บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การหมักปุ๋ยเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพและทำให้สารอินทรีย์มีความเสถียรภาพภายใต้สภาวะที่ควบคุมเพื่อให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์มากที่สุด โดยได้ผลผลิตที่มีความเสถียรภาพเพียงพอที่จะทำการเก็บไว้และใช้ประโยชน์ต่อพื้นที่เพาะปลูกซึ่งไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม

ในกรณีของการหมักแบบใช้ออกซิเจน การหมักปุ๋ยจะต้องมีการปรับสภาวะความชื้นและการเติมอากาศเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ ส่วนการทำให้สารอินทรีย์มีความเสถียรภาพจำเป็นจะต้องมีความชื้นเพื่อเป็นตัวทำละลายสารต่างๆและมีการจำกัดอุณหภูมิด้วย

การหมักมักจะใช้วัสดุที่เป็นของแข็งหรือของกึ่งแข็ง เช่น ขยะ เศษวัชพืช ใบไม้แห้ง มูลสัตว์ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และอุจจาระ

หลังจากผ่านกระบวนการหมักอย่างสมบูรณ์แล้ววัสดุที่ได้จะเป็นสารอินทรีย์ที่มีความเสถียรภาพ กล่าวคือ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางด้านชีวภาพอีกต่อไป เช่น จะไม่มีการเน่าเปื่อยซึ่งวัสดุที่ได้ดังกล่าวนี้เรียกว่า ปุ๋ยหมัก

2.1 ประเภทการหมัก

การหมักแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1 การหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจน

เป็นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ในสภาพที่มีออกซิเจนโดยสามารถแสดงปฏิกริยาการย่อยสลายได้ดังสมการที่ 1

$$\text{ORGANIC MATTER} + O_2 + \text{NUITRIENTS} \longrightarrow CO_2 + NH_3 + SO_2 + \text{RESISTANCE ORGANIC MATTER} + \text{NEW CELLS} + \text{HEAT} \quad (1)$$

จากสมการที่ 1 จะเห็นว่าสารอินทรีย์ ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต และสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ก็คือปุ๋ยหมักที่เกิดขึ้นนั่นเอง ส่วนเซลใหม่นั้นเมื่อตายไปก็จะถูกย่อยสลายและเหลือเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้

2.1.2 การหมักปุ๋ยแบบไร้ออกซิเจน

เป็นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาพที่ปราศจากออกซิเจนโดยสามารถแสดงปฏิกริยาการย่อยสลายได้ดังสมการที่ 2

$$\text{ORGANIC MATTER} + H_2O + \text{NUITRIENTS} \longrightarrow CH_4 + CO_2 + NH_3 + H_2S + \text{RESISTANCE ORGANIC MATTER} + \text{NEW CELLS} + \text{HEAT} \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 จะเห็นว่ากระบวนการนี้ทำให้เกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นกาซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานความร้อนได้ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนอันเนื่องมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งกระบวนการหมักปุ๋ยแบบไร้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ

ก) กระบวนการไฮโดรไลซีส คือ กระบวนการที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ในรูปโพลีเมอร์และไขมันที่มีโมเลกุลซับซ้อนไปเป็นน้ำตาลและไขมันโมเลกุลเดี่ยว

ข) กระบวนการลดมวลโมเลกุลของสารประกอบ คือ กระบวนการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนที่ 1 ไปเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลลดลง เช่น กรดอะซีติก เมทธานอล จุลินทรีย์ดังกล่าวคือแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรดซึ่งมีทั้งแฟคคัลเททีฟแบคทีเรีย (Facultative Bacteria) และแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน

ค) กระบวนการเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ คือ กระบวนการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกรดอะซีติกเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จุลินทรีย์ดังกล่าวคือแบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทนซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนล้วนๆ จุลินทรีย์ชนิดนี้มีอัตราการเจริญโตที่ช้ามากดังนั้นอัตราเมตาโบลิซึมจึงเป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกริยาในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนซึ่งปฏิกริยานี้จะสิ้นสุดเมื่อมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนเกิดขึ้น

กระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนนั้นจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อควบคุมให้ระบบปราศจากออกซิเจนอย่างแท้จริง รวมทั้งการกำจัดแอมโมเนียและซัลไฟด์ด้วยการควบคุมระดับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5-7.5 เพื่อให้แบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทนทำงานได้ดี นอกจากนี้ยังต้องมีสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ส่วนอุณหภูมิควรควบคุมให้อยู่ในช่วง 30-38 °ซ

2.2 รูปแบบวิธีการหมัก

รูปแบบวิธีการหมักสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 กระบวนการหมักแบบเปิดหรือในที่โล่ง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.2.1.1 กระบวนการหมักแบบวินด์โรว์

กระบวนการหมักแบบวินด์โรว์ถูกออกแบบโดย Sir Albert Howard ที่ The University of California ในปี ค.ศ. 1950 เป็นวิธีที่ใช้กันมาเป็นเวลานานแล้ว ไม่ยุ่งยากซับซ้อนซึ่งทำได้โดยการนำของเสียมากองไว้บนพื้นดินในที่โล่งเป็นกองยาวๆและพลิกกลับ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เพื่อเป็นการเติมอากาศให้แก่จุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์

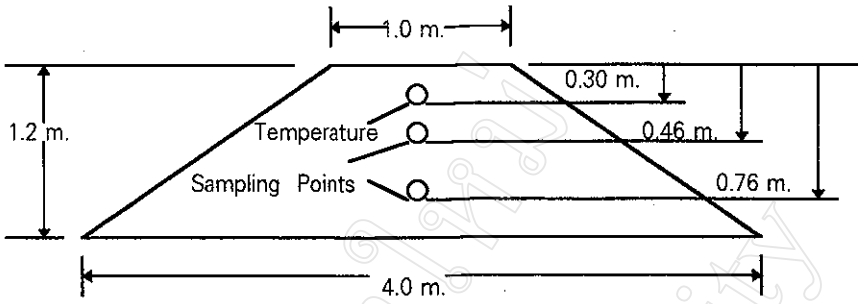
ขนาดของกองหมักก็ขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ที่จะใช้ในการพลิกกองปุ๋ย เช่น ในกรณีที่กองปุ๋ยมีขนาดใหญ่ก็อาจใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในการพลิกเติมอากาศ แต่ถ้าสามารถใช้เพียงแรงงานคนในการพลิกกลับได้เท่านั้นขนาดของกองปุ๋ยก็จำเป็นต้องมีขนาดเล็กลงเพื่อที่จะเติมอากาศได้อย่างทั่วถึง ในบางกรณีที่เราต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายในการพลิกกลับกองปุ๋ยไม่ว่าจะใช้เครื่องจักรหรือแรงงานคนก็ตามเราอาจจะใช้ตัวกลางเสียบเข้าไปในกองปุ๋ยเพื่อให้อากาศไหลผ่านเข้าออกภายในกองปุ๋ยได้ เช่น การใช้ไม้ไผ่ที่ทะลวงแกนกลางและเจาะรูโดยรอบลำไม้ไผ่ตลอดความยาวแล้วนำไปเสียบเข้าในกองปุ๋ยหมักเพื่อให้อากาศไหลผ่านเข้าออกในกองปุ๋ยได้

การพลิกกลับกองปุ๋ยต้องใช้พื้นที่มากเนื่องจากต้องมีการเคลื่อนย้ายวัสดุ นอกจากนี้กองหมักจะต้องไม่สูงมากเกินไปเพราะว่าอาจเกิดสภาวะขาดออกซิเจนได้และยังไม่สะดวกต่อการพลิกกลับกองปุ๋ยไม่ว่าจะใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรกล

ในบางกรณีก็มีการเติมสารตัวเร่งในการหมักด้วย ได้แก่ มูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี และสารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พด-1 ซึ่งเป็นเชื้อเอฟคิลโอเดอร์ แอคโทรแมก (บี 2)

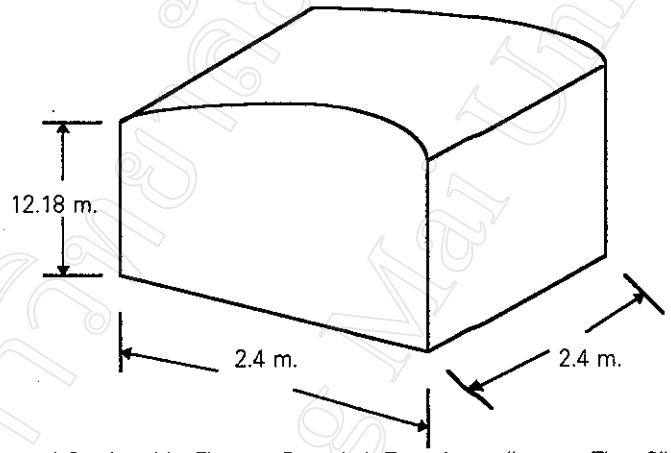
กระบวนการหมักแบบวินด์โรว์แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

ก) แบบกอง วิธีนี้เป็นการหมักที่อยู่บนพื้นผิวดินโดยกองปุ๋ยหมักไม่ควรมีความสูงมากกว่า 2 ม. ส่วนความกว้างของฐานกองปุ๋ยในช่วงเริ่มต้นของการหมักไม่ควรเกิน 3 ม. ก็เพื่อความสะดวกในการพลิกกลับ ลักษณะของกองปุ๋ยเมื่อดูจากภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูและมีมุมประมาณ 30 องศาจากแนวตั้ง แต่ในบางครั้งอาจออกแบบให้เป็นรูปครึ่งทรงกลมเพื่อให้น้ำฝนไหลออกไปอย่างสะดวก อย่างไรก็ตามการกำหนดขนาดและรูปทรงของกองปุ๋ยนั้นไม่เป็นที่แน่นอนตายตัวซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ในการหมักและประสบการณ์ในการออกแบบ รูปที่ 1 แสดงสัดส่วนของกองปุ๋ยหมักที่ทำการหมักแบบวินด์โรว์ และรูปที่ 2 แสดงกองปุ๋ยหมักที่ถูกออกแบบในรูปแบบต่างๆ (Rabbani et al., 1983)

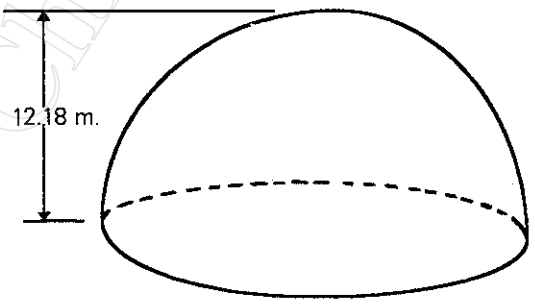


รูปที่ 1 สัดส่วนของกองปุ๋ยหมักแบบวินด์โรว์

ที่มา Rabbani et al., 1983



a) Stack with Flat or Rounded Top According to The Climate Conditions



b) Pile with Diameter of 2.4-3.6 m.

