

บทที่ 2

ทฤษฎีและสรุปสาระสำคัญของเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1. ทฤษฎี

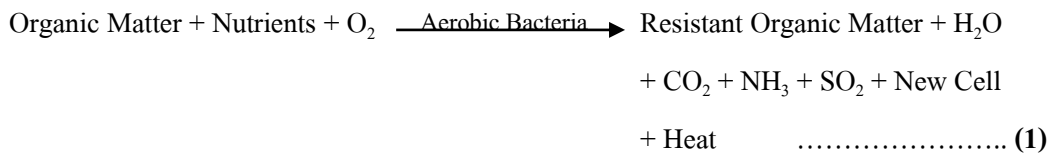
2.1.1 การหมักปุ๋ย (Composting)

การหมัก (Composting) เป็นการย่อยสลายทางชีวภาพและทำให้สารอินทรีย์มีเสถียรภาพภายใต้สภาวะที่ควบคุมเพื่อให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์มากที่สุด โดยได้สารอินทรีย์ที่มีความเสถียรเพียงพอที่จะทำการเก็บไว้และใช้ประโยชน์ต่อพื้นที่เพาะปลูก โดยไม่เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยซากพืช ซากสัตว์ เศษขยะและมูลสัตว์เมื่อนำมากองรวมกันโดยวิธีต่างๆ และใช้เวลาเพียงเล็กน้อยเศษวัสดุเหล่านั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้เน่าเปื่อยสลายตัวออกจากรูปเดิม หลังจากนั้นก็สามารถนำปุ๋ยอินทรีย์ไปออกใช้งานได้ การเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปบนดิน จะมีผลช่วยให้ดินเหนียวที่เกาะตัวกันแน่นทึบให้มีความร่วนซุยและปรับปรุงดินทรายให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหารพืชได้สูงขึ้นส่งผลให้การใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรเกิดประสิทธิภาพสูงขึ้น กล่าวคือ พืชสามารถใช้ปุ๋ยเคมีได้สูงขึ้น เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปบนดินสามารถลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีลงได้ถึงร้อยละ 50 แกรมในปุ๋ยอินทรีย์ยังมีแร่ธาตุสารอาหารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชเกือบทุกธาตุและนอกจากนี้ การทำปุ๋ยอินทรีย์ยังเป็นการนำเอาอินทรีย์สารจำพวกซากพืชที่เหลือในไร่นา เศษซากวัสดุที่เหลือทิ้งจากโรงงาน เศษขยะมูลฝอยจากครัวเรือนและวัชพืชต่างๆ ในไร่นา นำกลับมาทำให้เกิดประโยชน์ซึ่งเท่าที่ผ่านมาอินทรีย์สารพวกนี้ถูกกลืนและถูกทำลายให้สูญเสียไป โดยมิได้ก่อให้เกิดประโยชน์อื่นใด

หลักการผลิตปุ๋ยอินทรีย์สามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ

ก. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Decomposition)

การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นวัสดุที่ย่อยสลายทางชีวภาพในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์จะให้ผลผลิตของปฏิกิริยาต่างจากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เสถียร (Final Stabilized Products) ตามปฏิกิริยาของ Metcalf and Eddy (2004) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายคือ สารคงตัว น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และพลังงานความร้อน ดังสมการที่ (1)



ในการที่จะเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนได้นั้นต้องมีภาวะที่เหมาะสม เช่น มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม เป็นต้น การย่อยสลายหรือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยวิธีนี้เป็นไปได้เร็วและใช้มากในอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากมูลฝอยชุมชนทั่วไปซึ่งใช้เวลาไม่มากนัก (ประมาณ 5-30 วัน) และไม่ส่งกลิ่นเหม็นรุนแรง

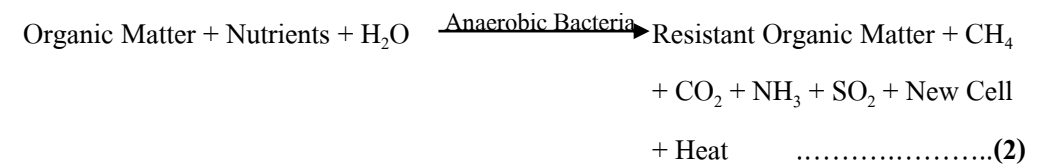
การทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนทำได้ 2 วิธี คือ

- การผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยอาศัยออกซิเจนตามธรรมชาติ วิธีการนี้จะสามารถนำมูลฝอยที่มีอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ไปกองรวมกันให้แต่ละกองมีขนาดเล็กถึงใหญ่ และอาจมีการพลิกกลับ ถ้าหากกองรวมกันให้เป็นขนาดใหญ่ มูลฝอยที่อยู่ข้างในอาจได้รับออกซิเจนไม่เพียงพออาจทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) ขึ้นได้ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์วิธีนี้จึงต้องใช้พื้นที่มากและใช้เวลานานมากกว่า 30 วัน

- การผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยการเร่งอัตราการย่อยสลายโดยใช้เครื่องจักรกลช่วย โดยทั่วไปเรียกว่า High Rate Composting มีการใช้เครื่องมือที่ช่วยให้ออกซิเจนในอากาศสัมผัสกับมูลฝอยได้มากที่สุด อาจใช้พัดลมหรือใบพัดให้อากาศหมุนเวียน หรืออาจทำเป็นกระบะเจาะรูมีการพลิกกลับ เป็นต้น นอกจากนี้ใช้เครื่องจักรเติมออกซิเจนให้มูลฝอยแล้ว ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จำเป็นต้องทำให้มูลฝอยเป็นชิ้นเล็กและแยกเอาส่วนที่ไม่ย่อยสลายออกไปจะช่วยให้มูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้นทำให้การย่อยสลายเร็วขึ้นใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน วิธีดังกล่าวคือ วิธีการที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากมูลฝอยชุมชนในปัจจุบัน

ข. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition)

เป็นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) 2 กลุ่มคือ จุลินทรีย์สร้างกรด (Acid Forming Anaerobic Bacteria) และจุลินทรีย์สร้างมีเทน (Methanogenic Anaerobic Bacteria) ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย ตามสมการที่ (2) ดังนี้



จากสมการที่ (2) จะเห็นว่า กระบวนการนี้ทำให้เกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานความร้อนได้ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้อาจทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนอันเนื่องมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน (Tchobanoglous et al., 1993) คือ

ก. กระบวนการไฮโดรไลซิส คือ กระบวนการที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ในพอลิเมอร์และไขมันที่มีโมเลกุลซับซ้อนไปเป็นน้ำตาลและไขมันโมเลกุลเดี่ยว

ข. กระบวนการลดมวลโมเลกุลของสารประกอบ คือ กระบวนการที่จุลินทรีย์ เปลี่ยนผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนที่ 1 ไปเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลลดลง เช่น กรดอะซิติกและเมธานอลเป็นต้น จุลินทรีย์ดังกล่าวคือแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรดซึ่งมีทั้งแฟคคัลเททีฟแบคทีเรีย (Facultative Bacteria) และแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน

ค. กระบวนการเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ คือ กระบวนการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และกรดอะซิติก ไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จุลินทรีย์ดังกล่าวคือ แบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทนซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนล้วนๆ จุลินทรีย์ชนิดนี้มีอัตราการเจริญโตที่ช้ามาก ดังนั้นอัตราการเติบโตจึงเป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนปฏิกิริยานี้จะสิ้นสุดเมื่อมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนเกิดขึ้น

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนนั้นจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อควบคุมให้ระบบปราศจากออกซิเจนอย่างแท้จริง รวมทั้งการกำจัดแอมโมเนียและซัลไฟด์ด้วยการควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5-7.5 เพื่อให้แบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทนทำงานได้ดี อย่างไรก็ตามกระบวนการย่อยสลายนี้เกิดขึ้นช้ากว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมากซึ่งอาจใช้เวลาานาน 2 เดือนถึง 1 ปี

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

2.1.2.1 จุลินทรีย์

กรมพัฒนาที่ดิน (2540) ได้รายงานชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยอินทรีย์แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

ก. เชื้อรา (Fungi) เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยมีสปอร์กระจายอยู่ทั่วไป ในกองปุ๋ยอินทรีย์จะตรวจพบเชื้อราเสมอแต่มีชนิดและปริมาณแตกต่างกันตามวัสดุที่นำมาใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ความชื้น และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเป็นสภาพที่เหมาะสมกับแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงมักพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองปุ๋ยอินทรีย์ที่มีอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นน้อยกว่าภายในกอง จากการศึกษาจะพบเชื้อราในกองปุ๋ยอินทรีย์เมื่ออุณหภูมิลดลงในช่วง 50 องศาเซลเซียสและในสภาพแห้งแล้งที่อุณหภูมิ 60-63 องศาเซลเซียส ถ้าหาก

อุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียสจะไม่พบเชื้อราเลย บ้างก็ต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมจะเป็นตัวควบคุมชนิดและคัดเลือกเชื้อราที่มีความสามารถในการดำรงกิจกรรมในกองปุ๋ยอินทรีย์จากการศึกษาชนิดของเชื้อราในระยะต่างๆ ของการทำปุ๋ยอินทรีย์พบว่าในระยะแรกที่อุณหภูมิในกองหมักเพิ่มสูงขึ้นมักจะตรวจพบเชื้อราพวก *Geotrichum candidum* และ *Aspergillus fumigatus* เมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับ 45-55 องศาเซลเซียสมักพบเชื้อราพวก *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะพบเชื้อราพวก *Penicillium duponti*

ข. แบคทีเรีย (Bacteria) จุลินทรีย์พวกนี้จะพบอยู่ในช่วงของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และมักตรวจพบในปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นเสมอ ปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมดในกองปุ๋ยอินทรีย์มีค่าประมาณ 2.3×10^8 เซลล์ต่อน้ำหนัก 1 กรัม ส่วนพวกที่มีสปอร์และทนต่อความร้อนจะมีค่าประมาณ 3.9×10^4 เซลล์ต่อน้ำหนัก 1 กรัม ปริมาณของแบคทีเรียดังกล่าวเป็นค่าที่ไม่แน่นอนโดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์อีกทั้งปริมาณของแบคทีเรียจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ค. แอคติโนมัยซีต (Actinomycetes) แอคติโนมัยซีตที่มักพบในกองปุ๋ยอินทรีย์ได้แก่ *Thermoactinomyces* sp. และ *Thermomonospora* sp. ซึ่งเป็นพวกที่แอคติโนมัยซีตสามารถผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ 2 ชนิดข้างต้นแล้วอาจพบพวก *Streptomyces* sp. และ *Micropolypipara* sp. อีกด้วยจุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยอินทรีย์ในขณะที่อุณหภูมิสูง

2.1.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เป็นตัวชี้ให้เห็นว่ากระบวนการเปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยอินทรีย์จะช้าหรือเร็ว อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของกองปุ๋ยอินทรีย์เกิดจากกระบวนการเมตา-บอลิซึมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Stentiford, 1996) ในช่วงอุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียสเป็นช่วงที่มีความหลากหลายของจุลินทรีย์ช่วงอุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียสเป็นช่วงที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด และช่วงที่อุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส สามารถฆ่าเชื้อโรคบางชนิดในกองปุ๋ยอินทรีย์ได้ (Polprasert, 1996) ระยะการเติบโตของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยอินทรีย์ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไว้เป็น 4 ระยะ (รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยอินทรีย์) ดังต่อไปนี้

ระยะที่ 1 ระยะปรับตัว (Latent Phase) เป็นช่วงเวลาสั้นๆ ในระยะแรกของการทำปุ๋ยอินทรีย์ อุณหภูมิในกองปุ๋ยอินทรีย์เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากจุลินทรีย์กำลังปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยอินทรีย์

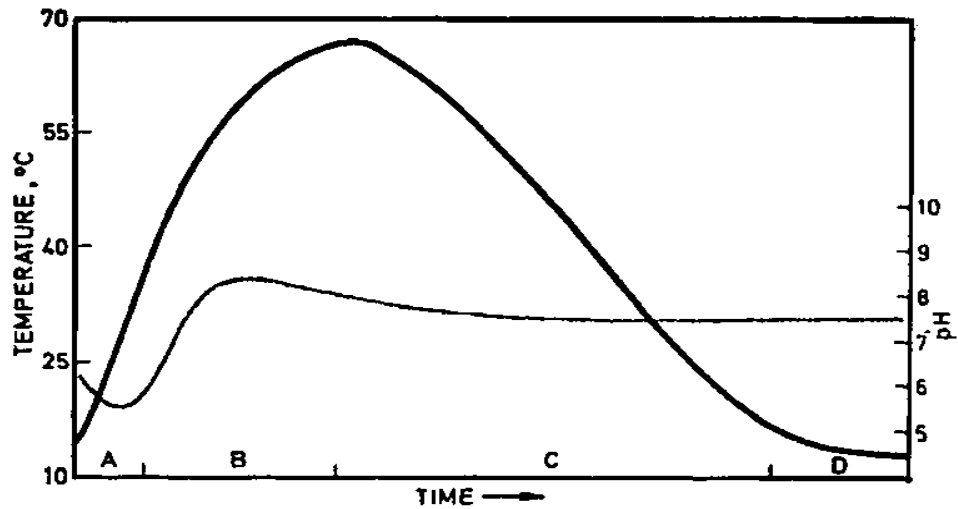
ระยะที่ 2 เมโซฟิลิก (Mesophilic Phase) ระยะนี้จุลินทรีย์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นและผลจากการย่อยสลายอินทรีย์สารชนิดต่างๆ ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น อุณหภูมิในกองปุ๋ยอินทรีย์สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยอุณหภูมินี้ในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในช่วงนี้คือ Mesophilic Microorganism

