความสำคัญในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินออกได้ ดังนี้คือ

ปุ๋ยหมักกับคุณสมบัติทางเคมีของดิน

ก. เป็นแหล่งของธาตุอาหารพืช ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งของปุ๋ยไนโตรเจนธรรมชาติที่สำคัญ โดยไนโตรเจนในรูปอินทรีย์สารจะถูกปล่อยออกมาในรูปที่พืชนำไปใช้ได้โดยขบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดินในรูปของแอมโมเนียม (NH₄-N) และไนเตรท (NO₃-N) ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับธาตุอาหารพืชอื่นๆ ปุ๋ยหมักยังเป็นแหล่งของธาตุฟอสฟอรัส และธาตุกำมะถัน รวมถึงธาตุอาหารอื่น ๆ อย่างครบถ้วน ถึงแม้ว่าจะมียปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ อยู่ในปริมาณน้อย แต่การย่อยสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักจะทำให้ธาตุอาหารดังกล่าวถูกปลดปล่อยออกมาอย่างค่อยเป็นค่อยไป ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโต

ข. เพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity, CEC) ปุ๋ยหมักเมื่อสลายตัวแล้ว จะได้ฮิวมัสซึ่งมีประจุเป็นลบเช่นเดียวกับอนุภาคของดินเหนียว แต่ปริมาณประจุลบหรือความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของฮิวมัสมีค่าสูงกว่าอนุภาคดินเหนียวประมาณ 5-10 เท่า (กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2537) การใส่ปุ๋ยหมักจึงทำให้ดินดูดซับธาตุอาหารประเภทประจุบวก เช่น แอมโมเนียม (NH₄⁺) โพแทสเซียม (K⁺) แคลเซียม (Ca⁺⁺) และแมกนีเซียม (Mg⁺⁺) ได้มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักในประเทศ

รายการวิเคราะห์	วัสดุที่ย่อยสลายง่าย (% โดยน้ำหนัก)	วัสดุที่ย่อยสลายยาก (% โดยน้ำหนัก)	ค่าเฉลี่ย (% โดยน้ำหนัก)
ไนโตรเจน	1.0%	0.70%	1.00% (± 0.37)
ฟอสฟอรัส	0.50%	0.20%	0.35% (± 0.26)
โปแตสเซียม	2.00%	0.35%	1.50% (± 1.16)
แคลเซียม	1.50%	0.70%	1.25% (± 0.63)
แมกนีเซียม	0.40%	0.20%	0.35% (± 0.14)
ซัลเฟอร์	0.08%	0.05%	0.05% (± 0.02)

ที่มา: กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน, 2537

ก. เพิ่มความจุบัฟเฟอร์ (Buffer capacity) สภาพความมีประจุของดิน ทำให้ดินมีประจุดูดซับไว้โดยรอบอนุภาค ไอออนที่ถูกดูดซับจะสมดุลกับประจุชนิดเดียวกันในสารละลายดิน ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น เช่น การที่พืชดูดปุ๋ยไปเป็นธาตุอาหารก็จะเป็นการดูดกินจากส่วนที่อยู่ในสารละลายดิน ประจุที่ถูกดูดซับก็จะออกมาแทนที่ประจุชนิดเดียวกันที่ถูกพืชดูดไปจากสารละลายดิน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณประจุทั้งสองส่วนแล้ว ประจุในส่วนที่ถูกดูดซับจะมีมากกว่า ดังนั้นปริมาณประจุที่ถูกดูดซับจะไม่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก คุณสมบัติในการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงระดับสารเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีในดิน เรียกว่าความจุบัฟเฟอร์ สภาพบัฟเฟอร์ของดินทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับสารเคมีในดินอย่างทันที จึงทำให้พืชไม่เป็นอันตราย ความจุบัฟเฟอร์ของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมักลงไปดิน ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากในสภาพดินหยาบเนื่องจากมีความจุบัฟเฟอร์ต่ำสภาพบัฟเฟอร์จะช่วยต่อต้านความเป็นกรด ความเป็นด่าง ความเค็ม ยากำจัดศัตรูพืช พืชจากโลหะหนักที่ใส่ลงไปดินให้มีการเปลี่ยนแปลงในดินอย่างค่อยเป็นค่อยไป

ปุ๋ยหมักกับคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

ก. สีของดิน ปุ๋ยหมักทำให้สีของดินเป็นสีน้ำตาลจนถึงดำ ทั้งนี้เนื่องจากฮิวมัสที่ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักมีสีน้ำตาลเข้ม และมีขนาดอนุภาคละเอียด จึงสามารถคลุกเคล้ากับส่วนอื่น ๆ ของดินได้ดีมาก โดยทั่วไปเมื่อดินมีสีดังกล่าวถือได้ว่าเป็นดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ยกเว้นดินที่มีธาตุแมงกานีสในปริมาณค่อนข้างสูง