รูปที่ 2 กองปุ๋ยหมักที่ถูกออกแบบในรูปแบบต่างๆ

ที่มา Rabbani et al., 1983

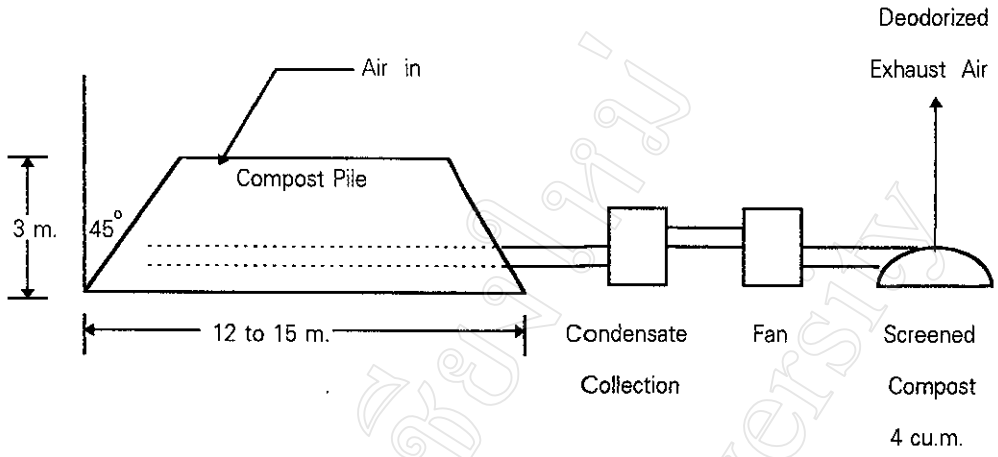
ข) แบบหลุม วิธีนี้เป็นการหมักในหลุมโดยที่ผนังด้านข้างและพื้นด้านล่างของหลุมควรเป็นอิฐก่อหรือดินอัดแน่น การหมักปุ๋ยแบบนี้ไม่ควรนำมาใช้ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูงแต่ถ้าจำเป็นต้องหมักแบบหลุมควรออกแบบให้มีการระบายน้ำที่พื้นด้านล่างเป็นอย่างดี และควรป้องกันการไหลซะของน้ำฝนที่จะไหลเข้ามาภายในกองปุ๋ยหมักด้วย ข้อได้เปรียบของการหมักแบบหลุมที่มีเหนือแบบกองบนผิวดินคือการประหยัดแรงงานในการพลิกกลับ นอกจากนี้ยังไม่เกิดกลิ่นและแมลงวันรบกวน

2.2.1.2 กระบวนการหมักแบบเติมอากาศ

วิธีนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย U.S. Department of Agriculture Research Service Experimental Station at Beltsville โดยทั่วๆไปอาจเรียกว่า Beltsville หรือ Ars Process วิธีนี้ได้ถูกพัฒนาสำหรับการหมักตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย แต่อย่างไรก็ตามสามารถนำมาใช้ได้กับของเสียประเภทอื่นๆ เช่น ขยะเทศบาลหรือเศษพืชผัก การหมักโดยวิธีนี้เป็นการนำของเสียมากองไว้แล้วมีการเติมอากาศผ่านท่อเข้าไปในกองปุ๋ยที่สูงประมาณ 1-2 ม. อากาศที่เติมเข้าไปนอกจากจะทำให้เกิดการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนแล้วยังเป็นการควบคุมอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยด้วย อัตราการเติมอากาศขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาหมักและขนาดของกองปุ๋ย นอกจากนี้อาจมีการตั้งเวลาเปิด-ปิดเครื่องเป่าอากาศแบบอัตโนมัติและมีการวัดอุณหภูมิซึ่งอุณหภูมิในกองปุ๋ยนี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเติมอากาศได้

ในบางครั้งจำเป็นต้องผสมเศษไม้หรือขี้เลื่อยลงไปเพื่อให้กองปุ๋ยมีความพรุนที่พอเหมาะมิฉะนั้นแล้วอากาศจะแทรกซึมเข้าไปได้อย่างไม่ทั่วถึง นอกจากนี้วัสดุที่เติมลงไปยังช่วยซึมซับความชื้นที่อาจมีมากเกินไปโดยเฉพาะเมื่อใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเป็นของเสียในการนำมาหมัก แต่เมื่อการหมักสิ้นสุดลงวัสดุเหล่านี้จะถูกแยกออกไปโดยการร่อนผ่านตะแกรง

วิธีการหมักแบบนี้สามารถควบคุมปริมาณอากาศที่เติมได้ และยังสามารถควบคุมอุณหภูมิและปริมาณก๊าซออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังเสียค่าใช้จ่ายต่ำและใช้พื้นที่น้อย ถึงแม้ว่าในตอนต้นจะเสียค่าใช้จ่ายสูงแต่ในระยะยาวจะคุ้มทุนเพราะสามารถใช้พื้นที่ได้คุ้มค่าและสามารถทำกองปุ๋ยให้สูงได้ขณะที่ใช้บุคลากรในการดำเนินงานน้อย รูปที่ 3 แสดงกระบวนการหมักแบบเติมอากาศโดยใช้เครื่องเป่าอากาศ



GENERAL LAYOUT

รูปที่ 3 กระบวนการหมักแบบเติมอากาศโดยใช้เครื่องเป่าอากาศ
ที่มา Wilson et al., 1980

2.2.2 กระบวนการหมักแบบปิดหรือในที่ปิด

การหมักแบบนี้เป็นการนำของเสียมาใส่ในภาชนะปิดซึ่งอาจเป็นท่อหรือถังขนาดใหญ่ จากนั้นก็อัดอากาศผ่านเข้าไป ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆดังนี้

2.2.2.1 แบบปลั๊กโฟล์ (Plug Flow)

ของเสียที่หมักจะต้องถูกนำไปใส่ในท่อและถูกทำให้เคลื่อนที่ไปในท่อโดยระหว่างนั้นมีการเติมอากาศเข้าไป เมื่อของเสียเคลื่อนที่จนถึงปลายท่อจะใช้เวลาเท่ากับเวลาที่ต้องการในการหมัก

2.2.2.2 แบบไดนามิค (Dynamic)

ภายในท่อมีอุปกรณ์ที่ทำให้ของเสียมีการผสมกันอย่างทั่วถึงไปพร้อมๆกับการเติมอากาศซึ่งจะทำให้ปฏิกริยาเกิดขึ้นได้อย่างทั่วถึงทั้งระบบ โดยทั่วไปการหมักแบบนี้สามารถออกแบบการทำงานของถังได้เป็น 2 รูปแบบคือ

ก) ระบบถังในแนวตั้ง ระบบนี้มีทั้งการหมักแบบเป็นครั้งคราวและอย่างต่อเนื่อง การหมักแบบเป็นครั้งคราวคือการนำวัสดุที่ต้องการหมักมาใส่ในภาชนะปิดซึ่งมีลักษณะเป็นหอแล้วเติมอากาศโดยผ่านทางท่อ เมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดลงก็นำปุ๋ยหมักทั้งหมดออกจากภาชนะได้ ส่วนการหมักอย่างต่อเนื่องคือการนำวัสดุที่ต้องการหมักมาเติมทุกวันโดยที่อายุของวัสดุที่ใช้หมักในหอนั้นจะไม่เท่ากันซึ่งระยะเวลาในการหมักของวัสดุจะต้องมากพอที่

จะทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดีพอ ปุ๋ยหมักที่ได้จะถูกดึงออกทางด้านล่างของหอ

ข) ระบบถังในแนวนอน หลักการทั่วไปเหมือนกับระบบถังหมักในแนวตั้งแต่ปุ๋ยหมักถูกทำให้เคลื่อนที่ในแนวระดับแทนที่จะเป็นแนวดิ่งซึ่งก็สามารถทำได้ทั้งแบบการหมักเป็นครั้งคราวและการหมักอย่างต่อเนื่อง อาจมีการเพิ่มประสิทธิภาพของการเติมอากาศโดยติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกวนเพื่อให้วัสดุมีโอกาศสัมผัสกับอากาศได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น การออกแบบอาจทำเป็นแบบเซลเดียวหรือแบบหลายเซลต่อกันซึ่งประกอบด้วยเซลมากกว่า 1 เซล โดยแต่ละเซลมีการผสมแบบสมบูรณ์และอายุของปุ๋ยหมักในแต่ละเซลไม่เท่ากัน

สำหรับรูปแบบของวิธีการหมักต่างๆที่กล่าวมานั้นถ้าหากพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์และความเหมาะสมกับการนำไปใช้แล้วจำต้องคำนึงถึงหลักสำคัญ 3 ประการดังนี้

- ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการใช้พลังงานและการบำรุงรักษาต้องต่ำ
- ระยะเวลาในการหมักปุ๋ยหมักต้องสั้น
- ปุ๋ยที่ได้ต้องมีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อภาคเกษตรกรรมได้เป็นอย่างดี

ส่วนตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อดีและข้อเสียของกระบวนการทำปุ๋ยหมักในแต่ละวิธี (Haug, 1980)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมัก

2.3.1 การเติมอากาศ

ความสำคัญของการเติมอากาศคือการให้ก๊าซออกซิเจนแก่จุลินทรีย์แล้วเกิดผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ถ้าหากว่าระบบเกิดสภาพขาดก๊าซออกซิเจน กลิ่นเหม็นจากสารประกอบซัลเฟอร์จะเกิดขึ้น แต่ก็ไม่ควรมีการเติมอากาศที่มากเกินไปเพราะว่าจะทำให้เกิดสภาพที่เย็นเกินไปซึ่งมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง ความต้องการก๊าซออกซิเจนนั้นมีมากที่สุดในช่วงตอนต้นของการหมักดังนั้นอาจจะลดอัตราการเติมอากาศลงเมื่อปุ๋ยเข้าสู่ช่วงที่ได้ที่แล้ว

การควบคุมอัตราการเติมอากาศเป็นสิ่งสำคัญมากในแง่ของรูปแบบกระบวนการหมักและการควบคุมระบบ

ภาวะการมีก๊าซออกซิเจนเป็นสิ่งที่จำเป็นในการทำให้เกิดช่วงเทอร์โมฟิลิกที่สมบูรณ์เพราะว่าการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงนี้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่างข้อดีและข้อเสียของกระบวนการทำปุ๋ยหมักในแต่ละวิธี