ระยะที่ 3 ระยะเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic Phase) การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสทำให้ Mesophilic Microorganism ตายหรือหยุดทำงานชั่วคราว แต่การย่อยสลายยังคงดำเนินต่อไปโดยจุลินทรีย์พวก Thermophilic Microorganism ที่สามารถดำเนินกิจกรรมได้ในช่วงอุณหภูมิ 50-65 องศาเซลเซียส เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายมากขึ้น พลังงานความร้อนจากกระบวนการทำปุ๋ยอินทรีย์จะสูญเสียความร้อนในกองปุ๋ยอินทรีย์ออกสู่บรรยากาศทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยอินทรีย์ลดลง

ระยะที่ 4 ระยะบ่ม (Maturation Phase) เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยอินทรีย์ลดลงจนอยู่ในช่วง Mesophilic Phase จุลินทรีย์จำพวก Mesophilic Microorganism จะเข้ามามีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์อีกครั้งเพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนไปเป็นสารประกอบที่มีลักษณะคงตัวที่เรียกว่าสารฮิวมิก จากนั้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยอินทรีย์จะลดลงจนใกล้เคียงอุณหภูมิบรรยากาศ โดยรอบแสดงว่ากระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เสร็จสมบูรณ์

2.1.2.3 ความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการหมัก 2 ประการคือ ใช้ละลายสารอาหารและเกลือแร่ต่างๆ ที่จำเป็นในการดำรงชีพและเป็นตัวชี้ว่าการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนสามารถเกิดขึ้นในกองปุ๋ยอินทรีย์ได้หรือไม่ ซึ่งข้อจำกัดของความชื้นในการหมักคือการที่มีความชื้นต่ำหรือสูงเกินไป ถ้าหากความชื้นภายในกองปุ๋ยมีความเหมาะสม การถ่ายเทออกซิเจนจะเกิดได้ดี จุลินทรีย์สามารถนำออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี มีผลให้อัตราเร็วในการย่อยสลายสารอินทรีย์และอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยอินทรีย์สูงขึ้น



A = mesophilic, B = thermophilic, C = cooling, D = maturing

รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยอินทรีย์

ที่มา : คัดแปลงจาก US. EPA., 1994

หากความชื้นภายในกองปุ๋ยอินทรีย์มีค่าสูงเกินไปจะทำให้การถ่ายเทอากาศเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากช่องว่างระหว่างวัสดุหมักลดลง ทำให้เกิดสภาพไร้อากาศ ในขณะที่ความชื้นภายในกองหมักที่มีค่าต่ำเกินไปจะทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียเกิดขึ้นน้อย โดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิของกองหมักมีค่าสูง (Miller, 1992)

ค่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 50-70 ค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 60 และควรควบคุมให้ค่าความชื้นมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมดังกล่าวตลอดการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จนถึงช่วงที่อุณหภูมิของกองหมักปุ๋ยอินทรีย์เริ่มลดลง (Polprasert, 1996)

2.1.2.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

ถ้าวัสดุมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอหรืออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงอัตราการย่อยสลายจะต่ำ เพราะจุลินทรีย์ขาดแคลนไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโต ดังนั้นการเติมไนโตรเจนลงไปก็เพื่อปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับให้จุลินทรีย์นำคาร์บอนและไนโตรเจนไปใช้ในกิจกรรมสร้างเซลล์หากวัสดุหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ การเจริญเติบโตและการย่อยสลายจุลินทรีย์ก็จะเป็นไปอย่างรวดเร็วจนอาจทำให้เกิดสภาพการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ หากภายในกองปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ นอกจากนี้ถ้ามีปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินไปจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อจุลินทรีย์

ได้อย่างไรก็ตามค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมและใช้กันทั่วไปสำหรับวัสดุหมักที่เป็นสารอินทรีย์ค่าอยู่ในช่วง 25-30:1 (Haug, 1993)

2.1.2.5 ค่าพีเอช

อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่างการหมักจะมีค่าสูง เมื่อค่าพีเอชมีค่าระหว่าง 6-9 โดยทั่วไปวัสดุหมักเริ่มต้นมีค่าพีเอชประมาณ 6 ในช่วงแรกของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ค่าพีเอชจะลดลง การย่อยสลายจะเกิดช้าลง แต่เมื่อช่วงเวลาในการหมักนานขึ้นค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นมาที่ประมาณ 8.5 อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นค่าพีเอชของการหมักจะตกลงมาอยู่ระหว่าง 7.5-8.0 โดยทั่วไปแล้วการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ไม่จำเป็นต้องมีการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเพราะค่าพีเอชของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ถูกปรับตัวให้เป็นกลางโดยอัตโนมัติ (Miller, 1992)

2.1.2.6 การเติมเชื้อ (Seeding)

แม้ว่าของเสียอินทรีย์ตามธรรมชาติต่างก็มีจุลินทรีย์ที่จำเป็นต่อกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพอยู่แล้ว (US. EPA., 1994) การเติมเชื้อเพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ให้กับวัสดุหมักจะช่วยลดระยะเวลาในการปรับตัวของจุลินทรีย์ทำให้ปฏิบัติการย่อยสลายเกิดเร็วขึ้น การเติมเชื้อทำได้โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์สำเร็จรูปที่มีขายทั่วไปหรือสามารถใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ที่แล้วบางส่วนมาผสมกับวัสดุหมักในอัตราส่วนร้อยละ 1-5 โดยน้ำหนัก (Tchobanoglous et al., 1993)

2.1.2.7 การเติมอากาศ

ออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ การย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเป็นกระบวนการย่อยสลายที่ช้าแล้วทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้นจึงควรกลับกองปุ๋ยเป็นระยะเพื่อให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการหมักปุ๋ยให้เร็วขึ้น กองปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ได้กลับจะใช้เวลาย่อยสลายนานกว่า 3-4 เท่า การกลับกองปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้อุณหภูมิสูงกว่า ซึ่งจะช่วยให้ทำลายเมล็ดวัชพืชและโรคพืชได้ กองปุ๋ยอินทรีย์เมื่อเริ่มต้นควรมีช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 30-35 เพื่อให้สภาวะการหมักที่ดีที่สุดเกิดขึ้น และควรรักษาระดับออกซิเจนให้เกินร้อยละ 5 ทั่วทั้งกอง ปุ๋ยอินทรีย์โดยทั่วไปรับออกซิเจนในกองปุ๋ยอินทรีย์จะอยู่ในช่วงร้อยละ 6-16 และร้อยละ 20 รอบผิวกองปุ๋ยอินทรีย์ถ้าระดับออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 50 การย่อยสลายจะเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นตามมา ดังนั้นออกซิเจนยิ่งมาก การย่อยสลายยิ่งเกิดมาก

อัตราการเติมอากาศจะขึ้นอยู่กับความชื้น และโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ในการหมัก ตลอดจนสารอาหารในวัสดุอินทรีย์ ทำให้ไม่สามารถกำหนดอัตราการเติมอากาศนี้ตายตัวได้ แต่จากการ

ทดลองหมักขยะผสม (ขยะเปียก เศษพืช กระดาษ) ที่ University of California แสดงอัตราการพลิกที่เหมาะสมต่อขยะที่มีความชื้นต่างๆ ดังนี้

ความชื้นร้อยละ 60 – 70	พลิกทุก 2 วัน
ความชื้นร้อยละ 40 – 60	พลิกทุก 3 วัน
ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 40	เติมน้ำ

การพลิกนี้ทำให้การย่อยสลายแบบแอโรบิกเกิดเร็วขึ้น แม้ว่าการพลิกในช่วงห่างจากนี้จะไม่ทำให้เกิดสภาพแอโรบิกหรือกลืน แต่จะทำให้การย่อยสลายเกิดช้าลง แต่เมื่อใดที่มีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นหมายความว่ามีการเกิดปฏิกิริยาแบบแอนแอโรบิกในกองหมัก จะต้องมีการพลิกกองหมักบ่อยๆ ทุกวัน จนกว่ากลิ่นจะหายไป หรือกล่าวได้ว่ากองหมักกลับสู่ปฏิกิริยาแอโรบิกอีกครั้ง

2.1.3 วิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

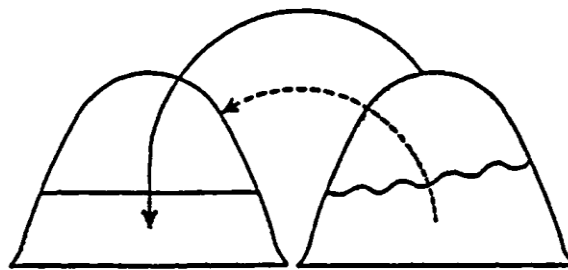
รูปแบบการการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ สามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบดังนี้

2.1.3.1 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบระบบเปิด (Windrow or Opened System)

เป็นการนำของเสียมากองทิ้งไว้ให้เกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์โดยมีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศหรือไม่ก็ได้ การหมักแบบนี้สามารถแบ่งเป็น 2 แบบย่อยคือ

ก. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบมีการกลับกองปุ๋ย (Turned Pile)

วิธีการหมักแบบนี้คือ ผสมวัตถุดิบที่ต้องการหมักให้เข้ากันแล้ววางกองเป็นแนวยาว ความสูงประมาณ 2 เมตร ส่วนความกว้างของฐานกองปุ๋ยอินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นของการหมักไม่ควรเกิน 3 เมตร (รูปที่ 2.2 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบมีการพลิกกลับกองปุ๋ย) เพื่อสะดวกในการพลิกกลับ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ลักษณะของการกองปุ๋ยอาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู บางครั้งอาจออกแบบให้เป็นรูปครึ่งทรงกลมเพื่อให้หน้าฝนไหลออกไปอย่างสะดวก อย่างไรก็ตามการกำหนดขนาดและรูปทรงของกองปุ๋ยนั้นไม่เป็นที่แน่นอนขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผลิต

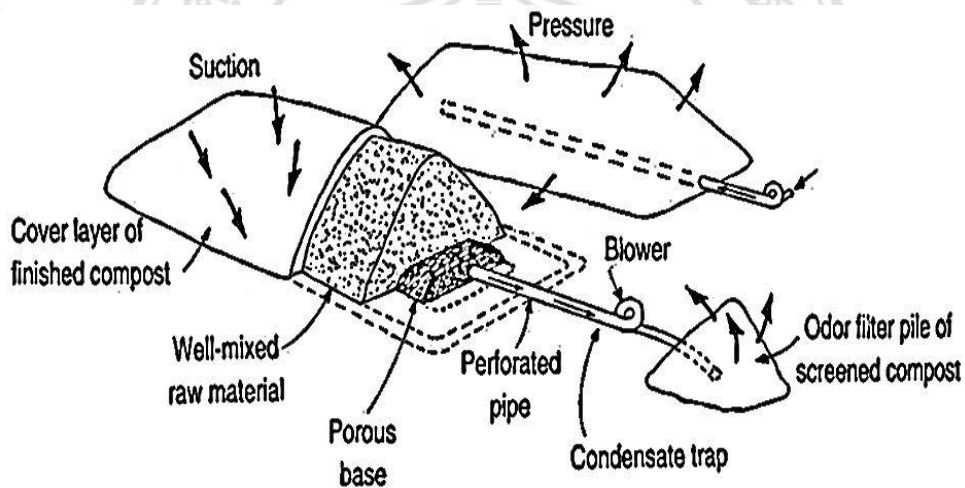


รูปที่ 2.2 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบมีการพลิกกลับกองปุ๋ย

ที่มา : UConn CES., 1989

ข. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่มีการพลิกกลับกอง (Static Pile)

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบนี้มักจะมีการให้อากาศโดยการเป่าหรือฉีดเข้าไป นอกจากจะประหยัดพลังงานแล้วยังเป็นการช่วยเก็บความชื้นและอุณหภูมิในกองปุ๋ยอินทรีย์ได้อีกด้วยเหมาะกับการหมักวัสดุที่มีลักษณะค่อนข้างเปียกเพื่อปรับโครงสร้างของวัสดุให้มีความพรุนสูงขึ้นและซึมซับความชื้นที่อาจมีมากเกินไป เมื่อการหมักสิ้นสุดลงวัสดุเหล่านี้จะถูกแยกออกไปโดยการร่อนผ่านตะแกรงการแพร่ผ่านของอากาศเข้าสู่กองปุ๋ยอินทรีย์ขึ้นกับการส่งผ่านอากาศผ่านรูพรุนและจากการเติมอากาศในเครื่องเติมอากาศเท่านั้นการไม่พลิกกลับกองจึงทำให้ต้องย่อยขนาดวัสดุหมักลงเพื่อให้การย่อยเป็นไปสม่ำเสมอทั้งกองบางครั้งเมื่อหมักนาน 3-4 สัปดาห์ จะมีการนำปุ๋ยอินทรีย์มาย่อยให้เล็กลงอีกครั้ง โดยผสมมูลฝอยชั้นใหญ่ลงไปด้วยเพื่อให้มีความพรุนเหมาะสม เมื่อหมักเสร็จจะร่อนมูลฝอยชั้นใหญ่ออก (รูปที่ 2.3 แสดงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบ Aeration Static Pile)



รูปที่ 2.3 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบ Aeration Static Pile