ข. การเกิดเม็ดดิน (Aggregation) อินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักเมื่อสลายตัวทำให้เกิดสารเชื่อม (Cementing agent) เช่น levans, dextrans และสารเหนียวจากจุลินทรีย์บางชนิด รวมทั้งพวก

ออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม นอกจากนี้ยังมีสารประกอบพวกซิลิเกตเคลือบคาร์บอนเนต และเคลือบซัลเฟต โดยสารเชื่อมดังกล่าวจะยึดอนุภาคดินที่อยู่ใกล้กันให้เกิดเป็นเม็ดดิน อีกทั้งจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตจากการย่อยสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ เช่น เชื้อราซึ่งมีรูปร่างเป็นเส้นใย (mycelia) จะเจริญเติบโตไขว่กันคล้ายร่างแหยึดอนุภาคดิน ซึ่งก่อให้เกิดเม็ดดินอันเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มช่องว่างในดิน ทำให้ดินเหนียวเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ขึ้นและเพิ่มช่องว่างขนาดเล็กในดินทราย ซึ่งจะส่งผลให้การระบายอากาศในดินเหนียวหรือดินเนื้อละเอียดดีขึ้น และการอุ้มน้ำในดินทรายหรือดินเนื้อหยาบดีขึ้น ทำให้ดินสามารถเก็บความชื้นไว้ได้เป็นระยะเวลานานกว่าดินที่ขาดอินทรีย์วัตถุ

ค. ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ดินที่มีความแน่นตัวสูง จะทำให้รากพืชเจริญเติบโตได้ช้า จำกัดบริเวณหาอาหารของรากพืช การไถพรวนทำให้ไม่สะดวก การระบายน้ำและอากาศไม่ดี การใส่ปุ๋ยหมักจะช่วยลดความหนาแน่นรวมของดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและทำให้การไถพรวนกระทำได้ง่ายขึ้น

ง. กบฏการของดิน (Soil crosion) กบฏการของดินเกิดจากแรงปะทะของเม็ดฝนหรือลมที่มีต่อดินทำให้น้ำดินสูญหายไป รวมทั้งความอุดมสมบูรณ์ของดินก็สูญเสียไปด้วย การใส่ปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มความคงทนของเม็ดดินเนื่องจากการเกิดเม็ดดินโดยอินทรีย์วัตถุจะมีความคงทนต่อแรงปะทะของเม็ดฝนและลมได้มากยิ่งขึ้น และไม่ทำให้เกิดสภาพเปลือกดินแข็งบนผิวดิน (Soil crust) ซึ่งเป็นปัจจัยในการเพิ่มปริมาณและอัตราการไหลบ่าของน้ำผิวดิน (Run off) ดังนั้นเมื่อเม็ดดินมีความคงทนต่อแรงปะทะของเม็ดฝนและลม ย่อมทำให้อัตราการซึมลงของน้ำ (Infiltration rate) ดีขึ้น ส่งผลให้ลดการไหลบ่าของน้ำได้เป็นอย่างดี

ปุ๋ยหมักกับคุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของดิน

ก. ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์พวก Heterothrophic ดินที่มีอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่สูงจะทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์สูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลให้กิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การแปรสภาพของธาตุอาหารพืชในดินเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อันเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เมื่อละลายน้ำจะได้กรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอ่อนส่งผลให้เพิ่มการละลายของธาตุอาหารพืชได้ อีกทั้งปุ๋ยหมักยังช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในดินให้มากขึ้น ทำให้กระบวนการย่อยสลายของ จุลินทรีย์ในดินมีประสิทธิภาพสูงขึ้นทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินมีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนั้นแหล่งธาตุอาหารคาร์บอนในปุ๋ยหมักก็มีความสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ ได้แก่เชื้อ *Azotobacter* sp. ซึ่งมีผลทำให้กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น

ข. ปุ๋ยหมักกับการทำลายเชื้อโรคและไข่แมลง เนื่องจากกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักจะเกิดความร้อนสูง 60-70°C เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 3 วัน จากกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก จะมีผลทำให้ไข่แมลงต่าง ๆ ที่ติดมากับเศษพืชหรือมูลสัตว์ที่ใช้เป็นตัวเร่งในกระบวนการหมักนั้นจะถูกความร้อนทำลายไปได้ นอกจากนั้นจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจะขับสารปฏิชีวนะ (Antibiotic substances) ออกมายับยั้งเชื้อโรคที่ติดมากับเศษพืช ซึ่งได้มีการทดลองทั้งต่างประเทศและในประเทศไทย โดยได้นำเอาเศษพืชที่เป็นโรค คือ ต้นข้าวโพดที่เป็นโรคใบไหม้ ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Helminthosporium maydis* ต้นข้าวโพดที่เป็นโรคใบจุดซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Curvularia lunata* และต้นถั่วเหลืองเป็นโรค anthracnose เกิดจากเชื้อรา *Collectrichum dermatium* var. *truncatum* โดยนำเศษพืชดังกล่าวมาทำปุ๋ยหมักแบบธรรมดา หลังจากผ่านกระบวนการหมักแล้ว 45 วัน พบว่าปริมาณของเชื้อโรคพืชดังกล่าวมีปริมาณลดลง แต่ถ้านำเศษพืชที่เป็นโรคดังกล่าวไปทำปุ๋ยหมักโดยใส่สารตัวเร่งประเภทจุลินทรีย์ พบว่าตรวจไม่พบเชื้อโรคดังกล่าวในช่วงเวลา 30 วัน สาเหตุเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลล์โรค เช่น เชื้อรา *Aspergillus* sp. หรือเชื้อรา *Trichoderma* sp. ซึ่งเป็นพวกที่เจริญเติบโต สามารถแย่งอาหารและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคพืชได้ นอกจากนี้สารปฏิชีวนะที่เชื้อจุลินทรีย์พวกแอคติโนมัยซิสสร้างขึ้น มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคพืชได้เช่นกัน สำหรับโรคที่เกิดจากไส้เดือนฝอยหลายชนิดลดความรุนแรงลงได้เมื่อใช้ปุ๋ยหมัก ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปุ๋ยหมักสลายตัวจะเกิดสารอัลคาลอยด์ (Alkaloid) หรือกรดไขมันซึ่งเป็นพิษต่อไส้เดือนฝอย (กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2537)

2.9.2 ประโยชน์ของปุ๋ยหมักในด้านเศรษฐกิจ

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารพืชอย่างครบถ้วน แม้ว่าจะมีปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีในหน่วยที่เท่ากัน แต่เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าปุ๋ยเคมีนั้นมีราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นหากเกษตรกรนำปุ๋ยหมักไปใช้ในการเพาะปลูกพืชก็จะสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ เป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งปุ๋ยหมักยังช่วยเพิ่มผลผลิตพืชให้สูงขึ้น ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น

2.9.3 ประโยชน์ของปุ๋ยหมักในด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม

ก. เป็นการกำจัดขยะอย่างถูกหลักอนามัย ช่วยกำจัดแหล่งเพาะพันธุ์และสะสมเชื้อโรค ทำให้บริเวณที่อยู่อาศัยถูกสุขลักษณะ

ข. ช่วยลดอุบัติเหตุซึ่งเกิดจากการทำลายเศษพืชโดยการเผา เช่น ดองขี้ข้าว เศษหญ้า เศษขยะข้างถนน อันเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดอุบัติเหตุ จราจรติดขัด เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน ก่อให้เกิดอากาศเป็นพิษ ซึ่งการนำเศษพืชเหล่านั้นมาทำปุ๋ยหมักจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวเหล่านี้ได้

ค. เมื่อนำวัชพืชน้ำต่าง ๆ จากแหล่งน้ำมาทำปุ๋ยหมัก ถือเป็นการกำจัดวัชพืชอีกวิธีหนึ่ง ทำให้แหล่งน้ำได้รับแสงแดดเต็มที่ และเกิดสภาพสมดุลในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำดีขึ้น

ง. ช่วยให้การสัญจรทางน้ำสะดวกขึ้นโดยเฉพาะการกำจัดผักตบชวาซึ่งมีแพร่หลายตาม ห้วย หนอง คลอง บึง และแหล่งน้ำทั่วไป

2.10 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

นลินี เหลืองรุ่งรอง และ นุจรี จินนะ (2541) รายงานว่า ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบ การทำปุ๋ยหมักครัวเรือนจากเศษอาหารโดยใช้ปุ๋ยหมัก และ Thermophillic Bacteria เป็นสารกระตุ้น และศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนและอุณหภูมิในถังหมักที่มี ขนาด 98 ลิตร ซึ่งขยะอินทรีย์ที่นำมาหมักเป็นพวกเศษผักโดยนำมาหมักกับใบไม้แห้งและขี้เลื่อย แบ่งการหมักออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดที่ 1 ขยะผสมขี้เลื่อยและปุ๋ยหมัก ชุดที่ 2 ขยะผสมใบไม้แห้งและ ปุ๋ยหมัก ชุดที่ 3 ขยะผสมขี้เลื่อยและเชื้อ Thermophillic Bacteria และรำข้าว ทำการเติมขยะทุกวัน จนเต็มถัง และวิเคราะห์ผลหลังจากหมัก 90 วัน ซึ่งแต่ละชุดจะทำการพลิกกลับทุกๆ 7 วัน 15 วัน และ ไม่พลิกกลับ ในระหว่างการหมักจะทำการวัดอุณหภูมิ, ออกซิเจน, ความชื้น และ pH