กระบวนการหมัก	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบวินโดรว์	1. ค่าลงทุนก่อสร้างต่ำ 2. ขั้นตอนการดำเนินการง่าย ไม่ซับซ้อน ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้มากในการปฏิบัติงาน	1. ใช้พื้นที่ในการดำเนินงานมาก 2. การเติมอากาศยังคงทำได้ไม่ทั่วถึงสม่ำเสมอตลอดทั้งกอง 3. มีกลิ่นรบกวน 4. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงได้ ถ้าต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่หรือแรงงานคนจำนวนมากในการพลิกกลับกองปุ๋ย
แบบเติมอากาศโดยเครื่องเป่า	1. มีการให้อากาศได้เกือบจะสมบูรณ์ 2. สามารถควบคุมอัตราการเติมอากาศได้ 3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการด้านบุคคลไม่มาก เพราะใช้คนปฏิบัติงานน้อย 4. ใช้ได้กับสภาพภูมิอากาศแทบทุกประเภท	1. ค่าลงทุนในการก่อสร้างสูงกว่าแบบวินโดรว์ 2. ยังคงใช้พื้นที่มากอยู่ 3. ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเกือบตลอดเวลาเพราะต้องเปิดเครื่องเป่าอากาศ 4. ต้องเติมวัสดุที่ช่วยเพิ่มความพรุนให้แก่ปุ๋ย
แบบระบบท่อปิดและมีการเติมอากาศ	1. ใช้พื้นที่น้อย 2. มีการให้อากาศได้อย่างสมบูรณ์ 3. สามารถควบคุมสภาวะต่างๆที่จำเป็นต่อกระบวนการหมักได้เป็นอย่างดี 4. ไม่เกิดกลิ่นและแมลงวันรบกวน	1. ค่าลงทุนในการก่อสร้างสูงมาก 2. ยังคงต้องใช้พื้นที่ในการบ่มปุ๋ยเพื่อฆ่าเชื้อโรคภายหลังการหมักอยู่อีก 3. ต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้และความชำนาญมาก 4. ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเดินเครื่อง

ที่มา Haug, 1980

ความสำเร็จในการเติมอากาศยังขึ้นกับความพรุนของวัสดุที่นำมาใช้หมักด้วยเพราะถ้าหากว่าวัสดุมีความพรุนหรือช่องว่างไม่มากพอก็จะไปต้านกระแสอากาศทำให้อากาศเข้าไปไม่ทั่วถึงทุกจุดในกองปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ความชื้นที่มากเกินระดับที่วัสดุนั้นๆควรจะมีก็เป็นปัญหาในการเติมอากาศอีกด้วย (Haug, 1980)

Leemaharoungruang (1988) พบว่าที่อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 0.03 ลบ.ม./กก.-ชม. ให้ผลดีที่สุดสำหรับการหมักที่ใช้ขยะจากชุมชนในกรุงเทพมหานครฯด้วยวิธีการหมักแบบเติมอากาศ

การพลิกกลับกองปุ๋ยก็เป็นวิธีง่ายๆอีกอย่างหนึ่งในการเติมอากาศซึ่งวัสดุที่จะนำมาหมักนั้นต้องเบาและสะดวกต่อการพลิกกลับ เช่น เศษหญ้า เศษใบไม้ และฟางข้าว

ส่วนวิธีการเติมอากาศแบบอัดอากาศตามท่อเข้าไปใต้กองปุ๋ยหมักก็เพื่อช่วยเร่งให้อัตราการหมักเกิดเร็วขึ้นซึ่งวิธีนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

นอกจากนี้ยังพบว่าความต้องการออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 284 มล./ก.-ชม. ในช่วงเริ่มแรกของกระบวนการหมักซึ่งวัสดุที่นำมาหมักยังมีลักษณะที่ยังสดอยู่ และความต้องการออกซิเจนมีค่าลดลงเหลือเพียง 9 มล./ก.-ชม. ในขั้นสุดท้ายของการหมัก และกระบวนการหมักแล้วเสร็จภายในระยะเวลา 4 สัปดาห์ (Rabbani et al., 1983)

2.3.2 สารอาหาร

ไนโตรเจนเป็นสารอาหารหลักที่สำคัญที่สุดต่อจุลินทรีย์ ส่วนฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารอีกตัวที่มีความสำคัญรองลงมา ขณะที่โปรแตสเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แคลเซียม และเหล็กซึ่งเป็นธาตุที่พืชต้องการเพียงเล็กน้อยแต่ขาดไม่ได้ก็มีความสำคัญสำหรับเซลในเรื่องการเจริญเติบโตของพืชเช่นเดียวกัน

Alexander (1961) ได้รายงานไว้ว่าประมาณร้อยละ 20-40 ของคาร์บอนในสารอินทรีย์ที่นำมาหมักนั้นถูกดูดซึมเข้าไปในเซลใหม่และส่วนที่เหลือก็ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตพลังงาน อย่างไรก็ตามพวกเซลเหล่านี้ประกอบไปด้วยคาร์บอนและไนโตรเจน ร้อยละ 50 และ 5 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังนั้นจากที่กล่าวมาความต้องการของไนโตรเจนในการหมักคือต้องให้มีไนโตรเจนประมาณร้อยละ 2-4 ของคาร์บอนเริ่มต้นจึงทำให้ได้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของของผสมมีค่าประมาณ 25 แต่ถ้าหากว่าค่าดังกล่าวมีมากกว่านี้จุลินทรีย์ต้องมีวงจรชีวิตที่ยาวนานเพื่อใช้คาร์บอนส่วนเกินจนกระทั่งให้ได้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเหลือเพียงประมาณ 10 ดังนั้นจึงทำให้ระยะเวลาในกระบวนการหมักยาวนานออกไปนั่นเอง

อย่างไรก็ตามค่าที่เหมาะสมที่นิยมใช้กันทั่วๆไปสำหรับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วง 25-30 (Haug, 1980, Sanderson and Martin, 1974)

จากงานวิจัยของ Polprasert (1980) พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมระหว่างการผสมอุจจาระและผักตบชวาเพื่อให้เกิดกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจนคือ 30

2.3.3 ความชื้น

น้ำจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์ในกระบวนการดูดซึมสารอาหารและกระบวนการขับถ่ายของเสียดังนั้นความชื้นเริ่มต้นของของผสมควรอยู่ระหว่างร้อยละ 50-70 จึงจะทำให้กระบวนการหมักดำเนินไปได้ด้วยดี แต่ถ้าหากค่าความชื้นเกินร้อยละ 70 ปุ๋ยจะถูกอัดแน่นและลดปริมาณช่องว่างของอากาศภายในกองปุ๋ยซึ่งทำให้เกิดสภาพการขาดออกซิเจนได้ ในทางตรงข้ามถ้าค่าความชื้นไม่เพียงพอต่อกระบวนการหมักก็จะทำให้อุณหภูมิตลอดทั่วทั้งกองปุ๋ยต่ำเกินไปซึ่งมีผลทำให้ระยะเวลาในการหมักยาวนานออกไปด้วย

นอกจากนี้ค่าความชื้นจะแปรเปลี่ยนได้ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ขนาดของวัสดุ และระบบที่ใช้ในการหมัก ในทางปฏิบัติช่วงค่าความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะสมคือร้อยละ 50-70 (Rabbani et al., 1983)

ขณะที่ Wilson (1977) กล่าวว่าความชื้นที่ต่ำสุดซึ่งแบคทีเรียยังคงสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 12-15 ดังนั้นความชื้นที่ต่ำสุดดังกล่าวนี้จึงเป็นตัวกำหนดที่สำคัญของปัจจัยในกระบวนการหมักได้

Golueke (1972) กล่าวว่าในทางปฏิบัติช่วงค่าความชื้นที่เหมาะสมในการหมักคือร้อยละ 50-70 แต่ถ้าการหมักเป็นแบบวินด์โรว์ค่าดังกล่าวอาจจะต่ำกว่านี้ได้ ขณะเดียวกันถ้าการหมักเป็นระบบที่เติมอากาศด้วยเครื่องจักรกลก็อาจยอมให้ค่านี้สูงกว่าช่วงดังกล่าวได้ นอกจากนี้ยังพบว่าในระหว่างกระบวนการหมักได้มีการปลดปล่อยความชื้นออกมาในรูปผลิตภัณฑ์โดยจุลินทรีย์ ดังนั้นถ้าหากว่าการเติมอากาศล้มเหลวก็ทำให้ความชื้นถูกสะสมมากขึ้นและนำไปสู่สภาวะการขาดออกซิเจนได้

2.3.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่พอเหมาะจะเป็นตัวชี้ถึงกิจกรรมการดำรงชีวิตที่ดีของจุลินทรีย์ภายในระบบการลดลงของอุณหภูมิอาจหมายถึงว่าวัสดุต้องการการเติมอากาศหรือความชื้น มิฉะนั้นแล้วกระบวนการการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ช้า

การที่ระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้นมีผลดีคือเป็นการเร่งกระบวนการหมักให้เกิดได้เร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพที่ดี นอกจากนี้ยังสามารถทำลายเชื้อโรคบางชนิดได้ด้วย (Golueke et al., 1987)

ในช่วงแรกๆของการหมักที่อุณหภูมิราว 35 ° ซ พวกคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง และน้ำตาลจะถูกย่อยสลาย ส่วนโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายที่อุณหภูมิราวๆ 60-65 ° ซ เมื่อกระบวนการหมักเริ่มจะสมบูรณ์อุณหภูมิก็เริ่มลดลง จุลินทรีย์พวกแอคติโนมัยซีสและฟังไจก็จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น และเริ่มเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่มีความเสถียรภาพ เช่น เซลลูโลส (Rabbani et al., 1983)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเมื่อวัดที่จุดกึ่งกลางของกองปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ Mesophilic Stage มีช่วงอุณหภูมิ 15-43 ° ซ Thermophilic Stage, มีช่วงอุณหภูมิ 43-72 ° ซ Coolingdown Stage เป็นช่วงที่อุณหภูมิเริ่มลดลง และ Maturing Stage เป็นช่วงที่อุณหภูมิลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศ (Gray et al., 1971)

นอกจากนี้ยังพบว่าช่วง Thermophilic Stage ที่มีอุณหภูมิ 50-65 ° ซ เป็นระยะเวลา 2-3 วัน สามารถทำลายเชื้อโรคบางชนิดได้ (Polprasert, 1988)