ที่มา : Rynk et al., 1992

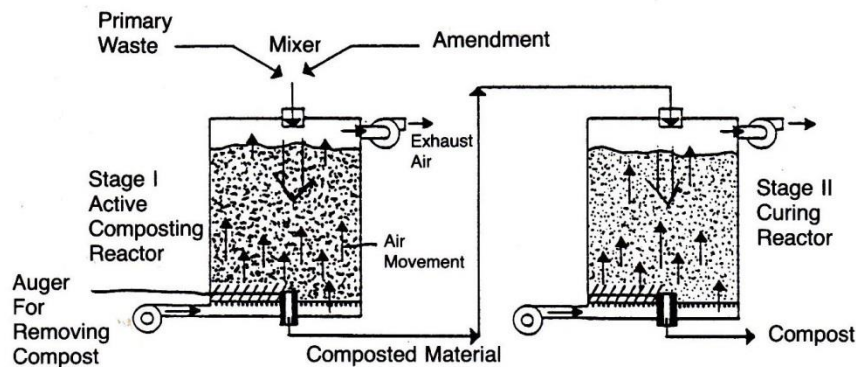
การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบนี้เป็นการนำวัสดุที่ต้องการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ มาใส่ในถังปฏิกรณ์ (Reactor) ปิดหรือท่อดปิดขนาดใหญ่แล้วอัดอากาศเข้าไป วัสดุจะเคลื่อนย้ายภายในถังด้วยการอัดตัวของวัสดุเข้ามาใหม่หรือมีอุปกรณ์เสริมเพื่อช่วยในการผสมภายในถังหมัก การหมักแบบใช้ถังปฏิกรณ์นี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

ก. แบบ **Plug Flow** ของเสียที่หมักจะถูกนำไปใส่ท่อและถูกทำให้เคลื่อนที่ไปในท่อโดยระหว่างนี้มีการเติมอากาศเข้าไป เมื่อของเสียเคลื่อนที่จนถึงปลายท่อจะใช้เวลาเท่ากับเวลาที่ต้องการหมัก

ข. แบบ Dynamic ภายในท่อมืออุปกรณ์ที่ทำให้ของเสียมีการผสมกันอย่างทั่วถึงไปพร้อมๆ กับการเติมอากาศซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างทั่วถึงทั้งระบบ การหมักแบบ Dynamic แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- ระบบถังในแนวตั้ง (Vertical Process)

ระบบนี้วัสดุจะเคลื่อนที่ตามแนวตั้งจากบนลงล่างหรือจากล่างขึ้นบนก็ได้ (รูปที่ 2.4 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบระบบถังในแนวตั้ง) ใช้ได้ทั้งแบบครั้งคราวและแบบต่อเนื่องโดยการหมักแบบครั้งคราวคือการนำวัสดุที่ต้องการผลิตปุ๋ยอินทรีย์มาใส่ในภาชนะปิดแล้วเติมอากาศผ่านทางท่อเมื่อกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์สิ้นสุดก็นำออกจากถังได้ส่วนการหมักแบบต่อเนื่องต้องนำวัสดุที่ต้องการผลิตปุ๋ยอินทรีย์มาเติมทุกวัน โดยอายุของวัสดุหมักในถังจะไม่เท่ากัน ระยะเวลาในการหมักของวัสดุต้องมากพอที่จะทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดี ถึงปฏิกิริยานี้สามารถใช้ได้ทั้งแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยมความลึกของวัสดุในถังประมาณ 6-9 เมตร ค่าดำเนินการของระบบนี้มีราคาต่อหน่วยการผลิตต่ำ



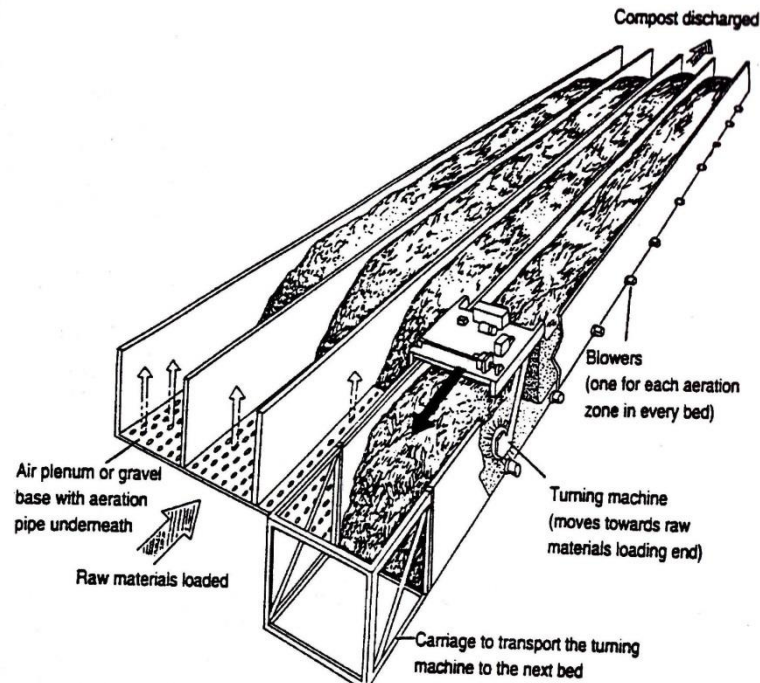
รูปที่ 2.4 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบระบบถังในแนวตั้ง

ที่มา : Luis et al., 1993

- ระบบถังในแนวนอน (Horizontal Process)

ระบบนี้ใช้ได้ทั้งแบบครั้งคราวและต่อเนื่อง มีหลักการคล้ายระบบในแนวตั้ง แตกต่างกันตรงที่ทิศทางการวางถัง ซึ่งระบบถังในแนวนอนจะเคลื่อนที่ในแนวระดับ รายละเอียดแสดงใน (รูปที่ 2.5 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบระบบถังในแนวนอน) ระบบนี้อาจมีการเพิ่มประสิทธิภาพของการเติมอากาศโดยติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกวน เพื่อให้วัสดุมีโอกาสสัมผัสกับอากาศได้อย่างทั่วถึง การออกแบบอาจ

ทำเป็นเซลล์เดี่ยวหรือหลายเซลล์ต่อกันแต่ละเซลล์มีการผสมแบบสมบูรณ์และอายุปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละเซลล์ไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.5 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบระบบถังในแนวนอน

ที่มา : US. EPA., 1994

2.1.4 การประเมินความสำเร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์

วิธีการประเมินความสำเร็จสมบูรณ์สามารถทำได้หลายวิธีเช่นวิธีทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ

2.1.4.1 การประเมินความสำเร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์โดยวิธีทางเคมี

ก. ค่าพีเอช ในช่วงเริ่มต้นของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ค่าพีเอชจะลดลงเล็กน้อยจนมีค่าประมาณ 5 ต่อมาจะมีค่าเพิ่มเมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายและเริ่มเสถียรภาพจนในที่สุดค่าพีเอชจะรักษาระดับอยู่ในช่วง 7-8 จนสิ้นสุดกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์หากค่าพีเอชของกองปุ๋ยอินทรีย์เป็นกรดแสดงว่าการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ เนื่องจากใช้เวลาหมักน้อยเกินไปหรืออาจเกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Gray *et al.*, 1971) อย่างไรก็ตามการใช้ค่าพีเอชในการประเมินความสำเร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์ค่อนข้างไม่มีความแน่นอนเนื่องจากชนิดวัสดุและสภาพแวดล้อมของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตลอดจนเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต

ข. อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ปุ๋ยอินทรีย์ที่เสร็จสมบูรณ์จะต้องมีค่า (C/N Ratio) ไม่เกิน 20:1

ค. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนบ่งบอกถึงการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์แบบใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนรูปของโปรตีนไปเป็นกรดอะมิโนกรดไขมันและแอมโมเนีย หลังจากนั้นแอมโมเนียจะถูกย่อยสลายต่อโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) กลายเป็นไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนตามลำดับส่วนกรดไขมันและคาร์โบไฮเดรตจะรวมตัวกันอยู่ในเซลล์ของแบคทีเรียในรูปกรดไขมันระเหยและจะถูกย่อยสลายกลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ที่แล้วควรมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนน้อยกว่า 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Zucconi and Berloldi, 1987) ซึ่งหากวิเคราะห์พบแอมโมเนียไนโตรเจนซัลไฟด์แสดงว่าปุ๋ยอินทรีย์ยังไม่ได้ที่ (Spohn, 1978)

ง. ปริมาณไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ที่แล้วควรมีปริมาณไนเตรทไนโตรเจนมากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Jimenez and Garcia, 1989)

จ. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cationic Exchange Capacity, CEC) เป็นการวัดความสามารถในการดูดซับประจุบวกที่เป็นสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อพืชเช่นแคลเซียมแมกนีเซียม และโปแตสเซียม เป็นต้น โดยปกติสารฮิวมัสจะมีค่า CEC ประมาณ 180-200 มิลลิอิกวาเลนต์ต่อ 100 กรัม โดยค่า CEC ที่ต่ำที่สุดที่แสดงว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ที่แล้วมีค่าเท่ากับ 60 มิลลิอิกวาเลนต์ต่อ 100 กรัม (Epstein, 1997)

2.1.4.2 การประเมินความสำเร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์โดยวิธีทางกายภาพ

ก. สีของวัสดุ ปุ๋ยอินทรีย์ที่สมบูรณ์จะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ

ข. อุณหภูมิของปุ๋ยอินทรีย์ อุณหภูมิในกองปุ๋ยอินทรีย์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2-3 วันแรกของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และรักษาอุณหภูมิอยู่ในระดับ 60-70 องศาเซลเซียสหลายวัน จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มลดลงจนกระทั่งใกล้เคียงกับบรรยากาศและรักษาระดับเช่นนี้ต่อไปการผสมและพลิกกลับกองของปุ๋ยอินทรีย์อีกครั้ง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะทำให้อุณหภูมิสูงอีกครั้งถ้าปุ๋ยอินทรีย์ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ แต่ปุ๋ยอินทรีย์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้วอุณหภูมิในกองปุ๋ยอินทรีย์จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อพลิกกลับกอง (Jimenez and Garcia, 1989)

ค. กลิ่น (Odor) กลิ่นของขยะเกิดจากกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ เช่นกรดบิวทริกและกรดอะซิติก เป็นต้น เมื่อกรดถูกออกซิไดซ์ในระหว่างการหมักกลิ่นจะค่อยๆ ลดลงในระหว่างการหมักและเกิดกลิ่นอีกครั้งเมื่อพลิกกลับกองและผสมปุ๋ย เมื่อการหมักเสร็จสมบูรณ์กลิ่นเหม็นจะหายไปและไม่มีกลิ่นเหม็นอีกเมื่อพลิกกลับกอง (Haug, 1980) โดยทั่วไปปุ๋ยอินทรีย์ที่เสร็จสมบูรณ์จะมีกลิ่นคล้ายดินตามธรรมชาติ

ง. ลักษณะของเศษวัสดุ ความอ่อนนุ่มของวัสดุห่มก เมื่อใช้น้ำปุ๋ยเศษพืชจะอ่อนนุ่มยุ่ยขาดออกจากกันได้โดยง่ายไม่แข็งกระด้างหรือเป็นก้อนเหมือนช่วงเริ่มต้นการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

2.1.4.3 การประเมินความสำเร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์โดยวิธีทางชีวภาพ

ก. การทดสอบการงอกของเมล็ด (Seed Germination Test) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ยังห่มกไม่ได้ที่จะมีการสะสมของสารประกอบที่เป็นพิษต่อพืชเช่น โลหะหนัก สารประกอบฟีนอลเอทิลีนแอม โมเนีย เกลือ และกรดอินทรีย์ เป็นต้น สารเหล่านี้มีผลต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของพืชทำให้ผลผลิตของพืชลดลง การทดสอบการงอกของเมล็ดเป็นวิธีที่ง่ายสะดวก และรวดเร็วในการตรวจสอบการเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์โดยนำเอาเมล็ดมาเพาะจากนั้นนับจำนวนเมล็ดที่เจริญเติบโตและวัดความยาวของรากที่งอก ค่าที่ได้นำมาคำนวณหาดัชนีการงอก (Germination Index, GI) ถ้าได้ค่า GI เท่ากับร้อยละ 80 แสดงว่าปุ๋ยอินทรีย์นั้นปลอดภัยสำหรับประกอบที่เป็นพืชต่อพืช (ตารางที่ 2.1 รายละเอียดกำหนดลักษณะสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์) (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ข. เชื้อโรคในปุ๋ยอินทรีย์ ในการนำปุ๋ยอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์นั้น ต้องคำนึงถึงความเสี่ยงในการแพร่กระจายของเชื้อโรคในปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ เช่น ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ท้องร่วง และโรคพยาธิ เป็นต้น แม้ว่าในกระบวนการผลิตอุณหภูมิกองปุ๋ยอินทรีย์จะสูงเพียงพอที่จะฆ่าเชื้อโรค แต่อาจมีเชื้อโรคบางส่วนสามารถมีชีวิตอยู่ได้เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิในกองปุ๋ยอินทรีย์โดยเฉพาะที่ผิวหน้าของกองปุ๋ยอินทรีย์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในกองปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคลดลง นอกจากนี้โรคบางชนิดเช่น สปอร์ของแบคทีเรีย ซีสต์ (Cysts) และไข่พยาธิ สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้และเจริญเติบโตได้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเหมาะสม (Polprasert, 1989)

2.1.5 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทย

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการหมักอินทรีย์วัตถุที่มีปริมาณธาตุอาหารหลักไม่สมบูรณ์ครบถ้วนที่จะเป็นปุ๋ยให้กับต้นไม้ได้ร้อยละ 90 แต่ประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์ในด้านอื่นมีมากมายเช่น ปุ๋ยอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของฮิวมัสช่วยปรับปรุงสภาพของดินให้ดีขึ้น ช่วยอุ้มน้ำได้มากช่วยป้องกันความแห้งแล้ง ป้องกันการสึกกร่อนของหน้าดิน ช่วยกักเก็บธาตุต่างๆ ในดิน เช่น โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม เหล็ก และทองแดง ช่วยทำให้สารพิษในดินเป็นกลาง ช่วยให้ต้นไม้ดูดซึมวิตามินและออกซิเจนดีขึ้น