จากการศึกษาพบว่า การใช้ปุ๋ยหมักเป็นสารกระตุ้นจะสามารถลดมวลขยะได้มากกว่า การใช้ Thermophillic bacteria ส่วนปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนและอุณหภูมิของถังหมัก ขนาด 98 ลิตร มีค่าใกล้เคียงกับถังหมักขนาด 53 ลิตร โดยความเข้มข้นของออกซิเจนอยู่ในช่วง 18-20 % อุณหภูมิในถังหมักอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คืออยู่ในช่วง 25-45 °ซ ความชื้นถูกควบคุมไว้ที่ 50-60 % pH อยู่ในช่วง 5-8 ค่า C/N ratio ของชุดที่ 1 ในถังพลิกที่พลิก กลับทุก 7 วัน, 15 วัน และไม่พลิกกลับ มีค่า 25.60, 25.73 และ 28.17 ตามลำดับ ชุดที่ 2 มีค่า 18.15, 21.19 และ 21.56 ตามลำดับ ชุดที่ 3 มีค่า 26.04, 28.68 และ 29.74 ตามลำดับ ค่า NPK มีค่าอยู่ในช่วง 1.10-1.30%, 0.15-0.40% และ 0.25-1.50% ตามลำดับ การลดลงของมวลขยะมีค่าอยู่ในช่วง 30-55%

พูนศักดิ์ จันทรจำปี (2541) รายงานว่า ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักด้วยเศษอาหารจากตลาด และเศษอาหารจากร้านอาหารผสมกับวัสดุเหลือใช้การเกษตรซึ่งได้แก่ เปลือกข้าว ขี้เลื่อย ใบไม้แห้ง และ เปลือกถั่วลิสง โดยใช้เทอร์โมฟิลิกแบคทีเรียชนิด Bacillus ผสมกันในถังหมักที่มี ปริมาตร 300 ลิตร อัตราส่วนการผสมได้ถูกควบคุมด้วยความชื้น 55-65% วัสดุถูกผสมและให้ ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 75°ซ ในเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปหมักในกล่องหมักประมาณ 1 เดือน แล้วนำไปหมักต่อในกองบ่มจนกระทั่งได้ที่เป็นเวลา 2 เดือน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การทำปุ๋ยหมักด้วยเศษอาหารและวัสดุเหลือใช้การเกษตรด้วยวิธีดังกล่าวสามารถทำปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี โดยที่ในระหว่างการหมักในกอง สามารถรักษาอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิกได้เป็นเวลานาน และมีปริมาณออกซิเจนอยู่ในช่วง 3.5-16.3% ซึ่งแสดงถึงสภาพการหมักเป็นแบบมีอากาศ ขณะทำการทดลองไม่พบกลิ่นเน่า ในช่วงการหมักในกอง ความชื้นได้ลดลงจาก 51-64% เหลือ 22-51% ส่วนในระหว่างการบ่มปริมาณความชื้นได้ควบคุมให้อยู่ระหว่าง 55% ด้วยการเติมน้ำขณะพลิกกลับกองปุ๋ย ผลการทดลองพบว่า ใบไม้แห้งสามารถรักษาความชื้นในกองได้ดีกว่าวัสดุเหลือใช้การเกษตรชนิดอื่นๆ C/N ratio เริ่มต้นมีค่า 25-70 และได้ลดลงจนกระทั่งมีค่า 18-53 เมื่อสิ้นสุดการหมัก CEC เริ่มต้นอยู่ในช่วง 15-51 meq/100g (น้ำหนักแห้ง) ในระหว่างการหมักได้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่า 43-95 meq/100g (น้ำหนักแห้ง) ขณะที่มาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีควรมี C/N ratio น้อยกว่า 20 และควรมี CEC มากกว่า 60 meq/100g (น้ำหนักแห้ง) ส่วนผสมของขี้เลื่อยและใบไม้แห้งมีการลดลงของขนาดอย่างเห็นได้ชัดขณะที่เปลือกข้าวและเปลือกถั่วลิสงมีการลดลงเพียงเล็กน้อย การลดลงของมวลเมื่อเปรียบเทียบกับจากน้ำหนักแห้งมีค่าในช่วง 30-50% เมื่อสิ้นสุดการหมักไม่พบเชื้อโรคที่มีอันตรายซึ่งได้แก่ *Staphylococcus*, *Salmonella*, *Shigella*, *Cholera* และ *Streptococcus* นอกจากพบไข่พยาธิ *Strongyloides stercoralis*