2.3.5 ขนาดอนุภาค

ขนาดของวัตถุดิบที่นำมาหมักมีความสำคัญเพราะว่าถ้าขนาดเริ่มต้นมีขนาดเล็กก็จะช่วยให้การย่อยสลายเกิดได้ง่ายขึ้นเนื่องจากเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับจุลินทรีย์ได้สัมผัสมากขึ้น แต่ในทางตรงข้ามถ้าขนาดของอนุภาคมีขนาดที่ละเอียดมากเกินไปก็จะไปขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนที่จะเข้าไปในกองปุ๋ยเพราะว่าในช่วงเทอร์โมฟิลิคนั้นเป็นช่วงที่มีความต้องการออกซิเจนมากที่สุด

Gray (1971) กล่าวว่าขนาดของอนุภาคสำหรับการหมักโดยทั่วๆไปอยู่ในช่วง 0.5-2.0 นิ้ว ส่วน Lohani et al. (1984) กล่าวว่าค่าที่เหมาะสมของอนุภาคสำหรับการหมักแบบที่มีการเติมอากาศโดยใช้เครื่องเป่าลม คือ 0.5-1.5 นิ้ว และสำหรับการหมักแบบวินด์โรว์ที่มีการเติมอากาศแบบธรรมชาติค่าดังกล่าว คือ 1.5-3.0 นิ้ว

2.3.6 พีเอช

พีเอชเป็นตัววัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของของผสมซึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักพีเอชควรมีค่าเป็นกลาง

โดยทั่วไปพวกฟังไจสามารถทนทานพีเอชในช่วงกว้างๆได้มากกว่าพวกแบคทีเรีย คือช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6.0-7.5 ส่วนช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับฟังไจส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5.5-8.0 (Gray, 1971)

การเปลี่ยนแปลงพีเอชของกระบวนการหมักสามารแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือช่วงแรกซึ่งพีเอชตกลงมาเล็กน้อยที่ช่วง5.0-5.5 (Mesophilic Stage) จากนั้นพีเอชก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกิด

เป็นสภาวะด่างที่ช่วง 8.0-9.0 (Thermophilic Stage) ต่อมาพีเอชลดลงมาเล็กน้อย (Coolingdown Stage) และท้ายที่สุดพีเอชก็ลดลงมาจนมีค่าในช่วง 7.0-8.0 (Maturing Stage) (Gray, 1971)

ในทางปฏิบัติค่าพีเอชมิได้ใช้เป็นตัวควบคุมกระบวนการหมักแต่ถ้าผู้ปฏิบัติทราบถึงการเปลี่ยนแปลงพีเอชในช่วงต่างๆของกระบวนการหมักก็จะเป็นการดีที่ได้ทราบความเป็นไปได้ของระบบที่ดำเนินการอยู่ในขณะนั้น

2.3.7 จุลินทรีย์

ประชากรของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยทั่วๆไปวัสดุที่นำมาหมักแบบเปิดในที่โล่งประกอบไปด้วยแบคทีเรียหลายชนิดจำนวนมากนอกจากนี้ยังมีแอคติโนมัยซีส ฟังไจ รา และสิ่งมีชีวิตอื่นๆอีก ดังนั้นจุลินทรีย์เหล่านี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหมักและมีส่วนสำคัญในการเกิดปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ย ส่วนการเพาะเชื้อจะทำก็ต่อเมื่อจุลินทรีย์เดิมนั้นไม่สามารถพัฒนาตัวเองให้มีการเพิ่มจำนวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Gray et al., 1971)

จากรายงานของ Leemaharoungruang (1988) แสดงให้เห็นว่า ร้อยละ 0.015 ของหัวเชื้อ (ร้อยละน้ำหนักต่อน้ำหนัก) ซึ่งเป็นหัวเชื้อที่ถูกสังเคราะห์โดยกรมพัฒนาที่ดิน ประเทศไทย เมื่อนำไปใช้ในกระบวนการหมักของเสียจากชุมชนจะให้ผลผลิตที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการหมักสั้นที่สุดด้วย

แต่ต้องพึงตระหนักไว้ว่าประชากรของจุลินทรีย์จะเป็นตัวกำหนดปัจจัยในการหมักได้นั้นระบบจะต้องได้รับการยกเว้นจากสิ่งสำคัญดังนี้คือ การหมักมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ การฆ่าเชื้อโรค การหมักผลิตภัณฑ์พวกแอนตี้ไบโอติก เช่น Pharmaceutical Wastes และการมีสารประกอบที่เป็นพิษต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ เช่น ของเสียอันตราย (Golueke et al., 1987)

2.4.8 ระยะเวลาที่ต้องการสำหรับกระบวนการหมัก

ระยะเวลาที่ต้องการในกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดความเสถียรภาพของสารอินทรีย์นั้นขึ้นกับค่าเริ่มต้นของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ความชื้น ขนาดของอนุภาค และการรักษาสภาพการหมักแบบมีออกซิเจน

เกณฑ์ที่ได้รับการยอมรับโดยกว้างๆสำหรับการหมักอย่างสมบูรณ์คือค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สามารถลดลงได้ต่ำกว่า 20 ในช่วง Maturing Phase ซึ่งช่วงดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นภายหลังจากที่สารอินทรีย์มีความเสถียรภาพภายใต้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว

Rabbani et al. (1983) ได้รายงานถึงระยะเวลาที่ต้องการเพื่อให้เกิดความเสถียรภาพของสารอินทรีย์ที่สัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของขยะชุมชนภายใต้สภาวะมีออกซิเจนและค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 70 ไว้ว่าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 20 30-35 และ 78 ต้องใช้ระยะเวลาในการหมัก 9-12 10-16 และ 21 วัน ตามลำดับ

2.4 การประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมัก

เกณฑ์ที่ใช้ประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมักนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆดังนี้

2.4.1 การทดสอบลักษณะทางกายภาพ ซึ่งประกอบด้วยการพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

2.4.1.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2-3 วันแรกของการหมักและยังคงรักษาอยู่ที่ระดับ 60-70 $^{\circ}$ ซ เป็นเวลาหลายวัน จากนั้นก็เริ่มลดลงจนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศและรักษาระดับคงที่เช่นนี้ต่อไป จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงกล่าวได้ว่าปุ๋ยหมักจะได้ที่เพียงพอก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของกองปุ๋ยยังคงคงที่เมื่อมีการพลิกกับกองปุ๋ย (Golueke, 1972 and Harada et al., 1981)

2.4.1.2 สี

ปุ๋ยที่ได้ที่ควรมีสีระหว่างสีน้ำตาลดำจนถึงสีเกือบดำวิธีการตรวจสอบสีของปุ๋ยใช้วิธี " CIE 1931 Standard Colorimetric System " ซึ่งมีสูตรการคำนวณในสมการที่ 3 ดังนี้

$$Y = (0.388 \times C/N\ Ratio) + 8.31 \quad \text{_____(3)}$$

Y = ค่าที่บอกดีกรีของการได้ที่ของปุ๋ย ซึ่งค่า Y = 11-13 จะเป็นปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้ว

C/N Ratio = อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

(Sugahara et al., 1979)

2.4.2 การศึกษาทางด้านมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยการพิจารณาในสิ่งต่อไปนี้

2.4.2.1 การนับจำนวนจุลินทรีย์

แบคทีเรียชนิดเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรียจะลดจำนวนลงเมื่อถึงช่วงสุดท้ายของการหมักจนถึงจุดที่ปุ๋ยได้ที่ ดังนั้นการตรวจสอบโดยการนับจำนวนแบคทีเรียชนิดนี้เป็นระยะๆ

ตลอดเวลาในการหมักก็จะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรีย ซึ่งสามารถนำมาเป็นเกณฑ์ที่ใช้ช่วยการพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยอีกทางหนึ่ง

2.4.2.2 ความต้องการออกซิเจน มีการทดสอบได้ 2 วิธีคือ

ก) ความต้องการออกซิเจนโดยการหายใจ ออกซิเจนถูกใช้น้อยกว่า 10 มก./ก.ในระยะเวลา 7 วันของการหมัก

ข) ความต้องการออกซิเจนโดยการออกซิไดซ์ด้วยโปแตสเซียมไดโครเมต ออกซิเจนถูกใช้น้อยกว่า 40 มก./กก.-ชม. ในระยะเวลา 3 วัน ของการหมัก และค่า COD ของปุ๋ยน้อยกว่า 700 มก./ก.

2.4.2.3 กิจกรรมของจุลินทรีย์ในเชิงชีวเคมี

พบว่าค่าความเข้มข้นของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟส (Adenosinetriphosphate, ATP) มีค่าลดลงในระหว่างช่วงเทอร์โมฟิลิค และมีค่าต่ำที่สุดเมื่ออุณหภูมิของกองปุ๋ยสูงถึง 70° ซ นอกจากนี้ยังพบว่าการหลั่งเอนไซม์ชนิด Amylasic, Cellobiasic และ Proteolytic มีเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมักจนถึงจุดที่ปุ๋ยได้ที่การหลั่งก็จะเริ่มค่อนข้างคงที่ซึ่งจะเกิดที่ระยะเวลา 140 วัน ของการหมัก

2.4.2.4 การวิเคราะห์การย่อยสลายทางชีวภาพ มีการทดสอบได้ 3 วิธี คือ

ก) สัดส่วนในความสามารถในการละลายน้ำของโพลีแซคคาไรด์

การหาสัดส่วนของโพลีแซคคาไรด์ในระหว่างการหมัก โดยใช้เทคนิคของ Guckert พบว่าในช่วงเริ่มต้นของการหมักสัดส่วนของโพลีแซคคาไรด์ อาจมีมากถึงร้อยละ 20 ของสารอินทรีย์ทั้งหมด แต่หลังจากนั้นในช่วงระยะเวลาหมัก 120-240 วัน ค่าดังกล่าวจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 4-10 ของสารอินทรีย์ทั้งหมด

ข) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและความสามารถในการละลายน้ำของกลูไซด์

ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด และสัดส่วนของโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ ซึ่งได้ความสัมพันธ์ออกมาในรูปของสมการที่ 4 ดังนี้

$$ID = 3.166 - (0.011\ AGE) + (0.059\ TOC) + (0.832\ Phs) \quad \text{---------- (4)}$$

โดยที่ ID = ดัชนีของความสามารถในการย่อยสลายได้

AGE = ระยะเวลาที่ปุ๋ยเริ่มได้ที่ (วัน)

TOC = สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

Phs = โพลีแซคคาไรด์ที่สามารถสกัดออกมาได้โดยใช้น้ำร้อน

ได้มีการทดลองโดยใช้หญ้าไรย์มาทำการหมัก พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้ที่จะมีค่า ID > 2.4 แต่ถ้าค่า ID > 2.7 ปุ๋ยหมักยังไม่ได้ที่เท่าที่ควร

ค) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนในน้ำตาล (Sugar) ที่ลดลงต่อคาร์บอนทั้งหมด