ปุ๋ยอินทรีย์เสร็จแล้วจะต้องมีค่าของแร่ธาตุต่างๆ เป็นไปตามมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ ถ้าปุ๋ยอินทรีย์ไม่ได้มาตรฐานนี้อาจจะเป็นพิษต่อต้นไม้และสิ่งแวดล้อมได้ สำหรับมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทยเป็นไปตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ดังนี้

ตาราง 2.1 รายละเอียดกำหนดลักษณะสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

ลำดับ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1.	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5×12.5 มิลลิเมตร
2.	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
3.	ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
4.	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคมและโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5.	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก
6.	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.5-8.5
7.	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1
8.	ค่าการนำไฟฟ้า (EC: Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 10 เดซิซิเมนต่อเมตร
9.	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	- ไนโตรเจน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก - ฟอสฟอรัส ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก - โพแทสเซียม ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
10.	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่าร้อยละ 80
11.	สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว ปรอท เกลือ	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกินร้อยละ 1

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548

2.1.6 ประโยชน์ของการนำปุ๋ยอินทรีย์ไปใช้งาน

ปุ๋ยอินทรีย์ที่สลายตัวได้ที่คิดแล้ว เป็นวัสดุที่ค่อนข้างทนทานต่อการย่อยสลายพอสมควร ดังนั้นเมื่อใส่ลงไปในดิน ปุ๋ยอินทรีย์จึงสลายตัวได้ช้า ไม่รวดเร็ว เหมือนกับการไถกลบเศษพืชโดยตรง ซึ่งก็นับว่าเป็นลักษณะที่คืออย่างหนึ่งของปุ๋ยอินทรีย์เพราะทำให้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถปรับปรุงดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้เป็นระยะเวลานานๆ ปุ๋ยอินทรีย์บางส่วนจะคงทนอยู่ในดินได้นานเป็นปี แต่ก็มีส่วนที่ ถูกย่อยสลายไปในการย่อยสลายนี้จะมีแร่ธาตุอาหารพืชถูกปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยอินทรีย์ให้พืชได้ใช้อยู่เรื่อยๆ แม้ว่าจะเป็นปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ก็ถูกปลดปล่อย ออกมาตลอดเวลาและสม่ำเสมอ

คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ อาจแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ

ก. ช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ปุ๋ยอินทรีย์เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงสภาพ หรือลักษณะของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ถ้าดินนั้นเป็นดินเนื้อละเอียดอัดตัวกันแน่น เช่น ดินเหนียว ปุ๋ยอินทรีย์ก็จะช่วยทำให้ดินนั้นมีสภาพร่วนซุยมากขึ้น ไม่อัดตัวกันแน่นทึบ ทำให้ดินมีสภาพการระบายน้ำ ระบายอากาศดีขึ้น ทั้งยังช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำ หรือดูดซับน้ำที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ได้มากขึ้น คุณสมบัติในข้อนี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากของปุ๋ยอินทรีย์ เพราะที่ดินที่มีลักษณะร่วนซุย ระบายน้ำ ระบายอากาศได้ดีนั้น จะทำให้รากพืชเจริญเติบโตได้รวดเร็ว แข็งแรง แดกแขนงได้มาก มีระบบรากที่สมบูรณ์ จึงดูดซับแร่ธาตุอาหารหรือน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนในกรณีที่ดินเป็นดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทราย ดินร่วนปนทราย ซึ่งส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีอินทรีย์วัตถุอยู่น้อย ไม่อุ้มน้ำ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ก็จะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และทำให้ดินเหล่านั้นสามารถอุ้มน้ำ หรือดูดซับความชื้นไว้ให้พืชได้มากขึ้น ในดินเนื้อหยาบจึงควรต้องใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้มากกว่าปกติ

นอกจากคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว ปุ๋ยอินทรีย์ยังสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะดินในแง่อื่นๆ อีก เช่น ช่วยลดการจับตัวเป็นแผ่นแข็งของหน้าดิน ทำให้การงอกของเมล็ด หรือการซึมของน้ำลงไปดินสะดวกขึ้น ช่วยลดการไหลบ่าของน้ำเวลาฝนตก เป็นการลดการพัดพาหน้าดินที่อุดมสมบูรณ์ไป เป็นต้น

ข. ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ในแง่ของการช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งแร่ธาตุอาหารที่จะปลดปล่อยธาตุอาหาร ออกมาให้แก่ต้นพืชอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ โดยทั่วไปแล้ว ปุ๋ยอินทรีย์จะมีปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชที่สำคัญดังนี้ คือ ธาตุไนโตรเจนทั้งหมดประมาณร้อยละ 0.4-2.5 ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ประมาณร้อยละ 0.2-2.5

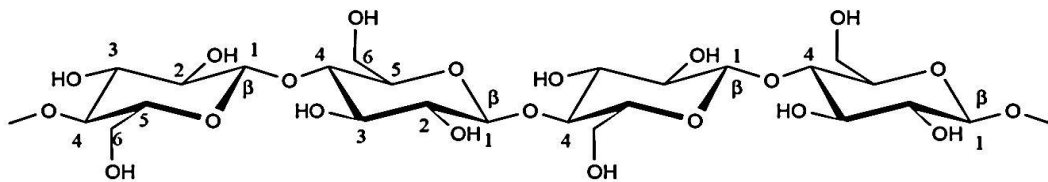
และโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 0.5-1.8 ปริมาณแร่ธาตุอาหารดังกล่าวจะมีมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับชนิดของเศษพืชที่นำมาอินทรีย์และวัสดุอื่นๆ ที่ใส่ลงไปในกองปุ๋ย

ถึงแม้ปุ๋ยอินทรีย์จะมีแร่ธาตุอาหารหลักดังกล่าวอยู่น้อยกว่าปุ๋ยเคมี แต่ปุ๋ยอินทรีย์มีข้อดีกว่าตรงที่นอกจากธาตุอาหารทั้ง 3 ธาตุที่กล่าวมาแล้ว ปุ๋ยอินทรีย์ยังมีธาตุอาหารพืชชนิดอื่นๆ อีกเช่น แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก สังกะสี แมงกานีส โบรอน ทองแดง โมลิบดีนัม ฯลฯ ซึ่งปกติแล้วปุ๋ยเคมีจะไม่มี หรือมีเพียงบางธาตุเท่านั้น แร่ธาตุเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่น้อยกว่าธาตุอาหารหลัก เพียงแต่ต้นพืชต้องการในปริมาณน้อยเท่านั้นเอง

นอกจากจะช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชแล้ว ปุ๋ยอินทรีย์ยังมีคุณค่าในแง่ของการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์อีกหลายๆ อย่าง เช่น ช่วยทำให้แร่ธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดินแปรสภาพมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ง่ายขึ้น ช่วยดูดซับแร่ธาตุอาหารพืชเอาไว้ไม่ให้ถูกน้ำฝนหรือน้ำชลประทานชะล้าง สูญหายไปได้ง่าย เป็นการช่วยถนอมรักษาแร่ธาตุอาหารหรือความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้อีกทางหนึ่งเป็นต้น จากคุณสมบัติ ดังที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า แม้ว่าปุ๋ยอินทรีย์จะมีปริมาณแร่ธาตุอาหารในปุ๋ยไม่เข้มข้นเหมือนปุ๋ยเคมี แต่ก็มีลักษณะอื่นๆ ที่ช่วยรักษาและปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้เป็นอย่างดี

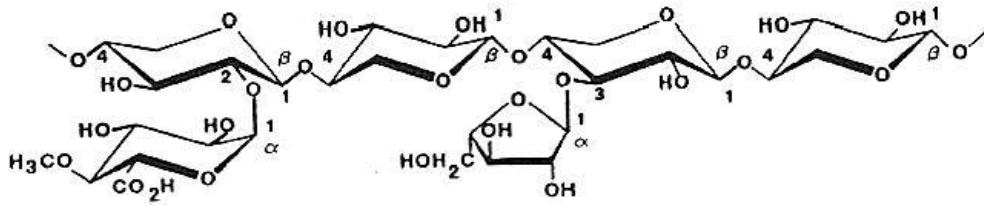
2.1.7 องค์ประกอบทางเคมีของไม้

เศษการตัดแต่งต้นไม้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นลิกนินที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อของต้นไม้ (Renata et al., 2008) โดยทั่วไปแล้วกิ่งไม้จะมีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลสประมาณร้อยละ 40-45 (รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส) เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 25-35 (รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส) และลิกนินร้อยละ 15-30 (รูปที่ 2.8 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน) อีกร้อยละ 10 เป็นองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งโครงสร้างส่วนใหญ่ของลิกนินจะเป็นโครงสร้างอะโรมาติก (Aromatic Structure) ที่ประกอบด้วยหมู่เมทอกซี (Methoxy Group) ไฮดรอกซี (Hydroxyl Group) และฟีนอลิก (Phenolic Group) ส่งผลให้ลิกนินทนต่อการย่อยสลายได้ค่อนข้างสูง



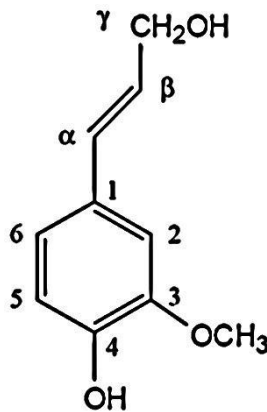
รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

ที่มา : Laine, 2005



รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : Laine, 2005



รูปที่ 2.8 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน

ที่มา : Laine, 2005

2.1.7.1 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำและมีปริมาณการเกิดเป็นพอลิเมอร์ (Degree Of Polymerization, DP) ประมาณ 200 โดยมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในเฮมิเซลลูโลสหลายชนิด กล่าวคือ มีไซโลสมากที่สุดถึง ร้อยละ 85-90 และส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 และ 6 อะตอม กรดแมนนูโรมิก (Mannuronic Acid) และกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic Acid) เป็นองค์ประกอบ เฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยกรดหรือเบสเจือจางหรือเอนไซม์ เพราะเฮมิเซลลูโลสไม่มี

รูปร่างแน่นอน ไม่เป็นเส้นตรง และมีลำดับของหน่วยย่อยน้ำตาลที่เรียงตัวแบบสลับ จึงทำให้พันธะที่เชื่อมระหว่างไซโลสถูกทำลายด้วยกรดหรือเอนไซม์ได้ง่าย

ก. โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

พืชประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำหนักแห้ง โดยอยู่รวมกันเซลลูโลสและลิกนิน ทำให้เกิดเป็นผนังเซลล์ที่แข็งแรง เฮมิเซลลูโลสมีทั้งโครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรงและโซ่กิ่งของน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ได้แก่ ไซโลส อะราบินโนส และน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ได้แก่ กลูโคส แมนโนส และกาแลคโตส องค์ประกอบส่วนใหญ่ในเฮมิเซลลูโลสเป็นไซโลสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบตา และพบในไม้เนื้อแข็งมากกว่าไม้เนื้ออ่อน ทั้งนี้ไม่ค่อยพบเฮมิเซลลูโลสที่มีไซโลสเพียงชนิดเดียวในธรรมชาติ จึงมักพบอยู่รวมกันกับน้ำตาลชนิดอื่นๆ และมีส่วนของลิกนินจับตัวกันอยู่อย่างหนาแน่นด้วยพันธะโควาเลนต์โดยทั่วไปเฮมิเซลลูโลสจะมีความเป็นกรด เนื่องจากหมู่ 4-เมทิล-แอลฟา-ดี-กลูโคส จับอยู่กับออกซิเจนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งการมีหมู่แทนที่ในตำแหน่งที่ 2 และ 3 ส่งผลให้สามารถสกัดเฮมิเซลลูโลสออกได้ง่ายด้วยสารละลายเบส แต่ขั้นตอนของการสกัดเฮมิเซลลูโลสออกนั้นอาจต้องมีการกำจัดลิกนินร่วมด้วย

ข. สมบัติของเฮมิเซลลูโลส

ส่วนใหญ่จะพบเฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ชั้นนอกสุด และพบส่วนน้อยในผนังเซลล์ชั้นที่ 2 โดยจะถูกย่อยสลายและสกัดออกจากผนังเซลล์พืชได้ในภาวะที่ไม่รุนแรง เนื่องจากโครงสร้างมีโซ่กิ่งเป็นจำนวนมากคล้ายโครงสร้างของเพกติน โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะชอบน้ำ ทำให้เกิดการรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นเจลได้ ขณะที่เมื่อองค์ประกอบของผนังเซลล์จะไม่สามารถสกัดออกได้ด้วยน้ำ แต่สามารถละลายได้ในเบส

2.1.7.2 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์สายยาวและมีมวลโมเลกุลสูงประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเบตา ประมาณ 10,000 หน่วย พบทั่วไปในธรรมชาติ โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืชและมีการเย็นตัวอยู่ในรูปของผลึก เป็นคาร์โบไฮเดรต ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (ประเภท Homopolysaccharide ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิดเบต้า-1, 4(b-1,4) เป็นสายยาวมากกว่า 2,000 โมเลกุล โดยอยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส และเพกตินเซลลูโลส เป็นใยอาหาร ที่ไม่ละลายน้ำไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของ ของมนุษย์ และสัตว์กระเพาะเดี่ยว

ก. โครงสร้างของเซลลูโลส

เซลลูโลสมีโครงสร้างเส้นใยเล็กๆ ที่เรียกว่าไฟบริล (Fibril) ซึ่งมีลักษณะเป็นมัดยาวรวมกันอยู่อย่างแข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล การจัดเรียงตัวของโมเลกุลไฟบริลทำให้

เซลลูโลสมีโครงสร้างหลายรูปแบบ โครงสร้างทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลสเกิดจากไฟบริลหรือโปรโตไฟบริลที่มีการเรียงตัวขนานและจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง ซึ่งเมื่อตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นแผ่นบางๆ และเมื่อตัดขวางแล้วบางๆ เหล่านี้ จะพบที่เป็น โครงสร้างผลึกที่มีการจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเรียงตัวขนานกันไป โดยบางส่วนอาจเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งบริเวณนี้ทำให้เซลลูโลสสลายตัวและแยกออกจากกันได้โดยการเข้าทำปฏิกิริยาของของเหลว เช่น กรดแก่ นอกจากนี้ยังอาจเกิดเป็นรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงได้โดยแรงกล อาจเกิดความไม่ เป็นระเบียบและขีดจำกัดของความยืดหยุ่นของไมโครไฟบริล

ข. สมบัติของเซลลูโลส

สมบัติของเซลลูโลสมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับน้ำ โดยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบเปลี่ยนแปลงไป เซลลูโลสที่มีลักษณะแห้งจะดูดความชื้น ทำให้เซลลูโลสสามารถพองตัวหรือหดตัวได้แต่ในภาวะ เช่น เมื่อเซลลูโลสอยู่ในตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ว เช่น เบนซิน เซลลูโลสจะไม่เกิดการพองตัวเหมือนอยู่ในตัวทำละลายที่มีขี้ว เช่น น้ำ ความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 9-21 ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ โดยการดูดน้ำหรือความชื้นจะเกิดจากท่อขนาดเล็กจำนวนมากที่อยู่ตามพื้นที่ผิวสัมผัสของเซลลูโลสและพื้นที่ทั้งหมดของวัสดุ โดยทั่วไปเซลลูโลสสามารถพองตัวได้ประมาณ 100 เท่าของวัสดุแห้ง ซึ่งการพองตัวได้จะทำให้ตัวทำละลายต่างๆ เข้าทำลายโครงสร้างได้ง่ายขึ้น

2.1.7.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่พบในผนังเซลล์พืชที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างร่วมกับเซลลูโลสและพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นๆ ลิกนินประกอบด้วยโมเลกุลที่เป็นวงแหวนที่ต่อกันแบบส้อมเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โดยภายในโครงสร้างจะเชื่อมกันด้วยพันธะอีเธอร์หรือคาร์บอนระหว่าง 2 โมเลกุลทำให้ลิกนินทนทานต่อการย่อยสลายด้วยสารเคมีและเอนไซม์มากกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงต้องอาศัยสารเคมีในการแยกลิกนินออกจากพอลิแซ็กคาไรด์

ก. โครงสร้างของลิกนิน

ลิกนินมีโครงสร้างที่เกิดจากหน่วยที่เหมือนกันซ้ำๆ ประกอบเป็น โมเลกุลขนาดใหญ่มีการเชื่อมต่อกันของหน่วยย่อยคือ ฟีนิล โพรพานอยด์ (Phenyl Propanoid) ที่มีหมู่เมธิลอยู่บน โมเลกุล ลิกนินจากไม้เนื้ออ่อน หญ้า และไม้เนื้อแข็งมีองค์ประกอบของหมู่แทนที่พวกเมทอกซี (Methoxy) และการเกิดพันธะระหว่างหมู่ฟีนิลที่แตกต่างกัน

ข. สมบัติของลิกนิน

ลิกนินมีสมบัติที่สำคัญคือ การละลายในตัวทำละลาย โดยปกติลิกนินจะไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ว ดังนั้นจึงสามารถสกัดลิกนินได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขี้วสูงขณะที่บางส่วนในกลุ่มของอัลคาไลน์ลิกนิน (Alkaline Lignin) สามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกไดออกเซน

(Dioxane) ไพริดีน (Pyridine) และสารละลายเบสเจือจาง นอกจากนี้ เมื่อมีการเติมหมู่เมทิล (Methylation) และหมู่อะซีทิล (Acetylation) แทนที่ตำแหน่งต่างๆ บนวงแหวนเบนซีนในโครงสร้างของลิกนิน ทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 280 นาโนเมตร ทั้งนี้การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ก็เป็นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้แก่โครงสร้างของลิกนินทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงได้ด้วยวิธีการที่ ลิกนินอยู่ร่วมกับเซลล์โลสในเนื้อไม้ทำให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรงได้ตามธรรมชาติ รวมทั้งยังทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์ไม่สามารถทำลายโครงสร้างพืชได้ง่าย โดยโครงสร้างที่ลิกนินอยู่ร่วมกับเซลล์โลสจะมีพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างลิกนินและเฮมิเซลล์โลสดังนั้นเพื่อให้การใช้ประโยชน์จากวัสดุกลุ่มลิกโนเซลล์โลสมีมากขึ้น จึงต้องใช้การปรับสภาพวัสดุเหล่านี้ก่อน และป้องกันผลเสียที่เกิดจากลิกนิน รวมทั้งให้เซลล์โลสและเฮมิเซลล์โลสอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการให้ประโยชน์ต่อไป

2.1.8 ผลของจุลินทรีย์ที่มีต่อลิกนิน

เนื่องจากลิกนินเป็น Biopolymer ที่แตกต่างไปจาก Biopolymer ชนิดอื่นๆ เช่น โปรตีน (Protein) โพลีแซคคาไรด์ นิวคลีอิก แอซิด (Nucleic Acid) ทั้งโครงสร้างและการเติมเกิด Biopolymer อื่นๆ จะประกอบด้วย Repeating Unit ของ Monomer เชื่อมต่อกันด้วย Bond ชนิดเดียวกัน แต่ลิกนินนั้นเชื่อมต่อกันด้วย Bond ต่างๆ กันมากกว่า 10 ชนิด ดังนั้นถ้าพิจารณาตามโครงสร้างแล้ว วิถีทางซึ่งลิกนินจะถูกย่อยสลายจำเป็นต้องแตกต่างจาก Biopolymer อื่นๆ

จากการศึกษาพบว่าจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถย่อยสลายลิกนินได้ ได้แก่ รา (Fungi) และแบคทีเรีย (Bacteria)

ก. รา (Fungi)

ราเป็นพืชอยู่ใน Subkingdom Thallophyta รมีลักษณะที่แตกต่างจากพืชชนิดอื่นคือไม่มีคลอโรฟิลล์ จึงไม่สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์ได้ การดำรงชีวิตส่วนใหญ่เป็นแบบอิสระในดินหรือน้ำ และอาศัยอาหารจากสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นการดำรงชีวิตแบบ Saprophyte เพียงส่วนน้อยมีการดำรงชีวิตแบบ Parasite บนพืชหรือสัตว์อื่น

รามีทั้งที่เป็นเซลล์เดียว หลายเซลล์ และซิงไนซีติก (Coenocytic) คือลักษณะที่มี Nucleus หลายอันกระจัดกระจายใน Protoplasm โดยไม่มีผนัง (Septum) กั้นออกเป็นเซลล์ พวกที่มีหลายเซลล์และพวกซิงไนซีติกมีลักษณะเป็นสาย สำหรับเส้นสายของราเรียกว่า Hypha กลุ่มของไฮฟามีลักษณะเป็นปุยขาวมองเห็นด้วยตาเปล่าเรียกว่า Mycelium มีการสืบพันธุ์ทั้งแบบอาศัยเพศ และไม่อาศัยเพศ

ราที่สามารถย่อยลิกนินได้เป็นราใน Class Basidiomycetes และเฉพาะใน 5 Families เท่านั้น ได้แก่ Agaricaceae, Corticiaceae, Hydnaceae, Polyporaceae และ Thelephoraceae และบางส่วนเป็นราใน Class Ascomycetes

Class Basidiomycetes (Club Fungi) ราวใน Class นี้มีเส้นใยที่มีผนังกันและเส้นใยที่แตกกิ่งก้านสาขาได้ ผนังกันมีรูตรงกลาง เซลล์มักมี Nucleus 2 อัน ลักษณะเส้นใยมีโครงสร้างที่เรียกว่า Clamp Connection เชื่อมระหว่างเซลล์ มีการสืบพันธุ์ทั้ง 2 แบบ ในช่วงที่มีการสืบพันธุ์ด้วยการสร้างสปอร์ สปอร์จะถูกสร้างขึ้นบนโครงสร้างที่คล้ายกระบอง (Club Shape) เรียกว่า Basidium สปอร์ที่ถูกสร้างขึ้นเรียกว่า Basidiospore

Class Ascomycetes (Sac Fungi) ราวใน Class นี้มีเส้นใยที่มีผนังกัน ในช่วงที่มีการสืบพันธุ์ด้วยการสร้างสปอร์ สปอร์จะถูกสร้างขึ้นในโครงสร้างที่คล้ายถุงเรียกว่า Ascus Spore ที่ถูกสร้างเรียกว่า Ascospore

ยังมีอีกพวกที่สามารถย่อยสลายลิกนินได้เป็นพวกได้เป็นพวก Fungi Imperfect มีลักษณะคล้ายราวใน 2 Class ดังกล่าว แต่ไม่สามารถสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศได้ หรือในระยะที่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเกิดขึ้นแต่ไม่สามารถพบได้

ข. แบคทีเรีย (Bacteria)

เป็นพืชใน Subkingdom เดียวกับรา ลักษณะสำคัญของแบคทีเรียคือมี Cell Wall ที่แข็งแรงมาก มีรูปร่างแตกต่างกันออกไปหลายชนิด เช่น กลม ท่อน เกลียว บางชนิดมีคลอโรฟิลล์สังเคราะห์อาหารเองได้ บางชนิดดำรงชีวิตแบบ Parasite บางชนิดก็ดำรงชีวิตแบบ Saprophyte อาศัยอาหารจากซากพืชซากสัตว์ การสืบพันธุ์มีทั้งแบบอาศัยเพศและแบบไม่อาศัยเพศ

จากการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายของลิกนินจนถึงปัจจุบัน แสดงให้เห็นว่า White Rot Fungi และ Litter Decomposing Fungi สามารถย่อยสลายลิกนินได้สมบูรณ์

2.1.9 การย่อยสลายของลิกนินโดยจุลินทรีย์ (Litter Decomposing Fungi)

Kirk (1975) ได้ศึกษาพบว่า Saprophytic Basidiomycetes หลายชนิดเช่น *Clayaria Spp.*, *Collybia Spp.*, *Marasmius Spp.*, *Mycana Spp.* พบว่าสามารถย่อยสลายใบไม้ กิ่งไม้ ที่ร่วงหล่นอยู่ตามป่าได้ ผล โดยเฉพาะของจุลินทรีย์ดังกล่าวที่มีต่อลิกนินยังไม่ได้ศึกษาโดยละเอียด อย่างไรก็ตามเรื่องนี้ในทาง Taxonomy ใกล้เคียงกับพวก White Rot Fungi ดังนั้นแบบของการย่อยสลายลิกนิน อาจจะคล้ายกับ White Rot Fungi

ก. White Rot Fungi

Kirk, 1975 ได้ศึกษาพบว่า Spruos Wood Lignin หลังจากถูกย่อยสลายโดย *Polyporus ancepe* ปรากฏว่าน้ำหนักลิกนินหายไปถึงร้อยละ 45 และถึงร้อยละ 50 โดย *Coriolus veraicolour* (เปรียบเทียบกับ Sound Lignin) จากการศึกษการย่อยสลายของลิกนินโดย White Rot Fungi พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั่วไปบางอย่างของลิกนิน

จากการศึกษาของ Kirk (1975) เกี่ยวกับการย่อยสลายของลิกนินใน Spruce Wood โดย *Polyporous Anoepe* พบว่า

- Methoxy Content ลดลงประมาณร้อยละ 25
- Aromatic Ring ลดลงประมาณร้อยละ 30-50
- Aliphatic Hydroxyl Content ลดลงโดยเปลี่ยนไปเป็น α -Carboxyl Group
- Aromatic Hydroxyl Content ลดลง

Methoxyl Group ลดลงโดยเกิด Demethylation พวกรวม Phenolic Units ในส่วนต่างๆของ Polymer จะเปลี่ยนไปเป็น Diphenolic Units โดยขบวนการ Demethylation ดังกล่าว และบางทีก็เกิด Aromatic Hydroxylation หรือบางทีก็เกิด Aryl-Ether Cleavage

จากขบวนการนี้ Aromatic Hydroxyl น่าจะเพิ่มขึ้นแต่ขบวนการดังกล่าวเกิดเร็วมาก และ Diphenolic Unit จะแตกออกไปเป็นส่วนของ Aliphatic Carboxyl Groups โดยการถูก Hydrolyse และ Oxidise พร้อมกันซึ่งทำให้ Aromatic ลดลง ในขบวนการทั้งหมดนี้จะมี Low M.W. Aliphatic, Low M.W. Aromatic Product เกิดขึ้นบาง ซึ่งจะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปในเซลล์ของเรา ในขณะที่ Aromatic Ring ถูก Oxidize, Side Chain ก็ถูก Oxidize เป็น Aromatic Carboxy (O_6-O_1) Residues และ Side Chain บางส่วนถูก Oxidize ใน α -Carboxy จาก Hydroxy Group เป็น Keto Group

ข. Brown Rot Fungi

Kirk, 1975 ได้ทำการศึกษาการย่อยสลายลิกนินใน Spruce Wood โดย *Lenzites Trabea* พบว่า น้ำหนักของลิกนินหายไปประมาณ ร้อยละ 70 (เปรียบเทียบกับ Sound Lignin)

จากการศึกษาต่อมาพบว่า Methoxy Content ลดลงประมาณร้อยละ 35 Aromatic Unit ลดลงประมาณร้อยละ 15 ส่วน Carbonyl Content, Carboxyl Content รวมทั้ง Aromatic Hydroxyl Content เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลของ White Rot Fungi กับ Brown Rot Fungi แล้วจะเห็นได้ว่า Brown Rot Fungi ทำให้ Methoxyl Content เพิ่มขึ้นมากด้วย สำหรับ White Rot Fungi ทำให้ Carboxyl Content เพิ่มขึ้นมากกว่าและในขณะเดียวกัน Aromatic Hydroxyl Content ก็ลดลงเนื่องจาก ถูก Oxidize ต่อไป