อานูภาพ แก้วทอง (2541) รายงานว่า ได้ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้ง และกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีการกองแบบมีการระบายอากาศในครั้งนี้ได้ถูกดำเนินการโดยแบ่งการทดลองเป็น 2 Run ซึ่งการทดลอง Run ที่ 1 เป็นการหมักปุ๋ยจากเศษหญ้าผสมกับการตะกอนน้ำเสีย และการทดลอง Run ที่ 2 เป็นการหมักปุ๋ยจากเศษใบไม้แห้งผสมกับกากตะกอนน้ำเสีย วิธีการหมักที่ใช้เป็นวิธีการกองวัสดุที่ใช้ในการหมักให้มีขนาดความกว้างและยาวด้านละประมาณ 1.5 ม. และมีการระบายอากาศตามธรรมชาติโดยใช้ท่อพีวีซีที่ถูกเจาะรูโดยรอบเสียบเข้าไปในกองปุ๋ยหมักทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง นอกจากนี้ยังได้มีการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักทุก ๆ 14 วัน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เริ่มต้นและความชื้นของกองปุ๋ยหมักได้ถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 25-30 และร้อยละ 50-70 ตามลำดับ และได้มีการศึกษาผลของความสูงของกองปุ๋ยหมักต่อกระบวนการหมักและคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ โดยที่ความสูงของกองปุ๋ยหมักมีระดับ 0.5 ม. 1.0 ม. และ 1.5 ม. นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาผลของการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักสำหรับกองปุ๋ยที่มีความสูง 1.0 ม.

การศึกษาผลของความสูงของกองปุ๋ยหมักที่มีการพลิกกลับแสดงให้เห็นว่ากองปุ๋ยที่มีความสูง 1.0 ม. ให้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดีที่สุด ส่วนการศึกษาผลการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักแสดงให้เห็นว่าการพลิกกลับกองปุ๋ยมีผลทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปได้เร็วกว่าการไม่พลิกกลับกองปุ๋ยคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองใน Run ที่ 1 มีค่า CEC อยู่ในช่วง 94-130 มิลลิอีควิวเลน/100 กรัม น้ำหนักแห้ง $\text{NH}_3\text{-N}$ อยู่ในช่วง 0.006-0.067 กรัม $\text{NH}_3\text{-N}/100$ กรัม นน.

แห้ง Oxidized-N อยู่ในช่วง 0.28-0.47 กรัม Oxidized-N/100 กรัม นน. แห้ง องค์ประกอบเถ้าโดยน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 28-43 องค์ประกอบของแข็งที่ระเหยได้โดยน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 57-72 และมวลโดยน้ำหนักแห้งที่หายไปในระหว่างกระบวนการหมักอยู่ในช่วงร้อยละ 18.5-24.1 ส่วนคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองใน Run ที่ 2 มีค่า CEC อยู่ในช่วง 103-137 มิลลิอิควิวเลน/100 กรัม น้ำหนักแห้ง $\text{NH}_3\text{-N}$ อยู่ในช่วง 0.006-0.067 กรัม $\text{NH}_3\text{-N}/100$ กรัม นน. แห้ง Oxidized-N อยู่ในช่วง 0.18-0.37 กรัม Oxidized-N/100 กรัม นน. แห้ง องค์ประกอบเถ้าโดยน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 31-39 องค์ประกอบของแข็งที่ระเหยได้โดยน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 61-69 และมวลโดยน้ำหนักแห้งที่หายไปในระหว่างกระบวนการหมักอยู่ในช่วงร้อยละ 30.5-40.3 และยังพบอีกว่ากากตะกอนน้ำเสียที่ถูกนำไปใช้ในการหมักในครั้งนี้ได้ถูกตรวจพบพยาธิ *Strongyloids stercoralis* ในสภาพที่ยังมีชีวิตอยู่แต่เมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดลงพยาธิดังกล่าวได้ตายลง

Mato et al. (1994) รายงานว่าได้ทำปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนด้วยวิธีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ (Forced Ventilation) โดยไม่มีการพลิกกลับกองปุ๋ย ขยะชุมชนที่ได้จะนำมาแยกด้วยตะแกรงร่อนขนาด 100 มม. แล้วนำมากองจำนวน 2 กอง ขยะกองแรกจะใช้พลาสติกคลุมกันฝน แต่จะเปิดด้านหัวและท้าย ส่วนกองที่ 2 จะไม่คลุมอะไร และไม่มีการเติมน้ำ