Inoko et al. (1979) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการลดลงของน้ำตาลซึ่งได้แก่ เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ของการหมักขยะจากเทศบาลพบว่า สัดส่วนของน้ำตาลเมื่อเริ่มต้นในการหมักมีประมาณร้อยละ 36 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด และหลังจาก 60 วันของการหมักลดลงเหลือเพียงร้อยละ 20 ขณะที่คาร์บอนทั้งหมดในช่วงเริ่มต้นของการหมักมีประมาณร้อยละ 45 และเหลือร้อยละ 33 เมื่อสิ้นสุดการหมัก นอกจากนี้ยังพบว่าการลดลงของน้ำตาลยังมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอีกด้วย ซึ่งแสดงในสมการที่ 5 ดังนี้

$$(Crs/TC) \times 100 = (1.616 \times C/N) - 0.415 \quad \text{_____} \quad (5)$$

โดยที่ Crs คือ คาร์บอนในน้ำตาลที่ลดลง และ TC คือ คาร์บอนทั้งหมด และจากการทดลองพบว่าค่า Crs/TC ที่น้อยกว่าร้อยละ 35 จะหมายถึงการได้ที่ของปุ๋ยหมัก

2.4.3 การศึกษาองค์ประกอบของฮิวมิคของปุ๋ยหมักและผลของฮิวมิคภายหลังจากการนำปุ๋ยหมักไปใส่ลงดิน ซึ่งประกอบด้วยการพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

2.4.3.1 การทดสอบเซอร์คูล่า โครมาโตกราฟฟี่ (Circular Chromatography Test)

Hertelendy (1974) ได้ทำการทดสอบโดยใช้กระดาษโครมาโตกราฟฟี่ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2

2.4.3.2 อัตราการสกัดโดยวิธีโฟโตคัลเลอร์เมตริก (Photocolorimetric Methods)

Watanabe and Kurihara (1982) ได้ทำการสกัดสารประกอบของฮิวมิคด้วย $Na_4P_2O_7$ (0.1 M) และวัดค่า Optical Density ของสารที่สกัดออกมา โดยใช้ความยาวคลื่น 450-600 นาโนเมตร ซึ่งพบว่าค่าของคาร์บอนที่เป็นฮิวมัสเมื่อเทียบกับคาร์บอนทั้งหมดมีค่ามากกว่าร้อยละ 5 และยังพบว่า มีฮิวมัสทั้งหมดที่สามารถละลายได้ในอัลคาไลน์มากกว่า 110 มก.ฮิวมัส/ก. ของสารอินทรีย์ทั้งหมด

2.4.4 วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี การวิเคราะห์ทางเคมีต้องพิจารณาในสิ่งต่อไปนี้

2.4.4.1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในส่วนที่เป็นของแข็ง

ได้มีการรายงานไว้ว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในส่วนที่เป็นของแข็งควรมีค่าน้อยกว่า 20 จึงจะสามารถนำมาใช้พิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมักได้ แต่อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์นี้ยังไม่สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินคุณภาพของปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของกระดาษโครมาโตกราฟพี่เมื่อใช้ปุ๋ยสดและปุ๋ยที่ได้ที่แล้ว

โครมาโตแกรม (Chromatogram)	ปุ๋ยสด	ปุ๋ยที่ได้ที่แล้ว
ตรงกลาง (Center)	สีขาว-สีชมพู	สีแดง-สีม่วง
ช่วงรอยต่อ (Transition Zone)	รูปวงแหวนที่เป็นรูปแบบปกติ	รูปแบบไม่ปกติ
รอบนอก (Periphery)	สีน้ำตาล-สีดำ	เป็นรอยขรุขระแบบสลับฟันปลา ที่ตรงขอบนอกสุดของกระดาษ

ที่มา Hertelendy, 1974

2.4.4.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในส่วนที่สกัดจากน้ำ

Chanyasak et al. (1983) ได้ทำการทดลองแล้วพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในส่วนที่สกัดจากน้ำ ที่นำมาใช้พิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมักนั้นควรอยู่ในช่วง 5-6

2.4.4.3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสุดท้ายต่ออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น

AGHTM (1975) ได้รายงานว่าเมื่อปุ๋ยเริ่มได้ที่แล้วที่ระยะเวลามากกว่า 120 วัน พบว่าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสุดท้าย ต่อ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น มีค่าน้อยกว่า 0.75 และเมื่อทำการหมักต่อไปจนถึงระยะเวลา 180 วัน ค่าดังกล่าวจะเท่ากับ 0.6 ดังนั้นจึงใช้ค่านี้มาพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมัก

2.4.4.4 พีเอช

ในช่วงเริ่มแรกของการหมัก ค่าพีเอชลดลงเล็กน้อยจนถึงค่าประมาณ 5 และต่อมาก็เพิ่มขึ้นเมื่อวัสดุถูกย่อยสลายและเริ่มเสถียรภาพ จนในที่สุดค่าพีเอชก็รักษาระดับอยู่ในช่วง 7-8 ตลอดสิ้นสุดกระบวนการหมัก (Gray et al., 1971)

Jann et al. (1959) ได้เสนอการทดสอบ เพื่อหาการได้ที่ของปุ๋ยโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารอินทรีย์ที่บ่มภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 55° ซ ซึ่งพบว่าถ้าหากปุ๋ยได้ที่เพียงพอก็จะให้ค่าพีเอชออกมาในช่วงที่เป็นด่าง

2.4.4.5 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก

Harada et al. (1981) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก ซึ่งพบว่าเมื่อเริ่มต้นในการหมักมีค่า 40 มิลลิอิควิวาเลนต่อ 100 กรัม จากนั้นก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักค่าก็เริ่มคงที่ที่ 80 มิลลิอิควิวาเลนต่อ 100 กรัม หลังจากสัปดาห์ที่ 12 ของการหมัก นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนดังสมการที่ 6 และได้สรุปไว้ว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ที่นั้นต้องมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวกต่ำที่สุดเท่ากับ 60 มิลลิอิควิวาเลนต่อ 100 กรัม

$$\ln CEC = 6.97 - (1.01 \ln C/N) \quad (6)$$

โดยที่ CEC = ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก

C/N = อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

2.4.4.6 การไม่มีสารประกอบที่ทำลายสิ่งแวดล้อมหลงเหลืออยู่

Spohn (1978) กล่าวไว้ว่าปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้ว เมื่อนำมาทดสอบหาแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะต้องไม่พบสารดังกล่าว ขณะที่ Chanyasak et al. (1983) ก็กล่าวเช่นเดียวกันว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ที่นั้นจะต้องไม่มีกรดอินทรีย์เช่น กรดอะซิติก หลงเหลืออยู่

2.4.4.7 การมีไนไตรท์และไนเตรทเกิดขึ้น

Finstein and Miller (1985) ได้นิยามหลักการการได้ที่ของปุ๋ยในเทอมของไนตริฟิเคชั่นไว้ว่าต้องมีการเกิดไนไตรท์ และไนเตรทขึ้น จึงถือว่าปุ๋ยหมักนั้นได้ที่แล้ว

ได้มีการทำการทดลองกระบวนการหมักแบบเติมอากาศ พบว่าจะเกิดไนไตรท์ได้ในช่วงระยะเวลา 86-113 วัน และเกิดไนเตรทในช่วงระยะเวลา 96-123 วัน หรืออาจสรุปได้ว่าจะเกิดสารประกอบไนโตรเจนทั้งสองรูปแบบได้เมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไป 3-4 เดือน

2.4.5 การทดสอบทางด้านชีวภาพ

Zucconi et al. (1981) ได้ทำการทดลองเพื่อหาดีกรีของการได้ที่ของปุ๋ยหมัก โดยใช้ *Lepidium Sativum* L. เป็นซีด (Seed) และพบว่าดัชนีเจอร์มิเนชั่น (Germination Index) ต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 50 จึงจะเป็นดีกรีที่ยอมรับได้ว่าปุ๋ยนั้นได้ที่แล้ว

2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Polprasert et al. (1991) ได้ทำการวิจัยการหมักปุ๋ยแบบวินด์โรว์ชนิดที่ไม่มีการพลิกกลับกองปุ๋ยและมีการเติมอากาศตามธรรมชาติโดยใช้ไม้ไผ่เจาะรูเสียบเข้าไปในกองปุ๋ยหมัก วัสดุที่เป็นของเสียหลักที่นำมาหมักคือ ผักตบชวาที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ (ยาว 1-2 ซม.) ที่มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 20 และไนโตรเจนร้อยละ 1.6 อุจจาระปนปัสสาวะของหมูที่มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 8 และไนโตรเจนร้อยละ 3.8 ส่วนวัสดุที่ใช้ช่วยปรับค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเพื่อให้มีค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมในการหมักคือ ใบไม้ ที่มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 60 และไนโตรเจนร้อยละ 5.5 นอกจากนี้ยังใช้ฟางข้าวคลุมกองปุ๋ยเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน การหมักปุ๋ยได้ทำ 2 กองคือ กองที่ 1 มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 25 ส่วนกองที่ 2 มีค่า 30 และทั้งสองกองควบคุมค่าความชื้นไว้ที่ช่วงร้อยละ 60-70 ในช่วงสองสัปดาห์แรกของการหมักโดยใช้วิธีการพ่นน้ำ

ผลการศึกษาอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยพบว่าในช่วง 2-3 วันแรกของการหมัก อุณหภูมิของทั้งสองกองสามารถขึ้นสูงถึง 53-60 $^{\circ}$ ซ ซึ่งมีผลในการฆ่าเชื้อโรคได้ดี และหลังจากนั้นอุณหภูมิของทั้งสองกองก็ลดลงอย่างรวดเร็ว จนลงมาถึงในระดับอุณหภูมิบรรยากาศที่ 30 $^{\circ}$ ซ ภายในระยะเวลา 30 วัน จากตารางที่ 3 แสดงค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทั้งสองกองที่ลดลงภายหลังจากการหมักเป็นระยะเวลา 30 และ 80 วัน ส่วนค่าไนโตรเจนของทั้งสองกองภายหลังระยะเวลาในการหมัก 30 วัน มีค่าประมาณร้อยละ 1.9 และค่าฟอสฟอรัสของทั้งสองกองภายหลังระยะเวลาในการหมัก 30 วัน มีค่าประมาณร้อยละ 1.2 จากการทดลองได้สรุปว่าสามารถนำผักตบชวามาผสมกับอุจจาระปนปัสสาวะของหมู แล้วใช้ใบไม้ปรับค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นให้เหมาะสมตามต้องการเพื่อทำปุ๋ยหมักได้ โดยค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่เหมาะสมนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่ค่า 25 และ 30