Kirk, 1975 ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ Demethylation ของ Sweetgum Lignin โดย *Lenzites Trabes* พบว่า Aromatic Unit ซึ่งมี 2 Methoxyl Groups จะถูก Demethylate ได้ง่ายกว่า Aromatic Unit ซึ่งมี Methoxyl Groups เพียง Group เดียว และ Phenolic Unit จะถูก Demethylate ได้ดีกว่า Nonphenolic Unit

ค. Soft Rot Fungi

ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นมากๆ ราพวก Ascomycetes และ Fungi Imperfecti หลายชนิดสามารถย่อยสลายเนื้อไม้ได้ พวกนี้เป็นราในหลาย Genera รวมทั้ง Chaetomium, Xylaria, Alternaris, Caphalosporium, Cytospora, Pestalozzia, Phialophora, Pullularia และ Sporocyce

ง. แบคทีเรีย

แบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายลิกนินได้มีหลาย Genera เช่น Flavobacterium, Micrococous, Mycobacterium และ Xanthomonas

ในการย่อยสลายของลิกนิน โดยพวกจุลินทรีย์ซึ่งต่าง ๆ จะมีสารตัวกลาง (Intermediate Products) เกิดขึ้นมากมายซึ่งอาจแบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ๆ

1. Phenylpropanoid Intermediate หมายถึงสารตัวกลางที่มีสูตรโมเลกุลเป็น C₆-C₃ Unit เช่น Coniferaldehyde (หรือ Ferulaldehyde), Ferulis Acid, P-Hydroxyoinnamic Acid, P-Hydroxyoinnamaldehyde, Guaiacylglycerol, 3-Methoxy-4-Hydroxyphenylpyruvic Acid

2. Benzyl Derivatives Intermediate หมายถึงสารตัวกลางที่มีสูตรโมเลกุลเป็น C₆-C₁ Unit ได้แก่ Vanillic Acid, Syring Acid, และ Syringaldehyde

2.1.10 การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิส หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีชนิดหนึ่งที่โมเลกุลของน้ำเข้าไปแทนที่โมเลกุลของสารที่มีอยู่แล้ว ทำให้แตกพันธะออก หรือการแยกสลายด้วยน้ำ (สันต์ เตชะกัมพูช, 2548)

การไฮโดรไลซิสเซลลูโลสเซลลูโลสสำหรับกระบวนการไฮโดรไลซิสนั้นคือการทำให้โมเลกุลเซลลูโลสแตกตัวออกโดยการใช้ น้ำ ดังสมการที่ 3



ปฏิกิริยานี้จะถูกร่งด้วยกรดเจือจาง, กรดเข้มข้นหรือจะเป็นเอนไซม์ (เซลลูเลส) ก็ได้ซึ่งการใช้เอนไซม์จะมีข้อได้เปรียบมากกว่าเมื่อใช้สภาวะปานกลาง (pH = 4.8 และอุณหภูมิ 318-323 เคลวิน) จะให้ผลที่มีค่าสูงและค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดหรือเบสขั้นตอนในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะได้น้ำตาลกลูโคสออกมามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาหลายปี โดยส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการใช้เอนไซม์หรือไม่ก็เป็นกรดในการทำปฏิกิริยา จากการทดลองผ่านมา

2.1.11 การทำ Pre-Treatment สำหรับวัสดุลิกโนเซลลูโลส

ก. Mechanical Pretreatment

เป็นการลดขนาดของวัตถุดิบหรือคือการเพิ่มพื้นที่เพื่อให้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ข้างในถูกย่อยสลายได้มากขึ้น โดยการหั่น การสับ การทุบ หรือการบดด้วยลูกบอลลหรือลูกกลิ้งจัดว่าเป็นวิธีการที่ให้ผลสำเร็จเป็นอย่างดีและมีต้นทุนต่ำและยังช่วยลดปริมาณการใช้เอนไซม์ในการช่วยย่อยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสให้เปลี่ยนไปเป็น กลูแคน และไซแลนในขั้นตอนต่อไป

ข. Physical Pretreatment

การเพิ่มอุณหภูมิและการแผ่รังสีเป็นวิธีการทางกายภาพที่ประสบผลสำเร็จมากที่สุดวิธีหนึ่งวิธีการที่เรียกว่า Thermogravimetric Treatment โดยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1100 เคลวิน ภายใต้สภาวะทั้งที่มีก๊าซเฉื่อยและตัวออกซิแดนที่สามารรถทำให้เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินย่อยสลายได้ดี ส่วนวิธีการเผาแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) พวกเปลือกถั่วชนิดต่างๆ ฟางข้าว หรือ พวกขี้เลื่อยที่อุณหภูมิ 600-1200 เคลวิน ให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นพวกถ่าน ของเหลวและก๊าซมากกว่าวิธีธรรมดาทั่วไปร้อยละ 55

สำหรับการแผ่รังสีด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ 700 W ด้วยเวลายานต่างๆ กัน พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักของวัตถุดิบไปบ้างเนื่องจากการสลายตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน แต่ทำให้อัตราการย่อยสลายโดยใช้ต่างร่วมด้วยเพิ่มขึ้นมาก นอกจากนี้การใช้รังสีแกมมาขนาด 500 KGy ทำให้โครงสร้างของฟางข้าวสาลีที่ป่นเป็นผงขนาด 140 mesh แตกตัวให้ผลผลิตน้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 13.40

ค. Physicochemical Pretreatment

การรวมกันระหว่างวิธี Chemical และ Physical Treatment มีส่วนสำคัญในการละลายน้ำของเฮมิเซลลูโลส และ ลิกนินที่ถูกแปลง โครงสร้างแล้วเป็นผลทำให้การแตกตัวของเซลลูโลสในขั้นตอน Hydrolysis เพิ่มขึ้น Physicochemical Pretreatment ร่วมกับ Thermochemical Treatment เช่น วิธี Steam Explosion, Ammonia Fibre Explosion, CO₂ Explosion, SO₂ Explosion อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 160-260 องศาเซลเซียส กระทำภายใต้ความดัน 0.69-4.83 MPa ที่มีไอน้ำอิ่มตัวเป็นเวลาหลายวินาที หรือ 2-3 นาทีก่อนที่จะปรับลดลงมาอยู่ที่ความดันปกติ วิธี Wet Oxidation Pretreatment กระทำ ณ อุณหภูมิระหว่าง 200-210 องศาเซลเซียส และมีการเติม ค่าง หรือ Na₂CO₃ ร่วมด้วยซึ่งจะนำไปสู่การละลายที่ดีขึ้นของสารพวกลิกโนเซลลูโลส และยังทำให้การผลิตผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่า (Value-Added Products) โดยการใช้น้ำร้อนต่างๆ ให้ผลดีขึ้นส่วนวิธี Liquid Hot Water (LHW) Pretreatment โดยการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170-230 องศาเซลเซียส ความดัน 5 MPa นานหลายนาทีจึงปรับคืนสู่

ความดันปกติ วิธีนี้ทำให้เฮมิเซลลูโลสในพวกชานอ้อย เส้นใยข้าวโพด และพวกฟางข้าวต่างๆ แยกตัวเป็น ไชโลส ได้ถึงร้อยละ 45-65

จ. Chemical Pretreatment

สารเคมีตั้งแต่ พวก Oxidizing Agents พวกกรดต่างๆ ไปจนกระทั่งถึงด่าง หรือเกลือสามารถย่อยสลาย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้ และสามารถทำภายใต้ความดันและอุณหภูมิปกติได้ด้วย ตัวอย่าง เช่น

- Alkaline Treatment ; Sodium Hydroxide, Ammonia, Ammonium Sulphite
- Acid Treatment ; Sulphuric Acid, Hydrochloric Acid, Phosphoric Acid
- Gas Treatment ; Chlorine Dioxide, Nitrogen Dioxide, Sulphur Dioxide
- Addition of Oxidizing Agents ; Hydrogen Peroxide, Ozone
- Solvent Extraction of lignin ; Ethanol-Water Extraction, Benzene-Water Extraction, Ethylene Glycol Extraction, Butanol-Water Extraction, Swelling Agents

ฉ. Biological Pretreatment

Biological Pretreatment เป็นการ Pretreatment ที่ต้องพึ่งพาจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่เป็นแบคทีเรีย และเชื้อรา รวมทั้งเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์เหล่านี้ เชื้อราทั้งชนิดที่เป็น White-Rot, Brown-Rot และชนิดที่เป็น Soft-Rot สามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้ โดย Brown-Rot มีบทบาทสำคัญในการย่อยพวกเซลลูโลส ในขณะที่ White-Rot และ Soft-Rot จะเข้าย่อยสลายพวกลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส จากการทดลองเมื่อไม่นานมานี้ เมื่อนำลิกโนเซลลูโลสมาหมักกับเชื้อราเหล่านี้ที่อุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3-22 วันพบว่า ไฮโดรเซลลูโลส และ ลิกนิน ถูกย่อยสลายไปได้มากถึงร้อยละ 45-75 และร้อยละ 65-80 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อราที่ผ่านการ Pretreatment ด้วยวิธีนี้ยังให้ก๊าซชีวภาพได้มากกว่าเมื่อนำไป Post-Treat ต่อด้วยระบบ Anaerobic Digestion เชื้อราและแบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ *Aspergillus terreus*, *Trichoderma spp*, *Cyathus stercoreus*, *Penicillium camemberti*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Streptomyces griseus* ฯลฯ ส่วนเอนไซม์ที่ใช้ย่อยลิกโนเซลลูโลส ตัวอย่างเช่น Cellulases, Glucuronidase, Acetylsterase, Feruloylsterase, Xylanase, β -Xylosidase, Lignin Peroxidase, Manganese Peroxidase และ Laccase เป็นต้น

2.1.12 โรงไฟฟ้าชีวมวล

โรงไฟฟ้าชีวมวลคือ โรงไฟฟ้าที่ใช้เศษวัสดุต่างๆ ที่เป็นชีวมวล เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า หรือผลิตไอน้ำ ซึ่งอาจเป็นวัสดุชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดรวมกัน เช่น โรงน้ำตาลใช้กากอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โรงสีขนาดใหญ่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้า การใช้ก๊าซชีวภาพ (Biomass) จากการหมักน้ำเสีย (ที่ได้มาจากกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม) หรือมูลสัตว์ (จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์) มาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีหลักการทำงานในทำนองเดียวกับ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทั่วไป การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

ก. การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) เป็นแบบที่นิยมมากที่สุด เป็นการนำชีวมวลไปเผาไหม้โดยตรง ความร้อนที่ได้นำไปใช้ในการผลิตไอน้ำในการขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อไปผลิตไฟฟ้าต่อไป ข้อจำกัดของการเผาไหม้โดยตรงคือ โรงไฟฟ้าต้องมีขนาดมากกว่า 5 เมกะวัตต์ขึ้นไป จึงเหมาะสมกับการลงทุนเพราะระบบการผลิตใช้กังหันไอน้ำซึ่งมีราคาแพง อีกทั้งต้องติดตั้งระบบด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น

ข. กระบวนการเคมีความร้อน (Thermal Gasification) เป็นกระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยการเผาไหม้ที่ควบคุมอากาศในปริมาณจำกัด เพื่อผลิตก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน ใช้ในการเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กไม่เกิน 1 เมกะวัตต์

2.1.13 ชีวมวล

หมายถึงสิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตหรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต หรือสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ไม้ยืนต้น พืชที่สวนประกอบเป็นแป้ง และน้ำตาล วัชพืชขบและน้ำ ของเสีย โรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร มูลสัตว์ ตลอดจนขยะที่มีอยู่ทั่วไป สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานเพื่อทดแทนพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานฟอสซิล โดยชีวมวลเป็นพลังงานที่มาจากแหล่งที่ไม่มีวันหมดไปเพราะวงจรการผลิตชีวมวลคือวงจรของพืชที่มีระยะเวลาสั้น ต่างจากน้ำมันหรือถ่านหินที่ต้องอาศัยการทับถมกันเป็นเวลาหลายล้านปี ชีวมวลสามารถผลิตได้ในประเทศ เกษตรกรจะมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการจำหน่ายชีวมวลสู่ผู้ให้และยังช่วยลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้อีกด้วย ข้อดีที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมคือการใช้ชีวมวลในการผลิตความร้อนหรือไฟฟ้าจะไม่เพิ่มปริมาณสุทธิของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของโลก ในกรณีที่มีการผลิตชีวมวลขึ้นมาทดแทนชีวมวลที่ได้ใช้ไปจะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกหมุนเวียนมาใช้ในการเจริญเติบโตเท่ากับปริมาณก๊าซที่ถูกผลิตจากการเผาไหม้ชีวมวลนั้นๆ อีกทั้ง ชีวมวลยังมีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลมาก ซึ่งมีที่มาจากแหล่งต่างๆ ดังนี้

- ผลผลิตจากป่า สวน ไร่ นา ต้นไม้ และวัชพืชต่างๆ บนบกและในน้ำ เช่น ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ไม้โตเร็ว ใบไม้กิ่งไม้ และหญ้า เป็นต้น

- พืชเศรษฐกิจ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด แกลบ ฟาง และทะลายนาล์ม เป็นต้น

- เศษวัสดุและของเสียจากการประกอบจากการภาคอุตสาหกรรม เช่น ขี้เถ้า กลิเซอร์ลิน กากอาหาร รวมไปถึงของเสียจากโรงงานแปรรูป ของเสียประเภทพลาสติกและกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

- ของเสียจากแหล่งชุมชน เช่น ขยะชุมชน และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