สรุปผลการทดลองได้ว่าการคลุมกองปุ๋ยหมักจะมีผลโดยตรงต่อความชื้น เนื่องจากไม่ได้รับการเติมน้ำจากธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศนั้นจะมีความจำเป็นในการทำปุ๋ยหมักเนื่องจากจะทำให้การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นได้ จากการทดลองเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนลดลงต่ำที่สุดมีค่า 3-5% ในทั้ง 2 กอง อุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 60-65 °ซ ในวันที่ 10 ของการหมัก pH เริ่มต้นมีค่า 6.5 ในทั้ง 2 กอง และเมื่อสิ้นสุดการหมัก มีค่า 7.8 และ 8.0 สำหรับ กล้องที่ไม่คลุมและคลุมพลาสติกตามลำดับ ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในทั้ง 2 การทดลอง มีค่า 36% เมื่อเริ่มต้นการหมัก และลดลงเหลือ 25 % ในกล้องที่ไม่คลุมพลาสติก ส่วนอีกกล้องมีค่า 26 % เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดทั้ง 2 กล้องเมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่า 1.84% แล้วได้ลดลงเหลือ 1.41% และ 1.74% สำหรับกล้องที่ไม่คลุมและคลุมพลาสติกตามลำดับเมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นมีค่า 0.40% เมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่า 0.32 % และ 0.66% สำหรับ กล้องที่ไม่คลุมและคลุมพลาสติกตามลำดับ ปริมาณ C/N ratio เริ่มต้นมีค่า 9.7 เมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าลดลงเล็กน้อยโดยมีค่า 8.8 และ 7.4 สำหรับกล้องที่ไม่คลุมและคลุมพลาสติกตามลำดับ ส่วนปริมาณโลหะหนักนั้นจะสัมพันธ์กับวัสดุที่ไม่ย่อยสลาย ดังนั้นหากเพิ่มขนาดของวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ก็จะเพิ่มวัสดุที่ไม่ย่อยสลาย เช่น พลาสติก แก้ว กระป๋อง เป็นต้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณโลหะหนักด้วยเช่นกัน การปนเปื้อนของโลหะหนักนี้ยังมีผลมาจากสภาพความชื้นในกองปุ๋ยหมัก

ด้วย เนื่องจากหากมีความชื้นสูงจะเกิดการชะล้างโลหะหนักจากกองปุ๋ยได้ แต่ปริมาณสังกะสีและแคดเมียมจะเกิดจากการปนเปื้อนจากวัสดุในกองปุ๋ย ในการใช้ปุ๋ยหมักในการเกษตรค่าการปนเปื้อนของโลหะหนักจะเป็นค่าที่ใช้กำหนดปริมาณปุ๋ยหมักที่ใช้ แต่อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักที่ได้จากขยะชุมชนจะมีค่าการปนเปื้อนในปริมาณที่ต่ำกว่าขยะจากแหล่งอื่นๆ

Kapetanios et al. (1993) รายงานว่า ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนของประเทศกรีซ โดยใช้การกองแบบวินโดว์ (Windrow) แบ่งการเก็บขยะเป็น 4 โซน ในพื้นที่ของกรุงเอเธนที่มีประชากร 3.3 ล้านคน ซึ่งได้ทำการแยกขยะที่สามารถย่อยสลายได้ เช่น เศษผัก ผลไม้ เศษอาหาร เศษกระดาษ เป็นต้น แล้วทำการบดขยะเหล่านั้นให้มีขนาดเล็กกว่า 20 มม. และทำการกองในที่โล่งแบบวินโดว์สูง 1.8 ม. จำนวน 4 กองแยกตามพื้นที่การเก็บขยะ พลิกกลับ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และเติมน้ำเพื่อควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 50-60%

ผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อเริ่มต้นการหมักอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสูงถึง 60-70°C และอุณหภูมิในกองหมักจะอยู่ในช่วง 45-65°C เป็นเวลานานทำให้เชื้อโรคถูกทำลาย pH เริ่มต้นมีค่า 6-7.5 และจะเริ่มลดลงในช่วง 5 วันแรกหลังจากนั้น pH จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมัก(วันที่ 105-125) pH มีค่า 7.3-8.0 ค่าความชื้นเริ่มต้นกองที่ 1, 2 และ 4 มีค่า 72.6, 71.1 และ 70.6% ตามลำดับ และจะมีค่าลดลงถึง 48.5, 46.5 และ 47.1% ในสัปดาห์ที่ 3 จึงได้ทำการเติมน้ำให้มีความชื้น 50-60% ส่วนกองที่ 3 มีค่าความชื้นเริ่มต้น 63.7% ซึ่งมีค่าความชื้นเริ่มต้นต่ำที่สุด เป็นผลทำให้ต้องทำการเติมน้ำตลอดการหมักถึง 3 ครั้งคือในสัปดาห์ที่ 2, 6 และ 16 ส่วนกองอื่น ๆ เติมน้ำเพียงสองครั้งคือในสัปดาห์ที่ 3 และ 8 ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์แรกเนื่องจากการลดลงของสารอาหารคาร์บอนที่สูญเสียไปกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂)บวกกับกิจกรรมของ Azotobacteria ที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศทำให้เมื่อสิ้นสุดการหมักไนโตรเจนทั้งหมดมีค่า 1.61, 2.14, 1.55 และ 1.89% ของกองที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ แอมโมเนียม (NH₄⁺-N) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2-4 สัปดาห์แรกมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1920-2228 mg/kg dry weight หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่า <100 mg/kg dry weight ส่วนไนไตรท์ (NO₂-N) มีค่าเพิ่มขึ้นโดยค่าสูงสุดเท่ากับ 136-163 mg/kg dry weight และจะลดลงเรื่อย ๆ หลังวันที่ 40 เมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่า 4.3-16.4 mg/kg dry weight ซึ่งเห็นว่าจุลินทรีย์ได้หยุดการย่อยสลายแล้ว แต่ปฏิกิริยา Nitrification จะไม่เกิดในช่วงสองสัปดาห์แรกทำให้ไนเตรททำไม่เพิ่มขึ้นแต่หลังจากนั้นเมื่อ Nitrifying bacteria เริ่มมีในกองหมักจึงทำให้ค่าไนเตรท (NO₃-N)มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อสิ้นสุดการหมักไนเตรทมีค่าอยู่ในช่วง 264-541 mg/kg dry weight ค่า C/N ratio เริ่มต้นมีค่า 25.9, 22.4, 32.4 และ 24.5 ของกองที่ 1-4 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 155 วัน C/N ratio มีค่าลดลงเหลือ 15.4, 13.0, 15.0 และ 13.2 ตามลำดับ พบว่าค่า C/N ratio ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 25-35 หากมีค่ามากกว่า 35 จะทำให้การ