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของทั้งสองกองปุ๋ยหมักที่ระยะเวลาในการหมัก 30 และ 80 วัน

Composition (Dry weight)	C/N ratio = 25		C/N ratio = 30	
	30 Days of composting	80 Days of composting	30 Days of composting	80 Days of composting
% 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

McGarry and Stainforth (1978) ได้รายงานว่าการหมักปุ๋ยอาจใช้วิธีการหมักอย่างง่ายๆ แบบชาวจีนโดยใช้ อุจจาระคน อุจจาระปนปัสสาวะสัตว์ เศษพืชผัก และดิน ภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนด้วยวิธี Ground-surface Continuous Aerobic Composting Pile วิธีดังกล่าวมีการใช้ไม้ไผ่ 8 ท่อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 ซม. เสียบเข้าไปในกองปุ๋ย (4 ท่อนในแนวนอน และอีก 4 ท่อนในแนวตั้ง) ระยะห่างของไม้ในแนวนอนคือ 1 ม. สัดส่วนของกองปุ๋ยคือกว้าง 2 ม. x ยาว 2 ม. x สูง 0.5 ม. และคลุมด้วยดินอีกทีหนึ่ง วิธีนี้ไม่ต้องทำการพลิกกลับกองปุ๋ยหมัก เมื่อดินที่คลุมแห้งลง โครงสร้างของกองปุ๋ยก็แข็งแรงขึ้นจึงสามารถดึงไม้ออกไปได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าใช้เวลาในการหมักประมาณ 60 วัน และปุ๋ยที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อการปรับสภาพของดิน นอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละ 90 ของไข่พยาธิ *Ascaric Ova* ก็ถูกฆ่าตายด้วย

พาร์ดี จิตนุยานนท์ (2537) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำขยะเทศบาลในจังหวัดเชียงใหม่มาหมักโดยวิธีการเติมอากาศด้วยเครื่องเป่าลมจำนวน 4 ตัว กองปุ๋ยมีขนาดกว้าง 3 ม. x ยาว 8 ม. x สูง 1 ม. อัตราการเติมอากาศถูกควบคุมด้วยการเปิด-ปิดเครื่องเป่าลมซึ่งจะเปิดเมื่ออุณหภูมิภายในกองต่ำกว่า 25 $^{\circ}$ ซ หรือสูงกว่า 45 $^{\circ}$ ซ หรือเมื่อปริมาณของก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 15 วัสดุที่นำมาใช้ในการหมัก คือ ขยะจากเทศบาล เศษไม้ที่ได้จากการไสกบ ปุ๋ยยูเรีย (ใช้เพื่อปรับค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน) และปุ๋ยที่เป็นเชื้อ (เป็นปุ๋ยหมักที่ได้จากพื้นที่ฝังกลบ) การทดลองแบ่งเป็น 2 ครั้ง คือ ในครั้งแรกใช้ปุ๋ยที่เป็นเชื้อที่ได้จากพื้นที่ฝังกลบและมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 20 ส่วนในครั้งที่ 2 ใช้ปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักในครั้งแรกเป็นปุ๋ยต่อเชื้อและมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 24 จากผลการวิเคราะห์พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้มี ความชื้นร้อยละ 44-60 ไนโตรเจนร้อยละ 0.89-1.12 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.36-0.42 โปแตสเซียมร้อยละ 1.05-1.80 คาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 15.24-18.08 คาร์บอนต่อไนโตรเจน 16.14-17.12 พีเอช 8.45-8.85 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก 13.44-17.36 มิลลิอีควิวาแลนท์ต่อ 100 กรัม ความเข้มข้นของโลหะหนักในหน่วย มก./กก. ของตะกั่วมีค่า 100.5-191.2 ทองแดงมีค่า 302.5-390.8 โครเมียมมีค่า 16.20-29.27 สังกะสีมีค่า 566.4-1167 แคดเมียมมีค่า 2.10-4.02 และนิเกิลมีค่า 16.60-40.56 การลดลงของมวลขยะมีค่าร้อยละ 56-58 และการลดลงของมวลขยะหลังจากการร่อนเอาส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ออกไปมีค่าร้อยละ 80 ผู้ทำการศึกษาได้สรุปว่าการนำขยะจากเทศบาลของจังหวัดเชียงใหม่มาทำปุ๋ยหมักโดยวิธีการเติมอากาศจากเครื่องเป่าลมนั้นมีความเป็นไปได้มาก เพราะว่าปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้เมื่อเทียบกับปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักขยะที่เคยมีการศึกษามาแล้ว ซึ่งการหมักโดยวิธีนี้ใช้อัตราการเติมอากาศเป็นปัจจัยที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงเมโซฟิลิกและปริมาณของก๊าซออกซิเจนไว้ในช่วงที่ต้องการได้ตลอดระยะเวลาการหมัก

เธย์ นนทประสาท และ สถิตย์ อุลิดสถิตย์ (2538) ได้ทำการหมักปุ๋ยจากขยะครัวเรือนโดยนำเอาขยะประเภทสารอินทรีย์จำพวกเศษอาหารและเศษผักจากโรงอาหารภายในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มาทำการหมักตามกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน การทดลองทำในถังพลาสติกที่มีปริมาตร 53 ลิตร ซึ่งเจาะรูโดยรอบเพื่อเป็นช่องทางให้อากาศถ่ายเทเข้าไปได้ และมีฝาปิดเพื่อป้องกันแมลงและกลิ่นรบกวน การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ขยะผสมขี้เลื่อยในอัตราส่วน 1000:500 ก. ตามลำดับ และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 12.45 ส่วนชุดที่ 2 ขยะผสมขี้เลื่อยและผสมมูลวัวในอัตราส่วน 1000:450:300 ก. ตามลำดับ และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 11.73 ในการศึกษาได้มีการเปรียบเทียบผลการพลิกกลับมูลฝอยทุกๆ 7 วัน 15 วัน และการไม่พลิกกลับต่อกระบวนการหมัก ในระหว่างการหมักทำการวัดอุณหภูมิ ปริมาณของก๊าซออกซิเจน พีเอช และความชื้น นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ผลการหมักที่ระยะเวลาในการหมัก 60 และ 90 วัน สำหรับขยะชุดที่ 1 และผลการหมักที่ระยะเวลาในการหมัก 50 วัน สำหรับขยะชุดที่ 2 ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ก) อุณหภูมิ ในช่วงสัปดาห์แรกของการหมักอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35-45 $^{\circ}$ซ และอุณหภูมิลดลงหลังจากนั้น จนเมื่อสิ้นสุดการหมักอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26-30 $^{\circ}$ซ

ข) ปริมาณของก๊าซออกซิเจน ตลอดระยะเวลาในการหมักปริมาณของก๊าซออกซิเจนมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 13 ของอากาศ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและเพียงพอต่อกระบวนการเมตตาโบลิซึมและกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน

ค) ความชื้น ความชื้นในถังหมักอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก

ง) พีเอช ตลอดระยะเวลาในการหมักค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6-8 ซึ่งเหมาะสมต่อสภาพการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์

จ) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก 50 วัน สำหรับขยะชุดที่ 2 และ 60 และ 90 วัน สำหรับขยะชุดที่ 1 ปุ๋ยมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน 23-30, 45-48 และ 16-20 ตามลำดับ

ฉ) ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โปแตสเซียม

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก 50 วัน สำหรับขยะชุดที่ 2 และ 60 และ 90 วัน สำหรับขยะชุดที่ 1 ปุ๋ยมีไนโตรเจนร้อยละ 0.70-1.05, 0.49-0.58 และ 1.09-1.30 ตามลำดับ

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก 50 วัน สำหรับขยะชุดที่ 2 และ 60 และ 90 วัน สำหรับขยะชุดที่ 1 ปุ๋ยมีฟอสฟอรัสร้อยละ 0.09-0.16, 0.04-0.05 และ 0.04-0.09 ตามลำดับ

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก 50 วัน สำหรับขยะชุดที่ 2 และ 60 และ 90 วัน สำหรับขยะชุดที่ 1 ปุ๋ยมีโปแตสเซียมร้อยละ 0.25-0.48, 0.40-0.52 และ 0.31-0.70 ตามลำดับ

ช) การลดลงของมวลขยะ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก 50 วัน สำหรับขยะชุดที่ 2 และ 60 และ 90 วัน สำหรับขยะชุดที่ 1 มวลของขยะลดลงร้อยละ 40-50, 45-50 และ 55-60 ตามลำดับ

Loizidou and Valkanas (1992) ได้ทำการหมักปุ๋ยด้วยขยะจากชุมชนในประเทศกรีก การหมักทำในช่วงเดือนพฤษภาคม-เดือนกันยายน ค.ศ. 1989 และมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ยในช่วง 20-35 ° ซ ขยะที่ได้มีพวกพืชผัก เศษอาหาร เศษผลไม้ และกระดาษเป็นต้น ขยะที่มีชิ้นใหญ่ๆจะถูกแยกออก แล้วส่วนที่เหลือนำไปผ่านตะแกรงขนาด 20 มม. ส่วนที่ผ่านตะแกรงนำไปทำการหมักด้วยวิธีวินด์โรว์โดยทำให้กองปุ๋ยมีความสูง 1.8 ม. เปิดโล่งทุกด้าน และมีการพลิกกลับกองปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง นอกจากนี้ยังได้มีการควบคุมความชื้นไม่ให้ต่ำกว่าร้อยละ 50 ตลอดการหมักโดยการเติมน้ำ การหมักแบ่งเป็น 4 กอง ซึ่งขยะแต่ละกองนำมาจากพื้นที่ที่ประชาชนที่อาศัยอยู่มีกิจกรรมในการดำรงชีวิต ระดับการศึกษา และระดับคุณภาพชีวิตที่แตกต่างกันไป พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิ พีเอช ความชื้น ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท สารอินทรีย์คาร์บอน สารอินทรีย์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เซลลูโลส และลิกนิน ผลการทดลองของทั้ง 4 กอง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่เหมือนกันซึ่งสามารถสรุปรวมกันได้ดังต่อไปนี้

ก) อุณหภูมิ อุณหภูมิในกองปุ๋ยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 60-70 ° ซ ภายในระยะเวลา 20 วัน จึงได้ทำการพลิกกลับกองปุ๋ยและเติมน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40-60 ° ซ ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก จากนั้นอุณหภูมิก็เริ่มลดลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศในช่วง 25-30 ° ซ ที่ระยะเวลาในการหมัก 100 วัน ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นในระหว่างการหมักนั้นได้ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคในช่วงเริ่มต้นของการหมัก

ข) พีเอช ในช่วงแรกของการหมักพีเอชมีค่าต่ำอยู่ในช่วง 5.5-6.0 ที่ระยะเวลาในการหมัก 10 วัน จากนั้นพีเอชก็เริ่มเพิ่มขึ้นไปจนถึงช่วง 8.5-9.0 ที่ระยะเวลาในการหมัก 40 วัน ท้ายที่สุดพีเอชก็ลดลงจนอยู่ในระดับค่อนข้างคงที่ในช่วง 7.3-8.0 ที่ระยะเวลาในการหมัก 105 วัน

ค) ความชื้น ในช่วงสัปดาห์แรกความชื้นของกองปุ๋ยมีค่าสูงในช่วงร้อยละ 70-73 เมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์ ความชื้นลดลงจนอยู่ในช่วงร้อยละ 46-48 จึงต้องเติมน้ำเพื่อรักษาความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก

ง) ไนโตรเจนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมดได้เพิ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์แรกของการหมักเนื่องมาจากการย่อยสลายและจากการตรึงเอาไนโตรเจนจากบรรยากาศโดยอะโซโตแบคทีเรีย จนเมื่อปุ๋ยหมักได้ที่แล้วปุ๋ยที่ได้มีไนโตรเจนทั้งหมดในช่วงร้อยละ 1.55-2.14

จ) แอมโมเนีย แอมโมเนียได้เพิ่มสูงสุดในช่วง 2-4 สัปดาห์แรกของการหมัก คือ มีค่าสูงถึง 1,920-2,228 มก./กก.น้ำหนักแห้ง ซึ่งทำให้มีการระเหยสู่บรรยากาศไปเป็นจำนวนมาก และในที่สุดแอมโมเนียก็ได้ลดต่ำลงน้อยกว่า 100 มก./กก.น้ำหนักแห้ง ตั้งแต่วันที่ 50 ของการหมัก

ฉ) ไนไตรท์ ไนไตรท์ได้เพิ่มจนมีค่าสูงสุดในช่วง 136-163 มก./กก.น้ำหนักแห้ง ที่ระยะเวลาในการหมัก 50 วัน จากนั้นค่าก็ลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลืออยู่ในช่วง 4.3-16.4 มก./กก.น้ำหนักแห้ง เมื่อสิ้นสุดการหมัก

ช) ไนเตรท ในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการหมักปฏิกริยาไนตริฟิเคชั่นยังไม่เกิดขึ้น แต่หลังจากนั้น ไนตริฟายอิงแบคทีเรียก็เริ่มทำงานจนทำให้เกิดไนเตรทเพิ่มขึ้นไปอยู่ในช่วง 264-541 มก./กก. น้ำหนักแห้ง เมื่อสิ้นสุดการหมัก

ซ) สารอินทรีย์คาร์บอน ในช่วงแรกของการหมักสารอินทรีย์คาร์บอนมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 35- 38 และเมื่อสิ้นสุดการหมักปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนได้ลดลงเหลือในช่วงร้อยละ 25-28

ฌ) สารอินทรีย์ ในช่วงแรกของการหมักสารอินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 70-76 และเมื่อสิ้นสุดการหมักปริมาณสารอินทรียได้ลดลงเหลือในช่วงร้อยละ 50-56

ญ) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในช่วงเริ่มต้นของการหมักอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 22-32 และเมื่อสิ้นสุดการหมักค่านี้ได้ลดลงอยู่ในช่วง 13-15 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการเกษตรกรรม

ฏ) เซลลูโลสและลิกนิน สารอินทรีย์ในขยะเดิมมีพวกเซลลูโลสและลิกนินอยู่ ซึ่งอัตราการย่อยสลายของเซลลูโลสได้เกิดขึ้นเร็วกว่าลิกนินมาก จากระยะเวลาในการหมักที่ 50 วัน พบว่าสามารถลดเซลลูโลสได้ถึงร้อยละ 45-53 ขณะที่ลิกนินลดลงได้เพียงร้อยละ 1.1-2.7 เท่านั้น เมื่อสิ้นสุดการหมักแล้วเซลลูโลสส่วนมากถูกย่อยสลายได้เกือบหมดขณะที่ลิกนินถูกย่อยสลายได้ยากมาก

Mato et al. (1993) ได้ทำการหมักปุ๋ยที่มีขนาดน้อยกว่า 100 มม. จากขยะชุมชนโดยใช้วิธีการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยหมักด้วยปั๊มหอยโข่งและไม่มีการพลิกกลับกองปุ๋ย วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของขนาดของวัสดุที่นำมาทำการหมักและการคลุมกองปุ๋ยด้วยพลาสติกว่ามีผลต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักอย่างไร โดยนำขยะที่ผ่านการร่อนตะแกรงขนาด 100 มม. มากองด้วยขนาดกว้าง 3 ม. x ยาว 3 ม. x สูง 1.25 ม. จำนวน 2 กอง กองแรกใช้พลาสติกคลุมกันฝนแต่เปิดด้านหัวและท้ายกอง ส่วนกองที่สองไม่มีการคลุมด้วยพลาสติก ทั้งสองกองมีการต่อท่อพลาสติกพีวีซีเข้าไปและปั๊มลมโดยเครื่องเป่าลมแบบปั๊มหอยโข่งซึ่งการทำงานของปั๊มนี้ได้ถูกควบคุมให้ทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 65 $^{\circ}$ ซ จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ก) อุณหภูมิ อุณหภูมิของกองปุ๋ยทั้งสองกองได้เพิ่มขึ้นถึงช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิคได้และพบว่าอุณหภูมิของกองที่คลุมพลาสติกอยู่ในช่วง 60-65 $^{\circ}$ ซ ซึ่งใกล้เคียงกับที่ควบคุมไว้และเป็น

อุณหภูมิที่เหมาะสมกับกองปุ๋ยที่ไม่มีการพลิกกลับ ส่วนกองที่ไม่ได้คลุมนั้นมีอุณหภูมิในช่วงกว้างกว่า คือ 35-65 ° ซ เนื่องมาจากการระบายอากาศที่มากเกินไป และเมื่อการควบคุมอุณหภูมิสิ้นสุดลง อุณหภูมิด้านนอกของทั้งสองกองสามารถลดลงได้เร็วกว่าด้านใน

ข) ปริมาณของก๊าซออกซิเจน ผลการศึกษาพบว่าระดับออกซิเจนในกองปุ๋ยทั้งสองกองมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 10 ซึ่งเป็นระดับที่รับรองได้ว่าเกิดการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน

ค) ความชื้น พบว่าความชื้นในกองที่คลุมพลาสติกมีค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 10 ส่วนกองที่ไม่ได้คลุมพลาสติกฝนได้ช่วยรักษาความชื้นให้อยู่ในค่าที่ไม่ต่ำเกินไป คือ มีค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 20

ง) พีเอช ค่าพีเอชของทั้งสองกองอยู่ในช่วง 6.5-8.0 และเมื่อสิ้นสุดการหมักค่าพีเอชมักเป็นกลางหรืออาจเป็นด่างเล็กน้อย

จ) ไนโตรเจนทั้งหมด ค่าไนโตรเจนทั้งหมดของทั้งสองกองได้ลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการระเหยของแอมโมเนียในตอนเริ่มต้นของการหมัก ซึ่งพบว่ากองที่คลุมพลาสติกค่าเริ่มต้นในการหมักคือร้อยละ 1.84 และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าร้อยละ 1.41 ส่วนกองที่ไม่ได้คลุมพลาสติกค่าเริ่มต้นในการหมักคือร้อยละ 1.84 และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าร้อยละ 1.74

ฉ) แอมโมเนีย กองที่คลุมพลาสติกมีปริมาณแอมโมเนียเริ่มต้นในการหมัก 175 ppm และเมื่อสิ้นสุดการหมักแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 400 ppm ส่วนกองที่ไม่ได้คลุมพลาสติกมีปริมาณแอมโมเนียเริ่มต้นในการหมัก 175 ppm และเมื่อสิ้นสุดการหมักแอมโมเนียมีค่าลดลงเป็น 75 ppm

ช) สารอินทรีย์ สารอินทรีย์แสดงถึงสารอาหารเพื่อปรับปรุงสภาพของดิน ซึ่งค่าของทั้งสองกองมีการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกันมาก คือ มีปริมาณสารอินทรีย์เริ่มต้นในการหมักร้อยละ 36 และเมื่อสิ้นสุดการหมักสารอินทรีย์มีค่าลดลงเป็นร้อยละ 25-26

ซ) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน จากการทดลองในครั้งนี้ไม่สามารถใช้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นตัวบอกจุดสิ้นสุดในการหมักได้ง่ายนัก เพราะว่าในตอนเริ่มต้นการหมักอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าที่ค่อนข้างต่ำอยู่แล้ว คือ กองที่คลุมพลาสติกมีค่า C/N เริ่มต้นในการหมัก 9.7 และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าลดลงเหลือ 8.8 ส่วนกองที่ไม่ได้คลุมพลาสติกมีค่า C/N เริ่มต้นในการหมัก 9.7 และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าลดลงเป็น 7.4

ฌ) ฟอสฟอรัส ผลการศึกษาพบว่ากองที่คลุมพลาสติกปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นในการหมักมีค่าร้อยละ 0.40 และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 0.32 ส่วนกองที่ไม่ได้คลุมพลาสติก ปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นในการหมักคือร้อยละ 0.40 และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.66

ญ) โลหะหนัก โลหะหนักที่ทำการตรวจหาคือ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท สังกะสี และนิเกิล ซึ่งพบว่าในระหว่างการหมักความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้นทั้งสองกอง แต่ในกองที่ไม่ได้คลุม

พลาสติกนั้นมีการเพิ่มขึ้นของโลหะหนักที่มากกว่า การเพิ่มขึ้นของโลหะหนักในปุ๋ยมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์และอาจมาจากการเจือปนของสี พลาสติก และโลหะต่างๆด้วย