- ผลิตภัณฑ์และของเสียจากสัตว์ เช่น ไขมัน และมูลสัตว์ เป็นต้น

2.1.13.1 องค์ประกอบของชีวมวลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

ก. ความชื้น หมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล ซึ่งส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูงเพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลมาผลิตพลังงาน โดยการเผาไหม้จึงไม่ควรมีความชื้นเกินร้อยละ 50

ข. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ระเหยลุกเผาไหม้ได้ง่าย (Volatiles Matter) และส่วนที่เผาไหม้ยาก (Fixed Carbon Volatiles Matter) ดังนั้นชีวมวลที่มีค่าการระเหยสูงจึงติดไฟได้ง่าย

ค. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือเถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีเถ้าอยู่ร้อยละ 1-3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมีสัดส่วนเถ้าร้อยละ 10-20 ซึ่งส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้นี้อาจก่อให้เกิดปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

2.1.13.2 เถ้า แบ่งประเภทได้ดังนี้

ก. เถ้าหนัก คือเถ้าที่ได้หลังจากการเผาซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ออกไปได้ ที่บริเวณนั้นจะหลอมอนุภาคที่เหลือจากการเผาไหม้ให้เป็นเม็ดหรือก้อนที่โตขึ้น ทำให้น้ำหนักมากและตกลงสู่ก้นเตา และถูกลำเลียงออกจากเตาโดยสายพานเล็ก

ข. เถ้าลอย คือเถ้าที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร จนถึง 200 ไมโครเมตร ซึ่งจะลอยตัวปะปนพร้อมกับไอน้ำ และถูกดักจับโดยใช้เครื่องดักจับแบบไฟฟ้าสถิต เพื่อไม่ให้ปนกับอากาศร้อน ต่อจากนั้นจะถูกรวบรวมไว้ในที่เก็บเถ้า อนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้จึงถูกเรียกว่า เถ้าลอย ซึ่งเถ้าลอยที่ใช้ในการทดลองเป็นเถ้ามาจากบริษัท สหโคเจน กรีน จำกัด ต.ป่าสัก อ.เมือง จ.ลำพูน มีองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลเดือนตุลาคม-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2555

ชนิดของสารประกอบ (ร้อยละ)	เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล
Al ₂ O ₃	2.328-2.577
เหล็กรวมในรูปของ Fe ₂ O ₃	1.027-1.128
K ₂ O	2.882-3.092
MgO	1.945-2.198
MnO	0.115-0.120
Na ₂ O	0.422-0.573
P ₂ O ₅	4.110-2.769
SiO ₂	57.485-58.477
TiO ₂	0.136-0.168
CaO	14.440-14.445
Loss on Ignition (LOI)	14.78-15.08

ที่มา : จุฑาลักษณ์และ ณัฐญา, 2556

2.2 สรุปสาระสำคัญของเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Kuba et al. (2007) ได้ทำการทดลองเติมเถ้าจากไม้ไปในการหมักขยะอินทรีย์ โดยทำการทดลองหมักขยะอินทรีย์กับใบไม้ในรูปแบบกองแฉกโดยใช้อัตราส่วน 53:47 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นได้เติมเถ้าในอัตราส่วนร้อยละ 0, 8, และ 16 ของวัสดุหมักโดยน้ำหนัก จากนั้นทำการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ และจะทำการพลิก 2 ครั้งต่อสัปดาห์ในช่วงเดือนที่สอง หลังจากนั้นได้ทำการร่อนปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ให้เหลือขนาด 1 ตารางเซนติเมตร และทำการกองทิ้งไว้อีกเป็นระยะเวลา 21 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าในระหว่างการหมักอุณหภูมิของกองหมักแต่ละกองมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิสูงสุดที่ได้คือ 73.4, 69.3 และ 73.4 ตามลำดับ ปริมาณสารอินทรีย์ที่พบ 217, 192 และ 169 ตามลำดับ สำหรับกองหมักที่มีการเติมเถ้าร้อยละ 0, 8, และ 16 ตามลำดับ ส่วนปริมาณไนโตรเจนในกองที่มีการเติมเถ้าร้อยละ 16 มีปริมาณต่ำกว่ากองที่มีการเติมเถ้าร้อยละ 0 และ 8 และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในทั้งสามกองมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณ

ไนโตรเจน และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนพบว่า การเติมถั่วในวัสดุหมัก ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการหมัก และได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพตามที่มาตรฐานกฎหมายที่กำหนด

หลังจากนั้นได้ขยายผลการทดลองโดยการนำไปใช้ในการปลูกพืช ในการทดลองได้ใช้ดินร่วนเหนียวปนตะกอนที่มีค่าพีเอช 5.5 โดยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีแร่ธาตุเข้มข้น ปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ที่มีการเติมถัวย่อยละ 0, 8 และ 16 พบว่า พืชที่ปลูกโดยใช้ดินรวมกับขยะอินทรีย์ที่มีการเติมถั่วมีการเจริญเติบโตดีกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยที่มีแร่ธาตุเข้มข้น และพบว่าปริมาณถั่วที่เพิ่มสูงถึงร้อยละ 16 ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการหมัก

Wong et al. (2008) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการหมักอาหารที่มีการเติมถั่วลอยจากการเผาไหม้ถ่านหินและปูนขาว โดยใช้วัสดุหมักที่เตรียมจากขมนมบึง 1.3 กิโลกรัม ข้าว 1 กิโลกรัม กะหล่ำปลี 1 กิโลกรัม และเนื้อหมูต้มสุก 1 กิโลกรัม ที่ถูกนำมาลดขนาดให้เหลือประมาณ 0.5 ตารางเซนติเมตร จากนั้นปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้ได้ 25 และมีการเติมเศษไม้ขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ปริมาณ 500 กรัมเข้าไปเพื่อปรับให้มีความหนาแน่น 0.5 กิโลกรัมต่อลิตร ทำการหมักในถังที่มีการเติมอากาศ ซึ่งอากาศที่เติมถูกนำมาผ่านโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการหมัก จึงได้ทำแบ่งการทดลองเป็น 6 ชุด โดยถังหมักที่ 1 ได้ทำการหมักโดยไม่มีการเติมถั่วลอย และปูนขาว ถังหมักที่ 2 และ 3 มีการเติมปูนขาวเกรดอุตสาหกรรม ร้อยละ 1.5 (เทียบเท่าร้อยละ 0.94 CaCO_3) และร้อยละ 3 (เทียบเท่าร้อยละ 1.88 CaCO_3) ตามลำดับ ถังหมักที่ 4, 5 และ 6 มีการเติมปูนขาวร้อยละ 3 (เทียบเท่าร้อยละ 1.88 CaCO_3) และมีการเติมถั่วลอย ร้อยละ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ แล้วทำการหมักเป็นเวลา 42 วัน

ผลการทดลองพบว่า สารต่างปูนขาวและถั่วลอยสามารถปรับสมดุลของค่าพีเอชเริ่มต้นที่มีค่าต่ำได้ การเติมปูนขาวร่วมกับถั่วลอยพบว่าสามารถช่วยลดระยะเวลาในการหมักลงให้สั้นลง งานวิจัยได้แนะนำว่าการเติมถัวย่อยละ 5-10 ร่วมกับปูนขาวร้อยละ 3 (เทียบเท่าร้อยละ 1.88 CaCO_3) จะสามารถปรับค่าพีเอชช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้และช่วยลดระยะเวลาในการหมักลงได้ร้อยละ 35

Belyaeva et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการหมักถั่วลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหินร่วมกับขยะอินทรีย์สีเขียวเพื่อให้ได้วัสดุคอกที่มีสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำไปใช้ และมีคุณภาพปุ๋ยที่ดี โดยนำขยะอินทรีย์สีเขียวจากเมืองบริสเบนในรัฐควีนแลนด์ประเทศออสเตรเลีย มาบด ขยะสีเขียวที่บดมีขนาดมากกว่า 5 มิลลิเมตร ร้อยละ 55 ขนาด 2 – 5 มิลลิเมตร ร้อยละ 26 และขนาดน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ร้อยละ 19 ในส่วนถั่วลอยที่ใช้มีขนาด 100–200 ไมโครเมตร ร้อยละ 9 ขนาด 50–100 ไมโครเมตร ร้อยละ 36 ขนาด 2–50 ไมโครเมตร ร้อยละ 52 และขนาดน้อยกว่า 2

ไมโครเมตรร้อยละ 3 โดยทำการหมักในถังหมักจำนวน 5 ถัง ถังหมักที่ 1 ทำการหมักขยะอินทรีย์สีเขียวร้อยละ 100 ถังหมักที่ 2 ทำการหมักขยะอินทรีย์สีเขียวร้อยละ 75 ต่อถั่ลอยร้อยละ 25 โดยปริมาตร ถังหมักที่ 3 ทำการหมักขยะอินทรีย์สีเขียวร้อยละ 50 ต่อถั่ลอยร้อยละ 50 โดยปริมาตร ถังหมักที่ 4 ทำการหมักขยะอินทรีย์สีเขียวร้อยละ 75 ต่อถั่ลอยร้อยละ 25 โดยปริมาตร ถังหมักที่ 5 ทำการหมักถั่ลอยร้อยละ 100 โดยทำการหมักในถังพลาสติกขนาด 250 ลิตร ซึ่งหุ้มด้วยไฟเบอร์กลาสสองชั้นเพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียความร้อนระหว่างการหมัก จากนั้นทำการเจาะรูบริเวณด้านล่างของถังไว้สำหรับการเติมอากาศและทำการพลิกกลับทุกๆ 7 วันเพื่อให้ได้ค่าระดับออกซิเจนอย่างเพียงพอในถังหมัก ทำการทดลองหมักเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์โดยมีการเติมน้ำเพื่อควบคุมความชื้น หลังจากนั้นก็ทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางชีวภาพ กายภาพ และเคมี ผลการทดลองพบว่าขยะอินทรีย์สีเขียวมีค่าพีเอช 7.6 ส่วนถั่ลอยมีค่าพีเอช 6.6 และเมื่อมีการเติมขั้ถั่ลงไปส่งผลให้ค่าพีเอชของวัสดุหมักมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกันกับค่าการนำไฟฟ้าก็มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเติมถั่ลอยในทำนองเดียวกันค่าอินทรีย์คาร์บอน สารละลายคาร์บอน และไนโตรเจนรวมก็มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมถั่ลอยเช่นกัน การผสมถั่ลอยกับขยะอินทรีย์สีเขียวให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นอีกด้วย ในขณะที่เดียวกันปริมาณจุลินทรีย์มีค่าลดลงเมื่อมีการผสมถั่ลอยลงไปเนื่องจากถั่ลอยส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์มีค่าลดลง ผลการศึกษาสรุปว่าการใช้ถั่ลอยผสมในสัดส่วนร้อยละ 25 จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักมีคุณภาพดี

Chen et al. (2009) ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้สารเคมีในกระบวนการบำบัดเบื้องต้นของเปลือกข้าวโพดเพื่อเพิ่มเอนไซม์ที่ช่วยในการย่อยสลายในการศึกษาได้ใช้เปลือกข้าวโพดปริมาณ 20 กรัม มาผ่านการบำบัดเบื้องต้นโดย ทดลองได้แบ่งเป็น 4 การทดลอง การทดลองที่ 1 ทดลองแช่เปลือกข้าวโพดในกรดซัลฟริกเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 106-108 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง การทดลองที่ 2 ทดลองโดยการเติมสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.4 กรัม ต่อกรัมข้าวโพด ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง การทดลองที่ 3 ทดลองโดยการเติมสารละลายแอมโมเนีย 200 มิลลิลิตร ความเข้มข้นแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 และนำไปแช่ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่ 26 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และการทดลองที่ 4 ทดลองโดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2 และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

หลังจากนั้นทำการแยกตัวอย่างเปลือกข้าวโพดและได้เติมเอนไซม์เซลลูเลสและเซลโลไบเอส จากนั้นทำการบ่มในเครื่องเขย่าแบบหมุนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และทำการสุ่มตัวอย่างแต่ละช่วงเวลามาทำการวิเคราะห์ Hydrolysis Yield ผลการศึกษา พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถเพิ่มอัตราการย่อยสลายลิกนินและเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลส และเมื่อขยายผลการ

ทดลองต่อไปพบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 8 ความเข้มข้นของเซลลูโลส 20 FPUต่อกรัม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้สูงถึงร้อยละ 81.2 ภายใน 48 ชั่วโมง ซึ่งกระบวนการบำบัดเบื้องต้นของเปลือกข้าวโพดโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีน้ำตาลที่เหมาะสมกับการหมักสูงและมีสารที่ยับยั้งน้อย ซึ่งเหมาะสมที่จะนำช่วยในกระบวนการหมักเอทานอล

Huang et al. (2009) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายลิกนิน ในกระบวนการหมักของเสียประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยทำการหมักฟางหญ้า รากพืช แกลบ และรำข้าว ในกล่องเปิดขนาด 76x55x45 เซนติเมตร และมีการพลิกกลับทุก 3 วันในช่วงสัปดาห์แรก และทุก 6 วันหลังจากนั้น การหมักถูกดำเนินการ 3 ชั่วโมง และทำการหมักเป็นเวลา 50 วัน ตัวอย่างถูกสุ่มจากส่วนบน ส่วนกลาง ส่วนล่าง ที่ระยะเวลาการหมักต่างๆ มาวิเคราะห์หาเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน และดำเนินการหาโพรไฟล์ของควิโนน (Quinine) ผลการศึกษาพบว่าควิโนนสปีชีส์ Q-9(H2), Q-10 และ Q-10(H2) ซึ่งเป็นควิโนนที่แสดงว่ามีการเจริญเติบโตของฟังไจถูกพบในช่วงเทอร์โมฟิลิก แต่หายไปในช่วง คูลดิ่ง Q-10 ซึ่งเป็นดัชนีบอกถึงฟังไจเฉพาะ และ MK-7 เป็นดัชนีบอกถึงแบคทีเรียเฉพาะเป็นควิโนนที่สำคัญที่พบในช่วงเทอร์โมฟิลิกและมีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายลิกนิน การย่อยสลายลิกนินส่วนใหญ่ (ร้อยละ 26) และการย่อยสลายเซลลูโลสถูกพบในช่วงคูลดิ่งโดยพบว่ามีความสัมพันธ์กับควิโนน Q-9, MK-7 และ Long-Chain Menaquinones ซึ่งเกี่ยวข้องกับฟังไจ แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีต ตามลำดับ