ย่อยสลายเป็นไปได้ช้า ดังนั้นควรมีการเติมยูเรียหรือแอมโมเนียมไนเตรทเพื่อปรับค่า C/N ratio ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

Marin et al. (1993) รายงานว่าได้ศึกษาการนำถ่านหินและขี้เลื่อยมาทำเป็นวัสดุผสมกับเศษปลา มูลไก่และเศษปุ๋ย เพื่อเพิ่มความพรุนและเป็นแหล่งของคาร์บอนในการหมัก โดยใช้วิธี Windrow ด้านข้างและด้านล่างหุ้มและรองด้วยพลาสติกโฟม เติมหากาศด้วยวิธีธรรมชาติโดยไม่มีการพลิกกลับกองปุ๋ย

สรุปผลการทดลองได้ว่า ทุกๆ การทดลอง อุณหภูมิหลังจากเริ่มทำการหมักไปได้ 20 วัน จะเพิ่มขึ้นจนอยู่ในช่วง Thermophilic (สูงกว่า 37°C) โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 55°C (อุณหภูมิจากบรรยากาศเฉลี่ยเท่ากับ 0°C) และเมื่อผ่านไปถึงวันที่ 108 ของการทดลองจะมีอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิบรรยากาศทุกการทดลองซึ่งถือว่า ปุ๋ยหมักนั้นได้ที่แล้ว โดยเมื่อสิ้นสุดการหมัก pH มีค่า 5.73 ± 1.59 ความชื้นมีค่าระหว่าง 60-69% และไนโตรเจนมีค่า 1.04-2.46% เศษปลาจะมีอุณหภูมิในช่วง Thermophilic นานกว่า แต่มูลไก่จะมีอัตราการย่อยสลายสูงกว่า เนื่องจากมูลไก่มีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีกว่า ถ่านหินเมื่อถูกย่อยสลายจะให้ไนโตรเจนสูงกว่าขี้เลื่อยและถ่านหินยังสามารถรักษาแอมโมเนียได้ดีกว่าด้วย ขี้เลื่อยจะมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดสูงกว่าถ่านหิน เนื่องจากขี้เลื่อยจะมีเซลลูโลส ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่มีการย่อยสลายได้ยากอยู่เป็นจำนวนมาก

Polprasert et al. (1991) รายงานว่า ได้ทำการวิจัยการหมักปุ๋ยแบบวินโดว์ชนิดที่ไม่มีการพลิกกลับกองปุ๋ยและมีการเติมอากาศตามธรรมชาติโดยใช้ไม้ไผ่เจาะรูเสียบเข้าไปในกองปุ๋ยหมัก วัสดุที่เป็นของเสียหลักที่นำมาหมักคือ ผักตบชวาที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ (ยาว 1-2 ซม.) ที่มี C/N ratio มีค่า 20 และไนโตรเจนร้อยละ 1.6 อุจจาระปนปัสสาวะของหมูที่มีค่า C/N ratio เท่ากับ 8 และไนโตรเจนร้อยละ 3.8 ส่วนวัสดุที่ใช้ช่วยปรับค่า C/N ratio เพื่อให้มีค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมในการหมักคือ ใบไม้ ที่มีค่า C/N ratio เท่ากับ 60 และไนโตรเจนร้อยละ 5.5 นอกจากนี้ยังใช้ฟางข้าวคลุมกองปุ๋ยเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน การหมักปุ๋ยได้ทำ 2 กองคือ กองที่ 1 มีค่า C/N ratio เริ่มต้นเท่ากับ 25 ส่วนกองที่ 2 มีค่า C/N ratio เท่ากับ 30 และทั้งสองกองควบคุมค่าความชื้นไว้ที่ช่วงร้อยละ 60-70 ในช่วงสองสัปดาห์แรกของการหมัก โดยใช้วิธีการพ่นน้ำ

ผลการศึกษาอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยพบว่าในช่วง 2-3 วันแรกของการหมัก อุณหภูมิของทั้งสองกองสามารถขึ้นสูงถึง 53-60°C ซึ่งมีผลในการฆ่าเชื้อโรคได้ดี และหลังจากนั้นอุณหภูมิของทั้งสองกองก็ลดลงอย่างรวดเร็ว จนลงมาถึงในระดับอุณหภูมิบรรยากาศที่ 30°C ภายในระยะเวลา 30 วัน จากตารางที่ 5 แสดงค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทั้งสองกองที่ลดลงภายหลังจากการหมักเป็นระยะเวลา 30 และ 80 วัน ส่วนค่าไนโตรเจนของทั้งสองกองภายหลังระยะเวลาในการหมัก 30

วัน มีค่าประมาณร้อยละ 1.9 และค่าฟอสฟอรัสของทั้งสองกองภายหลังระยะเวลาในการหมัก 30 วัน มีค่าประมาณร้อยละ 1.2 จากการทดลองได้สรุปว่าสามารถนำผักตบชวามาผสมกับอุจจาระปน ปัสสาวะของหมู แล้วใช้ใบไม้ปรับค่า C/N ratio เริ่มต้นให้เหมาะสมตามต้องการเพื่อทำปุ๋ยหมักได้ โดยค่า C/N ratio เริ่มต้นที่เหมาะสมนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่ค่า 25 และ 30

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของทั้งสองกองปุ๋ยหมักที่ระยะเวลาในการหมัก 30 และ 80 วัน

Composition (dry weight)	C/N ratio = 25		C/N ratio = 25	
	30 วัน	80 วัน	30 วัน	80 วัน
%N	1.85	2.37	1.95	2.11
%P	1.28	1.58	1.08	1.32
%Ash	31.49	36.6	44.45	49.82
C/N ratio	21.43	10.99	15.89	11.8

ที่มา: Polprasert et al., 1991

Leemaharounguang (1988) รายงานว่า ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาลใน กรุงเทพมหานคร โดยใช้วิธีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ โดยผสมสารเร่ง (Seeding) ของ กรมพัฒนาที่ดินลงในการทดลองทั้งสองการทดลอง โดยการทดลองที่หนึ่ง จะทำการเปลี่ยนแปลง สารเร่งโดยใช้ 0.015%, 0.030%, 0.045% (% น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และไม่ใช่สารเร่ง การทดลองที่ สอง เปลี่ยนแปลงอัตราการเติมอากาศโดยใช้ 0.006, 0.02, 0.01 และ 0.03 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม ต่อชั่วโมง

จากการทดลองสรุปได้ว่าควรใช้สารเร่งในอัตราส่วน 0.015% ในการทดลองที่ 1 และ อัตราการเติมอากาศ 0.02 ลบ.ม./กก./ชั่วโมง ในการทดลองที่สอง เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปุ๋ยหมักที่ได้ จะมี คุณสมบัติที่ดีในการบำรุงดิน ธาตุอาหาร (N:P:K) มีค่า 1.3:2:1 และ 2.25:2:1 ในการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับมาตรฐานที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม (1974) แต่จะมีค่า โลหะหนักสูงเล็กน้อย ความชื้นมีค่าระหว่าง 35-40% ในการทดลองที่ 1 และ 50-55% ในการทดลองที่ 2 pH มีค่าระหว่าง 7.8-8.3 และ 8.9-9.2 ในการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ อุณหภูมิในการหมักของทั้งสองการทดลอง เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงวันที่ 5-7 ของการหมัก และลดลงใกล้เคียงกับ บรรยากาศประมาณวันที่ 30 ของการหมัก ปริมาณแอมโมเนียมีค่าสูงสุดระหว่าง 0.05-0.09% ปริมาณไนเตรทเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่า 0.04-0.15% และ 0.01-0.07% ในการทดลองที่ 1 และ 2

ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่า 0.8-1.2% และมีค่า 1.3-1.8% ในการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนในทั้ง 2 การทดลองมีค่า 15-17% และ 17-21% ตามลำดับ C/N ratio มีค่าต่ำกว่า 20 ของทั้ง 2 การทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่า 1.0-1.8% และ 1.2-1.6% ในการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ปริมาณโปตัสเซียมมีค่า 0.5-0.9% ในการทดลองที่ 1 และ 0.6-0.8% ในการทดลองที่ 2