Thambirajah (1988) ได้ทำการหมักปุ๋ยจากของเสียทางการเกษตรที่เกิดขึ้นมากในเขตพื้นที่ชนบทซึ่งของเสียดังกล่าวได้แก่ เยื่อปาล์ม ขี้เลื่อยจากไม้ยาง และหญ้า เป็นต้น ของเสียจากการเกษตรนี้ส่วนใหญ่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงคือประมาณ 70 ดังนั้นในการหมักจึงต้องนำมูลสัตว์ เช่น มูลวัว มูลควาย หรือมูลแกะ มาผสมเข้ากับของเสียทางการเกษตรเพื่อลดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของของผสมเพื่อให้เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก การศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งกองปุ๋ยหมักออกเป็น 3 กอง คือ กองที่ 1 ประกอบด้วย เยื่อปาล์ม 250 กก. ผสมกับ มูลวัว 50 กก. และเติมยูเรีย 0.5 กก. กองที่ 2 ประกอบด้วย หญ้า 50 กก. ผสมกับ มูลวัว 25 กก. กองที่ 3 ประกอบด้วย ขี้เลื่อยจากไม้ยาง 50 กก. ผสมกับ มูลวัว 25 กก. วิธีการหมักที่ใช้เป็นแบบวินด์โรว์ที่มีการพลิกกลับกองปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง มีการควบคุมความชื้นของทุกๆกองที่ค่าร้อยละ 65 โดยการเติมน้ำ และใช้ระยะเวลาในการหมักทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ ก่อนการพลิกกลับกองปุ๋ยในแต่ละสัปดาห์ได้มีการสุ่มเก็บตัวอย่างจากหลายๆจุดที่บริเวณกลางกองปุ๋ยหมัก ตัวอย่างที่เก็บได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกได้ทำการวิเคราะห์ทางชีวภาพโดยการหาเทอร์โมฟิลัสฟังไจ และส่วนที่สองวิเคราะห์ทางเคมีโดยการหาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ส่วนการวัดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยนั้นได้ดำเนินการวัดทุกวันโดยการเสียบเทอร์โมมิเตอร์ที่มีโพรบวัดยาวประมาณ 12 นิ้ว เข้าไปในกลางกองปุ๋ยหมักแต่ละกอง จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ก) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เมื่อสิ้นสุดการหมักในสัปดาห์ที่ 8 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทั้งสามกองอยู่ระหว่าง 14-18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสารอินทรีย์ในปริมาณที่เพียงพอในแต่ละกองที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรและสามารถนำไปใช้ประโยชน์แก่พืชได้

ข) อุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละกองอธิบายได้ดังนี้

กองที่ 1 : อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมง และหลังจากผ่านไป 1 สัปดาห์ อุณหภูมิก็ขึ้นสูงถึง 70 °ซ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ พอหลังจากนั้นอุณหภูมิก็ลดลงจนถึงอุณหภูมิของบรรยากาศที่ 30 °ซ ในระยะเวลา 8 สัปดาห์

กองที่ 2 : อุณหภูมิของกองที่ 2 ขึ้นได้ไม่สูงนัก คือ ขึ้นได้ถึง 43 °ซ ภายใน 24 ชั่วโมงและสามารถขึ้นได้สูงสุดเพียงแค่ 48 °ซ ที่ระยะเวลา 3 วัน จากนั้นอุณหภูมิก็เริ่มลดลงเรื่อยๆจนถึงอุณหภูมิบรรยากาศที่ระยะเวลา 3 สัปดาห์ และค่อนข้างคงที่อยู่ที่ระดับนี้ตลอดจน

สิ้นสุดระยะเวลาการหมักซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายหญ้าผสมกับมูลวัวได้อย่างดี จึงไม่เกิดความร้อนสะสมภายในกองปุ๋ยมากนัก

กองที่ 3 : อุณหภูมิของกองที่ 3 ขึ้นได้สูงถึง 62 ° ซ ในระยะเวลา 9 วัน และภายในกองปุ๋ยสามารถสะสมความร้อนที่อุณหภูมิ 40-50 ° ซ ไว้ได้ตลอด 7 สัปดาห์ หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 8 อุณหภูมิก็ลดลงจนถึงอุณหภูมิบรรยากาศ ซึ่งชี้ให้เห็นได้ว่าสามารถใช้ขี้เลื่อยเป็นตัวกลางช่วยในกระบวนการหมักได้ดีเพราะว่าช่วยรักษาความร้อนของกองปุ๋ยหมักไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ค) เทอร์โมฟิลัสฟังไจ ฟังไจในรูปของเทอร์โมฟิลัสฟังไจนั้นสามารถช่วยให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายเป็นไปด้วยดี นอกจากนี้ยังเป็นตัวก่อให้เกิดความร้อนแก่อินทรีย์วัตถุด้วย ฟังไจชนิดนี้สามารถทำให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยมีค่าได้ในช่วง 30-50 ° ซ ซึ่งมีหลายสปีชีส์ ได้แก่ *Aspergillus Fumigatus, Penicillium, Chaetomium, Thermophile* และ *Humicola Lanuginosa* ฟังไจดังกล่าวนี้สามารถสร้างเอ็นไซม์ที่ช่วยในการย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี กล่าวคือ สามารถทำให้พืชที่มีโพลิเมอร์โมเลกุลสูงแตกตัวเป็นโมเลกุลที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์อื่นๆในกระบวนการหมักได้ต่อไป ดังนั้นจึงเห็นได้ว่ากลุ่มเทอร์โมฟังไจนี้มีประโยชน์ในกระบวนการหมักมาก และจากผลการทดลอง การนับจำนวนเทอร์โมฟิลัสฟังไจพบว่ามีค่า Log Number เท่ากับ 10^3-10^6 ในกองที่ 1, 10^4 ในกองที่ 2 และ 10^5 ในกองที่ 3

Giovanni Vallini and Antonio Pera (1988) ได้ทำการผลิตปุ๋ยพืชสด (Green Compost) จากเศษพืชผักที่เก็บแยกมาจากตลาดที่จำหน่ายผลิตผลทางการเกษตร ในเมืองฟลอเรนซ์ ประเทศอิตาลี โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ปุ๋ยที่สามารถนำไปใช้ปรับสภาพดินที่ใช้ทำการเกษตรกรรมต่อไป เศษพืชผักถูกทำให้มีขนาดลดลงโดยการนำไปเกลี่ยกระจายออกบนลานคอนกรีต แล้วใช้รถตัดวิ่งซ้ำไปมาหลายๆรอบ จนกระทั่งได้ขนาดของวัสดุที่จะนำไปหมักมีขนาด 1-5 ซม. จากนั้นก็นำวัสดุดังกล่าวซึ่งมีปริมาณ 3 ตัน มากองให้มีความสูง 1.5 ม. เพื่อทำการหมักแบบวินด์โรว์ที่มีการเติมอากาศจากเครื่องเป่าลมและผ่านมาตามท่อพลาสติกเข้าข้างใต้กองปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งหน่วยควบคุมอุณหภูมิซึ่งเป็นตัวควบคุมระบบการเติมอากาศอีกด้วย โดยมีตัววัดอุณหภูมิเสียบเข้าไปกลางกองปุ๋ยและมีการตั้งโปรแกรมไว้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 55 ° ซ พัดลมก็จะทำงานตลอดเวลาตราบจนอุณหภูมิต่ำกว่า 55 ° ซ เมื่อไรพัดลมก็จะทำงาน 2 นาทีจากทุกๆ 10 นาที อัตราการเติมอากาศจากพัดลมที่มีขนาดใบพัด 6.5 นิ้ว ความเร็วรอบ 2,500 รอบ/นาที คือ 605 ลบ.ม./ชม. จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

ก) อุณหภูมิ จากการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 10, 50 และ 90 ซม. ตามลำดับ จากผิวด้านบนพบว่าทุกตำแหน่งที่ทำการวัดนั้น มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันคือ เมื่อตอนเริ่มต้นในระยะ 8 วันแรก อุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-29 ° ซ พอหลังจากวันที่ 10 อุณหภูมิก็เพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็วจนถึง 55-60 $^{\circ}$ ซ ที่ระยะเวลา 17 วัน แต่หลังจากนั้นอุณหภูมิก็เริ่มลดลงจนถึง 23-27 $^{\circ}$ ซ เมื่อถึงระยะเวลา 40 วันของการหมัก

ข) ความชื้น ค่าความชื้นลดลงจากร้อยละ 82.4 เหลือ 43.6 ภายในระยะเวลา 30 วัน ของการหมัก ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ากลไกสำคัญในการลดลงของน้ำคือการระเหยที่เกิดจากความร้อนภายในกองปุ๋ย

ค) พีเอช ตลอดกระบวนการหมัก ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 4.7 จนถึง 8.6 ที่ระยะเวลาในการหมัก 40 วัน

ง) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ค่าเริ่มต้นในการหมักคือ 20.9 หลังจากนั้นก็เริ่มลดลงอย่างเด่นชัดภายในช่วงระยะเวลา 20-30 วันแรกของการหมัก จนถึงค่า 18.6 เมื่อระยะเวลาในการหมัก 40 วัน ซึ่งค่าดังกล่าวที่ 18.6 ของปุ๋ยพืชสดนี้มีค่าใกล้เคียงกับปุ๋ยที่ผลิตจากมูลวัวซึ่งเป็นปุ๋ยที่มีขายตามท้องตลาดเพื่อใช้ในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน

จ) เถ้า ภายในระยะเวลา 40 วันของการหมัก เถ้าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 26.83 เป็น 38.97 โดยน้ำหนักแห้ง

ฉ) จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ จากการตรวจนับจำนวนประชากรของจุลินทรีย์พบว่าแบคทีเรียชนิดที่ใช้ออกซิเจนทั้งหมดมีค่าเริ่มต้นที่ 5.3×10^{11} เซล/กรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่าเพิ่มเป็น 4.2×10^{12} เซล/กรัมน้ำหนักแห้ง ที่ระยะเวลาในการหมัก 40 วัน ส่วนแบคทีเรียที่สำคัญอีกชนิดคือแอคติโนมัยซีสซึ่งเป็นแบคทีเรียที่บ่งบอกถึงการได้ที่ของปุ๋ยหมัก มีค่าเริ่มต้นที่ 3.3×10^{4} เซล/กรัมน้ำหนักแห้ง และเพิ่มขึ้นเป็น 1.5×10^{7} เซล/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัว ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าระบบการเติมอากาศอย่างมีประสิทธิภาพนี้มีผลดีต่ออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดแอคติโนมัยซีสแบคทีเรียเป็นอย่างมาก

เมื่อนำปุ๋ยพืชสดภายหลังจากการหมัก 40 วัน มาร่อนผ่านตะแกรงพบว่ามีปุ๋ยขนาดน้อยกว่า 1 ซม. ร้อยละ 41.5 ปุ๋ยขนาดใหญ่กว่า 3 ซม. ร้อยละ 48.8 วัสดุพวกไม้ ร้อยละ 6.7 และพลาสติก ร้อยละ 2.9 ซึ่งเห็นได้ว่าการใช้รถตัดเศษพืชผักในช่วงการเตรียมการก่อนการหมักนั้นไม่สามารถลดขนาดของเศษพืชผักได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามปุ๋ยพืชสดที่ได้นั้นก็มีคุณภาพเป็นที่น่าพอใจ