Gabhane et al. (2011) ได้ทำการศึกษาผลที่ได้จากการเติมสารเสริมชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ เถ้าลอย ปูน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ไกลคอล และน้ำตาลโตนด โดยศึกษาผลกระทบบัที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการหมักปุ๋ยและคุณภาพของปุ๋ยที่ได้จากการหมัก ทำการทดลองโดยการเตรียมหญ้า และเศษใบไม้มาผึ่งแดดให้แห้งแล้วนำไปหีบดละเอียด จากนั้นนำมาผสมกับเศษผักในอัตราส่วน 1:1 และเติมสารเสริมชนิดต่างๆ ร้อยละ 5 ทำการหมักในกล่องเทอร์โมคูล ความจุขนาด 1 กิโลกรัม ทำการเก็บตัวอย่างทุก 3 วัน เป็นเวลา 21 วัน วิเคราะห์การแปรเปลี่ยนของลักษณะเคมีกายภาพ และชีวภาพ ลักษณะทางเคมีทำการวิเคราะห์ได้แก่ สารอินทรีย์คาร์บอน ในโตรเจนรวม เซลลูโลส ลิกนิน โปแตสเซียม และ ฟอสฟอรัส ลักษณะทางกายภาพที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ขนาดอนุภาค โดยวิธี Sieve Analysis จากนั้นก็นำไปคำนวณค่า Cumulative Passing Percentage (CPP) ความหนาแน่น ลักษณะทางชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ Cellulose Activity ปริมาณจุลินทรีย์และ Dyhydrogenase Activity ผลการศึกษาพบว่า การเติมน้ำตาลโตนดและโพแทสเซียมไกลคอล ทำให้อุณหภูมิเทอร์โมฟิลิกเพิ่มขึ้น และปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็นดัชนีชี้วัดถึงอัตราการย่อยสลาย ซึ่งการเติมน้ำตาลโตนดในกระบวนการหมัก ได้ผลดีกว่าเมื่อเทียบกับสารชนิดอื่น เนื่องจากน้ำตาลโตนด

สามารถเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ได้สูงกว่า และยังช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงร้อยละ 8 การเติมน้ำตาลโตนดและโพลิเอทิลีนไกลคอลมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และช่วยปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้

Kejun et al. (2011) ได้ทำการศึกษาผลของการเติมสารต่างเพื่อช่วยในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายในเศษกิ่งไม้ในการศึกษาได้ใช้เชื้อเหี่ยวไม้ *F.microcarpa var. pusillifolia* ที่มีขนาดไม่เกิน 3 เซนติเมตรปริมาณ 1000 มิลลิลิตรทำการเติมสารละลายต่างโดยผสมสารต่างได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1 แอลคาไลน์ เรสติดิว (Alkaline Residue) ร้อยละ 6 และ โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต ร้อยละ 6 ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และนำมาผึ่งให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเชื้อเหี่ยวมาสแกนด้วยอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Electron Microscope) วิเคราะห์ด้วยอินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared Spectrum) และเอกเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffraction) พบว่าเมื่อเติมสารต่างเร่งให้เชื้อเหี่ยวของ *F.microcarpa var. pusillifolia* ทำให้ความเข้มข้นของลิกนินและเซลลูโลสลดลง และความเข้มข้นของเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้น จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างของเชื้อเหี่ยวที่มีการเติมสารต่างกับที่ไม่มีการเติมสารต่าง พบว่าโครงสร้างเซลล์ของตัวอย่างที่มีการเติมสารต่างจะมีลักษณะรูปร่างหลวมและบวม ส่งผลให้ความหนาของลิกนินเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 29.41, 3.53 และ 34.71 หลังจากที่มีการเติมสาร โซเดียมไฮดรอกไซด์ แอลคาไลน์เรสติดิว และโซเดียมลิกโนซัลโฟเนต ตามลำดับ ในส่วนของพันธะเคมีระหว่างลิกนินและเซลลูโลสพบว่าปริมาณลดลง และมีพันธะเคมีบางส่วนขาด เมื่อนำวิเคราะห์ปริมาณผลึกของลิกนินเซลลูโลสพบว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์ แอลคาไลน์เรสติดิว และโซเดียมลิกโนซัลโฟเนต ทำให้ปริมาณผลึกของลิกนินเซลลูโลสลดลงในปริมาณ ร้อยละ 2.64, 13.24 และ 12.44 ตามลำดับ แต่รูปร่างโครงสร้างของผลึกไม่เปลี่ยนแปลง

Kurola et al. (2011) ได้ทำการศึกษาผลของการเติมเถ้าจากการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลต่อการหมักขยะอินทรีย์ชุมชนในการศึกษาได้มีการทดลองในถังหมักแบบหมุนขนาดต้นแบบและถังหมักในอุตสาหกรรม ถึงหมักแบบหมุนขนาดต้นแบบมีขนาด 5 ลูกบาศก์เมตร ทำการผสมขยะอินทรีย์กับเปลือกไม้สนในอัตราส่วน 1:1 และได้เติมเถ้าเข้าไปในอัตราส่วนร้อยละ 0, 2 และ 8 น้ำหนักโดยปริมาตร มีการเติมอากาศ 40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยถังหมักหมุนด้วยอัตราเร็ว 0.25 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 8-10 นาที บริเวณก้นถังหมักมีใบพัดสำหรับกวน ซึ่งการทดลองได้เป็น 2 ชุด โดย ชุดที่ 1 มีการเติมขยะอินทรีย์ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และชุดที่ 2 ไม่มีการเติมขยะ ได้ทำการหมักเป็นเวลา 14 วัน หลังจากนั้นจึงนำมาผสมแล้วกองทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ปี และได้ทำการหมักแบบกองแฉกเพิ่มเติม ส่วนการหมักในระดับอุตสาหกรรมได้ทำการทดลองหมักขยะอินทรีย์ชุมชนปริมาณ 160 ลูกบาศก์เมตร และมีการเติมเถ้าลอยในอัตราส่วนผสมร้อยละ 0 และ 4 น้ำหนักโดยปริมาตร เริ่มต้นทำการผสมในถัง

หมักและหมักทิ้งไว้เป็นเวลา 4 วัน จึงได้นำมาหมักแบบกองแถวซึ่งมีการเติมอากาศเพื่อรักษาความเข้มข้นของออกซิเจนให้อยู่ที่ร้อยละ 14-15 ทำการหมักทิ้งไว้อีก 3 สัปดาห์ จากนั้นนำมาขยายอินทรีย์มากองรวมกันหมักอีก 6-8 เดือน ผลการศึกษาพบว่า การเติมเถาทำให้ อุณหภูมิและพีเอชในกระบวนการหมักมีค่าสูงขึ้นทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีส่งผลให้การย่อยสลายดีขึ้น ซึ่งอัตราส่วนการเติมเถาที่ร้อยละ 4-8 พอเพียงสำหรับการหมักขยะอินทรีย์ และได้ผลผลิตที่ปลอดภัย

Belyaeva et al. (2012) ได้ทำการศึกษาของการหมักขยะอินทรีย์สีเขียวจากชุมชนร่วมกับไบโอโซลิด ร่วมกับการผสมดิน ทราซ และเถาลอยจากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหิน เพื่อผลิตดินผสมที่จะใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน โดยทำการศึกษาคูสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ โดยขยะอินทรีย์สีเขียวจากชุมชนที่ผ่านการบดมีขนาด มากกว่า 5 มิลลิเมตร ร้อยละ 55 ขนาด 2-5 มิลลิเมตร ร้อยละ 26 และน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ร้อยละ 19 ไบโอโซลิดที่ใช้เป็นกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งผ่านการย่อยสลายในถังหมักแบบไร้ออกซิเจนและนำมารีค่น้ำออก ดินที่ใช้ถูกขุดจากบริเวณที่ปลูกหญ้าที่ไม่มีการเติมปุ๋ย ดินเป็น Silt Loam และถูกจัดเป็นประเภท Clastic Rudosol หรือ Eutric Regosol ดินถูกนำมาผึ่งให้แห้งและร่อนให้มีขนาดน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร ก่อนนำมาใช้ ส่วนทราซที่ใช้เป็นทราซจากแม่น้ำที่ซื้อจากผู้ขายทราซ ในการศึกษาได้ทำการหมักขยะอินทรีย์สีเขียวร่วมกับไบโอโซลิด ในถังหมักจำนวน 3 ถัง ถังหมักที่ 1 ขยะอินทรีย์สีเขียวร้อยละ 100 ถังหมักที่ 2 ขยะอินทรีย์สีเขียวร้อยละ 75 ต่อไบโอโซลิดร้อยละ 25 ถังหมักที่ 3 ขยะอินทรีย์สีเขียวร้อยละ 50 ต่อไบโอโซลิดร้อยละ 50 ทำการหมักในถังพลาสติกขนาด 250 ลิตร ซึ่งหุ้มด้วยไฟเบอร์กลาสสองชั้นเพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียความร้อนระหว่างการหมัก โดยทำการเจาะรูบริเวณด้านล่างของถังหมักไว้สำหรับการเติมอากาศและจะมีการพลิกกลับทุกๆ 7 วัน ทำการหมักเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์หลังจากนั้นก็นำหมักต่อ โดยทำการหมักย่อยร่วมกับดิน ทราซและเถาลอยอีก 3 ถัง ถังหมักย่อยที่ 1 หมักคอมโพสจากถังหมักที่ 1 ร้อยละ 100 ถังหมักย่อยที่ 2 หมักในสัดส่วนคอมโพสจากถังหมักที่ 1 ร้อยละ 80 และดินร้อยละ 20 ถังหมักย่อยที่ 3 หมักในสัดส่วนคอมโพสจากถังหมักที่ 1 ร้อยละ 80 ทราซร้อยละ 10 และเถาลอยร้อยละ 10 ทำการหมักย่อยครั้งที่ 2 แบบเดียวกันนี้กับคอมโพสจากถังหมักที่ 2 และ 3 จากนั้นติดตามผลไปอีก 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นก็เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางชีวภาพ กายภาพ และเคมี ผลการศึกษาพบว่า ขยะชุมชนและไบโอโซลิดมีค่าพีเอชที่เป็นค่า ซึ่งเมื่อมีการผสมดิน ทราซ ขี้เถา ในการหมักจะส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง ส่วนไบโอโซลิดมีค่าการนำไฟฟ้าดีกว่าวัสดุชนิดอื่นโดยที่ค่าการนำไฟฟ้าจะสูงขึ้นเมื่อมีการผสมดิน ทราซ เถาลอยในการหมัก ส่วนอุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 50 องศาเซลเซียส ในช่วง 7 วันแรกของการหมัก จากนั้นเริ่มคงที่ไปจนถึงวันที่ 27 หลังจากนั้นอุณหภูมิมิแนวโน้มลดลง การเติมไบโอโซลิดในขยะอินทรีย์สีเขียวทำให้เพิ่มค่าไนโตรเจน การนำไฟฟ้า แอมโมเนียม ไนเตรท และฟอสฟอรัสของผลผลิตที่ได้ นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ปริมาณและความ

หลากหลายของจุลินทรีย์ในคอมโพสมีค่าสูงขึ้นด้วยและการเติมดิน ทรายและเถ้าลอยในคอมโพสที่หมักจากขยะอินทรีย์สีเขียวกับไบโอโซลิดทำให้เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดินผสมที่ผลิตได้ดีขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าเถ้าลอยสามารถเป็นวัสดุหมักร่วมของกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักได้ ซึ่งทำให้ระยะเวลาในการหมักลดลง อุณหภูมิในการหมักสูงขึ้น ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี ความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่าในโตรเจน และการนำไฟฟ้า เมื่อสิ้นกระบวนการหมักเพิ่มขึ้น โดยที่คุณภาพของปุ๋ยหมักยังผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด และยังมีงานวิจัยในอดีตที่ทดลองใช้สารต่างในกระบวนการบำบัดเบื้องต้นของวัสดุหมัก พบว่าในกระบวนการบำบัดเบื้องต้นเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้โครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงภายใน โดยมีรูปร่างหลวมและบวม ปริมาณของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินลดลง เมื่อนำวัสดุหมักที่ผ่านกระบวนการบำบัดเบื้องต้นด้วยสารต่างไปทำการหมัก พบว่าจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายโครงสร้างที่ซับซ้อนได้ และดึงมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน ซึ่งจากงานวิจัยของ Kejun et al. (2011) ได้ทดลองใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 1 ในกระบวนการบำบัดเบื้องต้นของขี้เลื่อย พบว่าขี้เลื่อยที่ผ่านกระบวนการบำบัดเบื้องต้นทำให้โครงสร้างของลิกนินมีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณเซลลูโลสลดลง ดังนั้นในการศึกษาจึงทำการวิจัยเพื่อศึกษาต่อโดยทดลองใช้เถ้าลอยและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีค่าเบซิฟิกซี้ต์เท่ากันในกระบวนการบำบัดเบื้องต้น ก่อนที่จะทำการหมัก จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลิกโนเซลลูโลสและลิกนินที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved