

เรียน คุณชนากานต์ แยมฎีกา
บทความที่ส่งคำขอมาได้แก่

"เทคโนโลยีชีวภาพกับปุ๋ยอินทรีย์" / พิทยากร ลิ่มทอง
เมืองเกษตร. ปีที่ 12, ฉบับที่ 133 (ต.ค. 2542), หน้า 69-73
เมืองเกษตร. ปีที่ 12, ฉบับที่ 134 (พ.ย. 2542), หน้า 87-90
ได้ไม่ครบหน้านะคะ

เนื่องจากบทความนี้ลงในวารสารแบ่งเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 ฉบับที่ 133
และ ตอนที่ 2 ฉบับที่ 134 แต่ฉบับที่ 134 ค้นหาที่ขึ้นไม่พบ แต่ได้บทความ
ชื่อเรื่องเดียวกัน ผู้แต่งคนเดียวกัน แต่เป็นวารสารดินและปุ๋ย เนื้อหาเริ่ม
ต้นเหมือนกันเลย ลองอ่านดูก่อนนะคะ
สามารถสอบถามเพิ่มเติมได้ทางแชท m.me/mjulibrary นะคะ

เทคโนโลยี

ชีวภาพ

กับปุ๋ยอินทรีย์

โดยหลักการทั่วไปเทคโนโลยีชีวภาพ(biotechnology) หมายถึงกลุ่มของเทคโนโลยีที่ใช้กระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตหรือผลิตจากสิ่งมีชีวิตเพื่อประโยชน์ของมนุษย์ซึ่งกระบวนการดังกล่าวอาจจะเกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตนั้นหรืออาจจะเป็นกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่อาศัยพื้นฐานและหลักการของกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ในทำนองเดียวกันผลผลิตจากเทคโนโลยีชีวภาพอาจได้จากสิ่งมีชีวิตโดยตรง หรือจากกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่เทคโนโลยีชีวภาพมักเกี่ยวข้องกับเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์พืชและสัตว์จากการเจริญและได้ผลผลิตจากสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมความหมายหรือคำจำกัดความของเทคโนโลยีชีวภาพในบางครั้งก็กว้างขวางมาก แต่ก็สามารถครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตเช่น เทคโนโลยีชีวภาพหมายถึงวิธีการใด ๆ ที่ใช้สิ่งมีชีวิตหรือส่วนของสิ่งมีชีวิตที่จะสร้างหรือดัดแปลงผลเพื่อการปรับปรุง พืชสัตว์ หรือจุลินทรีย์เพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะด้าน คำจำกัดความบางครั้งแคบมากโดยเน้นกล่าวถึงอุตสาหกรรมที่ใช้วิธีการในด้าน recombinant DNA การรวมเซลล์ (cell fusion) และกระบวนการทางชีวภาพต่างๆ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงขอบเขตของเทคโนโลยีชีวภาพในด้านการเกษตรน่าจะเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงพันธุ์ขยายพันธุ์พืชชีวภาพปุ๋ยอินทรีย์สารกำจัดศัตรูพืช สาร

ป้องกันและควบคุมโรค รวมถึงการจัดการวัสดุเหลือใช้และผลผลิตทางการเกษตรด้วย(Yuthavongและ Gibbons, 1994)



สำหรับปุ๋ยอินทรีย์(Organic fertilizer) มีการใช้ในการปรับปรุงดินมาตั้งแต่สมัยโบราณแล้ว โดยระยะแรกเป็นการใช้มูลสัตว์ใส่ลงในดินแล้วปลูกพืชต่อมาจากประสบการณ์และเรียนรู้ของมนุษย์ทำให้เกิดการพัฒนาเป็นเทคโนโลยีในการผลิตและใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในปัจจุบันปุ๋ยอินทรีย์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอกและดินค้ำ ปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าว จะเกี่ยวข้องกับกิจ-

กรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการย่อยสลายหรือ อาจจะเกี่ยวข้องกับการตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยเชื้อไรโซเบียมในปมรากพืชตระกูลถั่วของพืชปุ๋ยสดรวมถึงกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในดินเมื่อเกิดกระบวนการ mineralization และ immobilization ของธาตุอาหารพืชเมื่อมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดิน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตและใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดจากกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์หลายประเภทสำหรับในบทความนี้จะกล่าวเน้นถึงกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์และเทคโนโลยีชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับปุ๋ยหมักเป็นส่วนใหญ่ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนของเชื้อไรโซเบียมในปมรากของพืชปุ๋ยสดได้กล่าวถึงในปุ๋ยชีวภาพแล้ว

เมื่อพิจารณาถึงสถานภาพของดินในประเทศไทยพบว่าปุ๋ยอินทรีย์มีความสำคัญและจำเป็นมากขึ้นต่อการปรับปรุงและการเพิ่มระดับอินทรีย์วัตถุในดิน เนื่องจากพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่ค่อนข้างเสื่อมโทรมลงเป็นลำดับจากผลการประเมินของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าพื้นที่ดินที่มีปัญหาในการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรประมาณ 68.03 ล้านไร่ (เล็กและสุนันท์, 2535) และพื้นที่ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 98.73 ล้านไร่ (บุญนะ, 2532) โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินพื้นที่ทำการเกษตรมีแนวโน้มลดลง การส่งเสริมของภาครัฐบาลให้เกษตรกรเห็นความสำคัญและประโยชน์ของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการปรับปรุงดินทั้งทางด้านเคมี กายภาพ และชีวภาพ ภาครัฐบาลเห็นถึงความสำคัญของอินทรีย์วัตถุและตระหนักถึงความจำเป็นที่จะรักษาระดับของอินทรีย์วัตถุในดิน ดังนั้นในปี 2524 ทางกรมพัฒนาที่ดินได้รับการจัดสรรงบประมาณจากเงินกองทุนสงเคราะห์เกษตรกรด้วยความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี เพื่อดำเนินงานส่งเสริมการผลิตและใช้ปุ๋ยหมัก จำนวน 50,000 ตันในพื้นที่ 26 จังหวัดต่อมาในปีงบประมาณ

ประมาณ 2525 โครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ ได้รับพิจารณาให้เป็นโครงการหนึ่งในแผนพัฒนาชนบทยากจน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 5 (2525-2529) มีระยะเวลาดำเนินงาน 5 ปี โดยดำเนินการสาธิตและส่งเสริมการผลิตและใช้ปุ๋ยหมักในพื้นที่ชนบทยากจนครอบคลุมพื้นที่ 38 จังหวัด โครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 2525 จนถึงปัจจุบันนี้ (ปรัชญา, 2535) สำหรับการวิจัยทางด้านจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมักของประเทศไทยเริ่มต้นอย่างจริงจังมาตั้งแต่ปี 2525 โดยในระยะแรกเป็นการศึกษาถึงพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษวัสดุของปุ๋ยหมักสำหรับที่จะกล่าวต่อไปเป็นการรวบรวมข้อมูลผลการวิจัยจากทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก

ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

การทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีการหนึ่งที่จะนำวัสดุเหลือใช้กลับมาแปรสภาพเป็นทรัพยากรที่มีประโยชน์ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อปรับปรุงบำรุงดินให้มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสมต่อการเจริญของพืชกล่าวคือเป็นแหล่งปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในดิน เพิ่มการระบายอากาศในดินเหนียวแน่นทึบ ช่วยลดยึดยาฆ่าแมลงพืชบางชนิดไม่ให้สูญเสียไปและช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินเป็นต้น (สมศักดิ์, 2528; ปรัชญา, 2535) โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักจะต้องใช้ระยะเวลานานตั้งแต่ 3 เดือน จนถึงเป็นปี ขึ้นอยู่กับลักษณะและส่วนประกอบของเศษพืชที่นำมาใช้ในการทำ รวมถึงปัจจัยของสภาพแวดล้อมต่างๆ (Logsdon, 1976) การปรับสภาพบางอย่างให้เหมาะสมต่อการย่อยสลายเศษพืชและช่วยลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้น้อยลง เช่น การใช้สารเร่งประเภทสารเคมี ซึ่งได้แก่ปุ๋ยเคมี

ในโตรเจนชนิดต่างๆ สารเร่งประเภทจุลินทรีย์ก็เป็นอีก
 แนวหนึ่งที่จะช่วยลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้สั้นลง
 โดยเฉพาะเศษพืชที่ย่อยสลายได้ยาก (Gaur, 1980)

สลายปริมาณของเชื้อราเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นจาก 10^4 เป็น
 $10^6 - 10^9$ โคโลนีต่อวัสดุ 1 กรัม (Mahloch, 1972) สำหรับ
 Romanelli (1975) ทำการศึกษาเกี่ยวกับเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิ

ตารางที่ 1 ชนิดเชื้อแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารบางชนิดที่เป็นองค์ประกอบ

Cellulose	Hemlceilluloses	Lignin	Starch and Sugars	Pectins
Bacillus	Bacillus	Arthrobacter	Bacillus	Arthrobacter
Cellulomonsa	Ctyophaga	Flavobacterium	Chromobacterium	Bacillus
Clostridium	Erwinia	Micrococcus	Clostridium	Clostridium
Corynebacterium	Pseudomonas	Pseudomonas	Cytophaga	Corynebacterium
Cytophaga		Xanthomonas	Flavobacterium	Erwinia
Polyangium			Micrococcus	Flavobacterium
Pseudomonas			Pseudomonas	Micrococcus
Sporocytophaga				Pseudomonas
Vibrio				Xanthomonas

สำหรับการวิจัยที่ดำเนินการทางด้านนี้ส่วนใหญ่จะ
 เน้นถึงจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายสารประกอบ
 จำพวกเซลลูโลส ทั้งนี้เพราะว่าเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ
 หลักที่มีอยู่ในเศษซากพืชถึง 30-60 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำ
 หนัก) และยังเป็นสารประกอบที่ค่อนข้างย่อยสลายได้ยาก
 เนื่องจากเซลลูโลสเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน
 และมีจุลินทรีย์น้อยชนิดที่สามารถจะผลิตเอนไซม์สำหรับ
 การย่อยสลายเซลลูโลสดังกล่าว (Alexander, 1977) การ
 ย่อยสลายเศษซากพืชในกองปุ๋ยหมักเกิดขึ้นจากกิจกรรม
 ร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิด เชื้อจุลินทรีย์ที่มีบทบาท
 สำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายเศษซากพืชและวัสดุอื่นๆ
 ได้แก่ เชื้อรา แอคติโนมัยซีต และแบคทีเรีย (Dindal, 1978)
 สำหรับเชื้อราที่พบเสมอในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ *Trichoderma*
sp., *Geotrichum sp.*, *Rhizopus sp.*, *Aspergillus sp.*, และ
Cladosporium sp., เป็นต้น และเมื่อเกิดกระบวนการย่อย

สลายสูงและสามารถย่อยเซลลูโลส (Thermophilic Cellu-
 lytic fungi) พบว่าเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 40-50
 องศาเซลเซียส และการเติมสารประกอบไนโตรเจนใน
 วัสดุประเภทเซลลูโลสจะทำให้เชื้อราเหล่านี้เพิ่มอัตราการ
 ย่อยสลายมากขึ้นด้วย Gomez และ Park (1983) ทดลอง
 นับจำนวนจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมักพบว่าในช่วงแรก
 เชื้อแบคทีเรียพวก *Bacillus sp.* จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นเชื้อ
 แบคทีเรียเหล่านี้เป็นพวกที่ชอบอุณหภูมิสูงประมาณ 50
 องศาเซลเซียส สำหรับเชื้อแอคติโนมัยซีตจะเพิ่มจำนวน
 มากขึ้นในช่วง 20 วันหลังจากการกองปุ๋ยหมักและจะเห็น
 เส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนเศษวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักในช่วง
 30 วัน

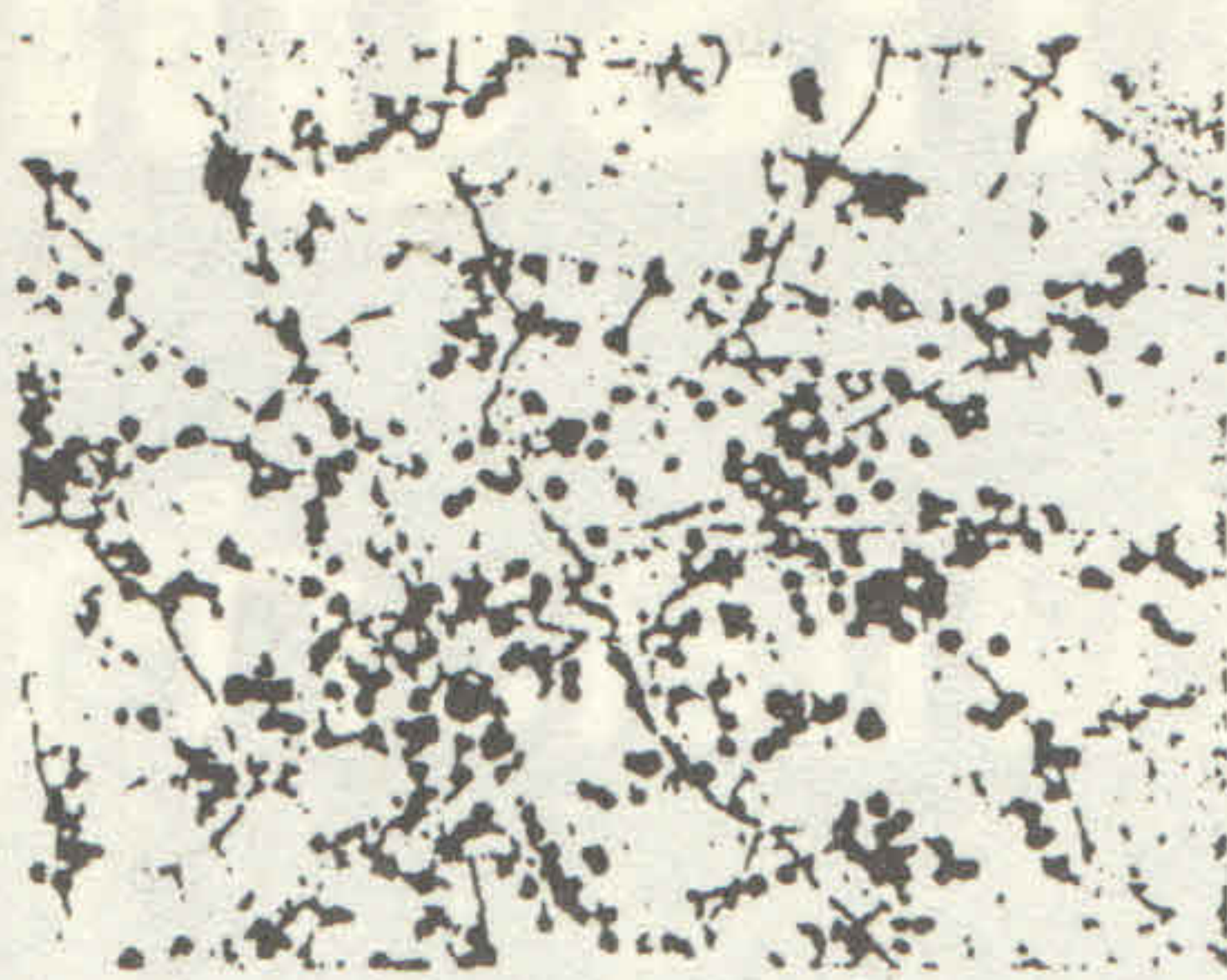
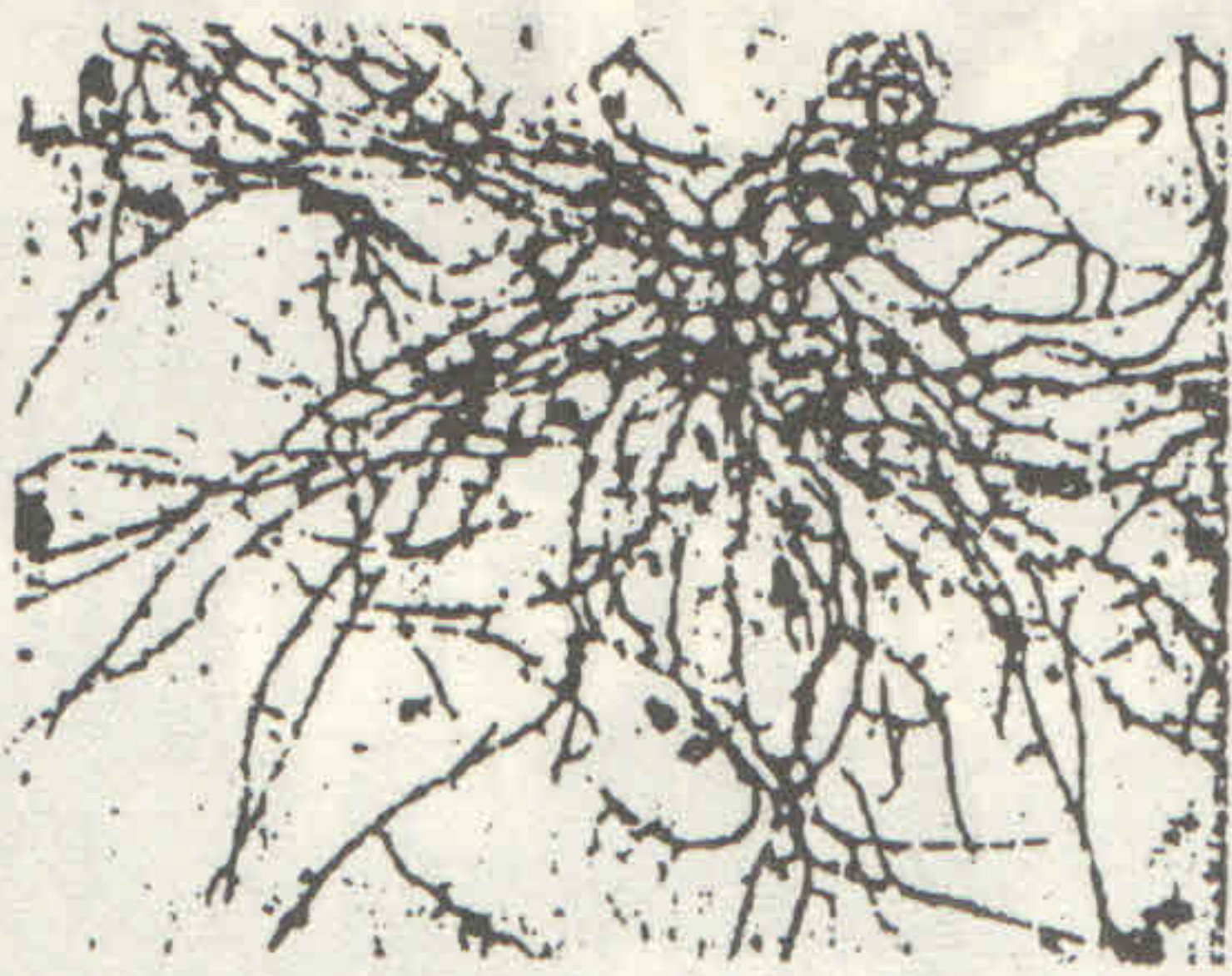
สำหรับกระบวนการย่อยสลายสารประกอบลิกโน-
 โซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุเหลือใช้ทาง
 การเกษตรสามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ ในช่วงแรก

เอ็นไซม์ที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์จะยึดเกาะผิวของสารประกอบเซลลูโลส และในช่วงที่สองเกิดการย่อยสลายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายยังสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามระดับของอุณหภูมิที่เชื้อจุลินทรีย์ชอบเจริญ เชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญและมีกิจกรรมในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส เรียกว่า psychrophile ถ้าเจริญในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส เรียกว่า mesophile ส่วนเชื้อจุลินทรีย์พวก thermophile จะเจริญระหว่างอุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส ในระยะเริ่มแรกกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์พวก mesophile ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวกแบคทีเรีย โดยจะทำการย่อยสลายองค์ประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้น และมี pH ก่อนข้างเป็นกรดประมาณ 5.0 และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 40 องศาเซลเซียส เชื้อจุลินทรีย์พวก mesophile จะลดปริมาณลงและจะถูกแทนที่โดยจุลินทรีย์พวก thermophile ซึ่งอุณหภูมิในช่วงนี้จะส่งเสริมให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส รวมทั้งสารประกอบที่รวมตัวอยู่กับลิกนินที่เรียกว่า ลิกโนเซลลูโลส โดยเชื้อราที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลส เช่น *Trichoderma* sp. แอคติโนมัยซิสที่ชอบอุณหภูมิสูง เช่น *Thermomonospora mesophila* และแบคทีเรียที่สร้างสปอร์จะเพิ่มปริมาณและมีบทบาทเพิ่มขึ้น เช่น *Bacillus stearothermophilus* หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงทีละน้อย และจุลินทรีย์พวก mesophile จะกลับมาเจริญอีกครั้งซึ่งในช่วงทำยนี้จะเป็นการย่อยสลายสารประกอบลิกนิน

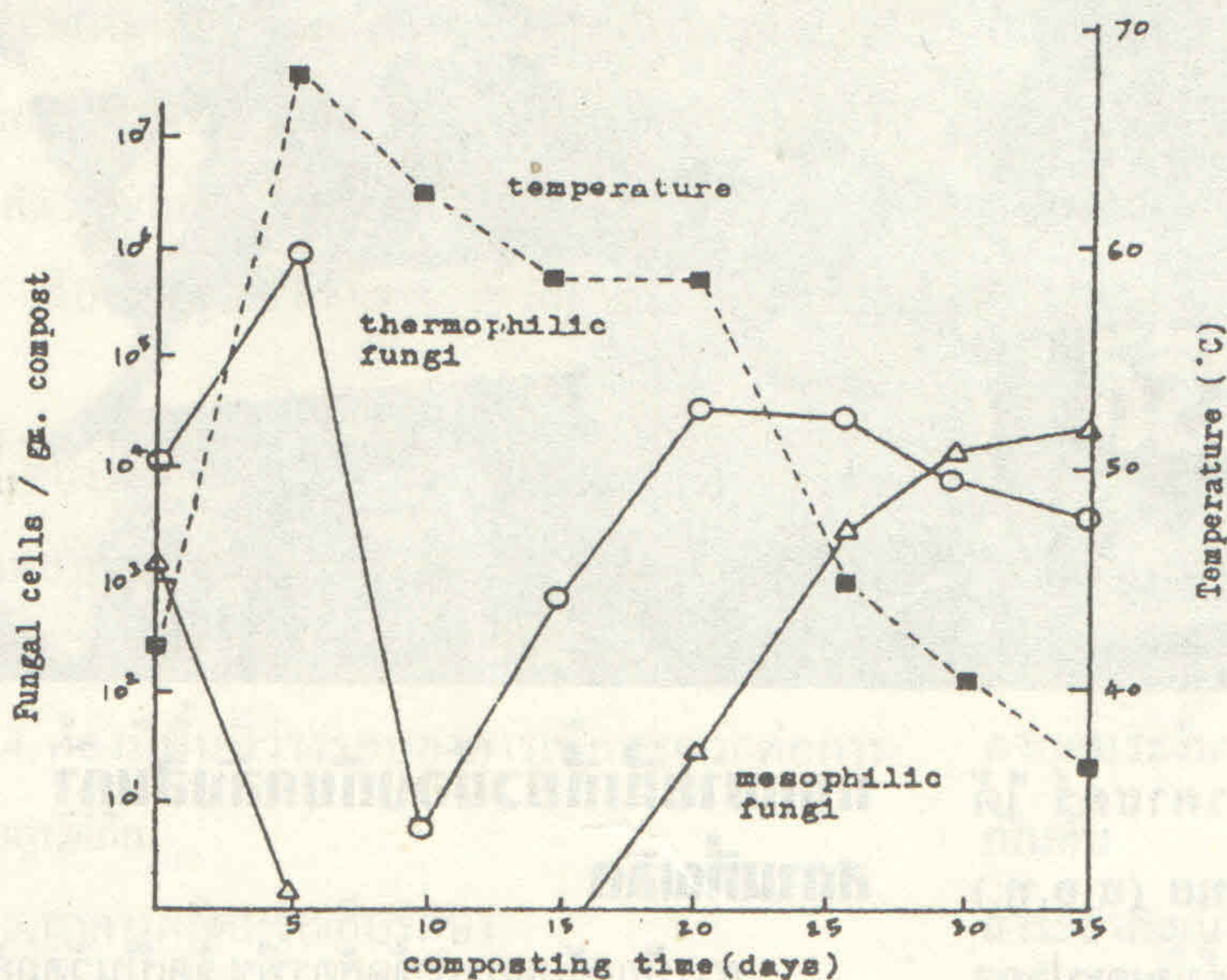
โดยทั่วไปเชื้อแบคทีเรียมักจะพบในปริมาณที่มากกว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นเสมอและจะพบมากในช่วงระยะแรกของการย่อยมักจะพบในปริมาณสูงถึง 10^8 - 10^9 เซลล์ต่อกรัมของวัสดุหมัก (Gardenas, 1992) และคาดว่าประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ของกิจกรรมการย่อยสลายอาจเกิดจากแบคทีเรีย (Golueky 1997) ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อ

แบคทีเรียสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม และสามารถย่อยสารอินทรีย์ได้หลายประเภท เชื้อแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการความชื้นสูงในการเจริญโดยปกติอยู่ในช่วง 50-75 เปอร์เซ็นต์ การทำงานของเอ็นไซม์ทำให้เซลลูโลสมีโครงสร้างเล็กลง (Goel และ Ramachandran, 1983) ดังนั้นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างเอ็นไซม์เซลลูเลสสูงและจะมีบทบาทอย่างมากต่อการย่อยสลายเศษซากพืชภายในกองปุ๋ยหมัก จากการทดลองของ Gaur (1980) คัดเลือกเชื้อราที่มีประสิทธิภาพดีในการย่อยสลายเซลลูโลส ซึ่งสามารถผลิตเอ็นไซม์เซลลูเลสสูง ได้แก่ เชื้อราพวก *Penicillium* sp. และ *Aspergillus* sp. ใส่ลงไปในการกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ในการทดลองมีการควบคุมความชื้นและการระบายอากาศ โดยการกลับกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม พบว่าการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในช่วง 1 เดือนแรกลดลงเหลือ 19.6 และ 23.6 ตามลำดับ ในขณะที่กองปุ๋ยหมักไม่ใส่เชื้อดังกล่าวมีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 31.4

องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ถูกย่อยสลายไม่ว่าจะเป็นเศษซากพืช หรือของเหลือใช้จากบ้านเรือน มักจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ คาร์โบไฮเดรตทั้งในรูปที่ย่อยสลายง่ายและย่อยสลายยาก (น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ เพคติน) ลิกนิน และสารประกอบไนโตรเจน (กรดอะมิโน โปรตีน และสารอินทรีย์ในโตรเจน) โดยพวกน้ำตาล แป้ง เพคติน กรดอะมิโน โปรตีน และสารอินทรีย์ในโตรเจน เป็นองค์ประกอบที่ถูกย่อยสลายได้ง่าย ส่วนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยอันดับต่อมาสำหรับลิกนินนั้นจะทนทานต่อการย่อยสลายดังนั้นลิกนินจะถูกย่อยสลายเป็นอันดับสุดท้าย (Stratton และคณะ, 1995)



เส้นใยและการสร้างสปอร์ของเชื้อราบางชนิดที่พบในกองปุ๋ยหมัก ขณะที่อุณหภูมิ 50-60 °ซ



การเปลี่ยนแปลง ปริมาณของเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิ ปานกลางและสูงในกองปุ๋ยหมัก ขณะเกิดการย่อยสลาย (Bertoldi และคณะ, 1982)

ดังนั้นองค์ประกอบตลอดจนสถานะของวัสดุที่จะ ทำการย่อยสลายจะมีความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณของ จุลินทรีย์ในระบบรวมทั้งอัตราการย่อยสลายด้วย ซึ่งเชื้อ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีเอนไซม์ที่เจาะเจาะจงต่อการย่อย สลายและประชากรที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลง ของวัสดุหมักในขณะนั้น (Lynch, 1993) นอกจากนั้นประ เภและ pH ที่เป็นกลาง ถ้า pH ต่ำเกินไปแบคทีเรียจะหยุดการ เจริญ ในกองปุ๋ยหมักขณะที่อุณหภูมิขึ้นสูงระหว่าง 50-55 องศาเซลเซียสแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูงจะเจริญและสลาย พันธุ์ที่พบมากในช่วงนี้จะเป็นพวก *Bacillus* sp. แต่จะลดลง

อย่างรวดเร็วถ้าอุณหภูมิสูง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งในสภาพ เช่นนี้เชื้อแบคทีเรียพวก *Bacillus* sp. จะทำการสร้างเอน- โคสปอร์ ซึ่งมีผนังหนาสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่ เหมาะสมได้ดีและจะเจริญได้อีกครั้งเมื่อสภาพแวดล้อม เหมาะสมขึ้น ในบางผลงานวิจัยรายงานว่าในขณะที่อุณหภูมิ เพิ่มขึ้นสูงที่สุดสามารถพบแบคทีเรียในสกุล *Thermus* sp. สำหรับชนิดของแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารประกอบ คาร์บอนชนิดต่างๆตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

(อ่านต่อฉบับหน้า)

บทความที่หาทดแทน

เทคโนโลยีชีวภาพกับปุ๋ยอินทรีย์ / พืษยากร ลีมทอง
วารสารดินและปุ๋ย. ปีที่ 21, ฉบับที่ 3 (ก.ค.-ก.ย. 2542) หน้า 132-151

เทคโนโลยีชีวภาพกับปุ๋ยอินทรีย์

พิทยากร ลิ้มทอง

คำนำ

โดยหลักการทั่วไปเทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnology) หมายถึงกลุ่มของเทคโนโลยีที่ใช้กระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต หรือผลผลิตจากสิ่งมีชีวิตเพื่อประโยชน์ของมนุษย์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวอาจจะเกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตนั้น หรืออาจจะเป็นกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่อาศัยพื้นฐานและหลักการของกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ในทำนองเดียวกันผลผลิตจากเทคโนโลยีชีวภาพอาจได้ จากสิ่งมีชีวิตโดยตรง หรือจากกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่เทคโนโลยีชีวภาพมักเกี่ยวข้องกับเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ พืช และสัตว์ จากการเจริญและได้ผลผลิต จากสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ความหมายหรือคำจำกัดความของเทคโนโลยี ชีวภาพในบางครั้งก็กว้างขวางมาก แต่ก็สามารถครอบคลุมถึงกระบวนการและผลผลิตที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต เช่น เทคโนโลยีชีวภาพหมายถึง วิธีการใดๆ ที่ใช้สิ่งมีชีวิตหรือส่วนของสิ่งมีชีวิตที่จะสร้างหรือ ดัดแปลงผลเพื่อการปรับปรุงพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์เพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะด้าน คำจำกัดความบางครั้งแคบมากโดยเน้นกล่าวถึงอุตสาหกรรมที่ใช้วิธีการในด้าน recombinant DNA การรวมเซลล์ (cell fusion) และกระบวนการทางชีวภาพต่างๆ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงขอบเขตของเทคโนโลยีชีวภาพ ในด้าน การเกษตร น่าจะเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงพันธุ์ การขยายพันธุ์ ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์ สาร กำจัดศัตรูพืช สารป้องกัน และควบคุมโรค รวมถึงการจัดการวัสดุเหลือใช้และผลผลิตทางการเกษตรด้วย (Yuthavong และ Gibbons, 1994)

สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) มีการใช้ในการปรับปรุงดินมาตั้งแต่สมัยโบราณแล้ว โดยระยะแรกเป็นการใช้มูลสัตว์ใส่ลงในดินแล้วปลูกพืช ต่อมาจากการประสบการณ์และการเรียนรู้ของมนุษย์ทำให้เกิดการพัฒนาเป็นเทคโนโลยีในการผลิตและใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ในปัจจุบันปุ๋ยอินทรีย์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก และดินค้ำ ปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย หรืออาจจะเกี่ยวข้องกับการตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยเชื้อไรโซเบียมในปมรากพืชตระกูลถั่วของพืชปุ๋ยสด รวมถึงกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในดิน เมื่อเกิดกระบวนการ mineralization และ immobilization ของธาตุอาหารพืชเมื่อมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตและใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดจากกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์หลายประเภท สำหรับในบทความนี้จะกล่าวเน้นถึงกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์และเทคโนโลยีชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับปุ๋ยหมักเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนของเชื้อไรโซเบียมในปมรากของพืชปุ๋ยสดได้กล่าวถึงในปุ๋ยชีวภาพแล้ว

เมื่อพิจารณาถึงสภาพของดินในประเทศไทย พบว่าปุ๋ยอินทรีย์มีความสำคัญและจำเป็นมากขึ้นต่อการปรับปรุงและการเพิ่มระดับอินทรีย์วัตถุในดิน เนื่องจากพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่ค่อนข้าง

ข้างเสื่อมโทรมลงเป็นลำดับ จากผลของการประเมินของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าพื้นที่ดินที่มีปัญหาในการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรประมาณ 68.03 ล้านไร่ (เล็ก และสุนันท์, 2535) และพื้นที่ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 98.73 ล้านไร่ (บุญนะ, 2532) โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินพื้นที่ทำการเกษตรมีแนวโน้มลดลง การส่งเสริมของภาครัฐบาลให้เกษตรกรเห็นความสำคัญและประโยชน์ของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการปรับปรุงบำรุงดินทั้งทางด้านเคมี กายภาพ และชีวภาพ ภาครัฐบาลเห็นถึงความสำคัญของอินทรีย์วัตถุ และตระหนักถึงความจำเป็นที่จะรักษาระดับของอินทรีย์วัตถุในดิน ดังนั้นในปี 2524 ทางกรมพัฒนาที่ดินได้รับการจัดสรรงบประมาณจากเงินกองทุนสงเคราะห์เกษตรกรด้วยความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี เพื่อดำเนินงานส่งเสริมการผลิตและใช้ปุ๋ยหมัก จำนวน 50,000 ตัน ในพื้นที่ 26 จังหวัด ต่อมาในปีงบประมาณ 2525 โครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุได้รับพิจารณาให้เป็นโครงการหนึ่งในแผนพัฒนาชนบทยากจน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 5 (2525-2529) มีระยะเวลาดำเนินงาน 5 ปี โดยดำเนินการสาธิตและส่งเสริมการผลิตและใช้ปุ๋ยหมักในพื้นที่ชนบทยากจนครอบคลุมพื้นที่ 38 จังหวัด โครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 2525 จนถึงปัจจุบันนี้ (ปรีชญา, 2535) สำหรับการวิจัยทางด้านจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมักของประเทศไทยเริ่มต้นอย่างจริงจังมาตั้งแต่ปี 2525 โดยในระยะแรกเป็นการศึกษาถึงพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษวัสดุของปุ๋ยหมักสำหรับที่จะกล่าวต่อไปเป็นการรวบรวมข้อมูลผลการวิจัยจากทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับชนิดของเชื้อจุลินทรีย์และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก

ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

การทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีการหนึ่งที่จะนำวัสดุเหลือใช้กลับมาแปรสภาพเป็นทรัพยากรที่มีประโยชน์ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อปรับปรุงบำรุงดินให้มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสมต่อการเจริญของพืช กล่าวคือเป็นแหล่งปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในดิน เพิ่มการระบายอากาศในดินเหนียวที่แน่นทึบ ช่วยดูดซับธาตุอาหารพืชบางชนิดไม่ให้สูญเสียไป และช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน เป็นต้น (สมศักดิ์, 2528; ปรีชญา, 2535) โดยทั่วไปการทำปุ๋ยหมักจะต้องใช้ระยะเวลานานตั้งแต่ 3 เดือนจนถึงเป็นปี ขึ้นอยู่กับลักษณะและส่วนประกอบของเศษพืชที่นำมาใช้ในการทำปุ๋ยหมัก รวมถึงปัจจัยของสภาพแวดล้อมต่างๆ (Logsdon, 1976) การปรับสภาพบางอย่างให้เหมาะสมต่อการย่อยสลายเศษพืชจะช่วยลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้น้อยลง เช่น การใช้สารเร่งประเภทสารเคมี ซึ่งได้แก่ปุ๋ยเคมีในโตรเจนชนิดต่าง ๆ สารเร่งประเภทจุลินทรีย์ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้สั้นลง โดยเฉพาะเศษพืชที่ย่อยสลายได้ยาก (Gaur, 1980)

สำหรับการวิจัยที่ดำเนินการทางด้านนี้ส่วนใหญ่จะเน้นถึงจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายสารประกอบจำพวกเซลลูโลส ทั้งนี้เพราะว่าเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในเซลล์ซากพืชถึง 30-60 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) และยังเป็นสารประกอบที่ค่อนข้างย่อยสลายได้ยากเนื่องจากเซลลูโลสเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีจุลินทรีย์น้อยชนิดที่สามารถจะผลิตเอนไซม์สำหรับ

การย่อยสลายเซลลูโลสดังกล่าว (Alexander, 1977) การย่อยสลายเศษซากพืชในกองปุ๋ยหมักเกิดขึ้นจากกิจกรรมร่วมกันของจุลินทรีย์หลายชนิด เชื้อจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายเศษซากพืชและวัสดุอื่น ๆ ได้แก่ เชื้อรา แอคติโนมัยซิส และแบคทีเรีย (Dindal, 1978) สำหรับเชื้อราที่พบเสมอในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ *Trichoderma sp.*, *Geotrichum sp.*, *Rhizopus sp.*, *Aspergillus sp.*, และ *Cladosporium sp.*, เป็นต้น และเมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายปริมาณของเชื้อราเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นจาก 10^5 เป็น 10^6 - 10^9 โคโลนีต่อวัสดุ 1 กรัม (Mahloch, 1972) สำหรับ Romanelli (1975) ทำการศึกษาเกี่ยวกับเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิสูงและสามารถย่อยเซลลูโลส (thermophilic cellulolytic fungi) พบว่าเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส และการเติมสารประกอบไนโตรเจนในวัสดุประเภทเซลลูโลสจะทำให้เชื้อราเหล่านี้เพิ่มอัตราการย่อยสลายมากขึ้นด้วย Gomez และ park (1983) ทดลองนับจำนวนจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมักพบว่าในช่วงแรกเชื้อแบคทีเรียพวก *Bacillus sp.* จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น เชื้อแบคทีเรียเหล่านี้เป็นพวกที่ชอบอุณหภูมิสูงประมาณ 50 องศาเซลเซียส สำหรับเชื้อแอคติโนมัยซิสจะเพิ่มจำนวนมากขึ้นในช่วง 20 วันหลังจากการกองปุ๋ยหมัก และจะเห็นเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนเศษวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักในช่วง 30 วัน

สำหรับกระบวนการย่อยสลายสารประกอบลิกโนเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ ในช่วงแรกเอ็นไซม์ที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์จะเกาะผิวของสารประกอบเซลลูโลส และในช่วงที่สองเกิดการย่อยสลายโดยการทำงานของเอ็นไซม์ ทำให้เซลลูโลสมีโครงสร้างเล็กลง (Goel และ Ramachandran, 1983) ดังนั้นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างเอ็นไซม์เซลลูเลสสูงจะมีบทบาทอย่างมากต่อการย่อยสลายเศษซากพืชภายในกองปุ๋ยหมักจากการทดลองของ Gaur (1980) คัดเลือกเชื้อราที่มีประสิทธิภาพดีในการย่อยสลายเซลลูโลส ซึ่งสามารถผลิตเอ็นไซม์เซลลูเลสสูง ได้แก่ เชื้อราพวก *Penicillium sp.* และ *Aspergellus sp.* ใส่ลงในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ในการทดลองมีการควบคุมความชื้นและการระบายอากาศ โดยการกลับกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม พบว่าอัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในช่วง 1 เดือนแรกลดลงเหลือ 19.6 และ 23.6 ตามลำดับ ในขณะที่กองปุ๋ยหมักไม่ใส่เชื้อดังกล่าวมีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 31.4

องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ถูกย่อยสลายไม่ว่าจะเป็นเศษซากพืช หรือของเหลือใช้จากบ้านเรือน มักจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ คาร์โบไฮเดรตทั้งในรูปที่ย่อยสลายง่าย และย่อยสลายยาก (น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน) ลิกนิน และสารประกอบไนโตรเจน (กรดอะมิโน โปรตีน และสารอนินทรีย์ในโตรเจน) โดยพวกน้ำตาล แป้ง เพคติน กรดอะมิโน โปรตีน และสารอนินทรีย์ในโตรเจน เป็นองค์ประกอบที่ถูกย่อยสลายได้ง่าย ส่วนเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายอันดับต่อมา สำหรับลิกนินนั้นจะทนทานต่อการย่อยสลาย ดังนั้นลิกนินจะถูกย่อยสลายเป็นอันดับสุดท้าย (Stratton และคณะ, 1995)

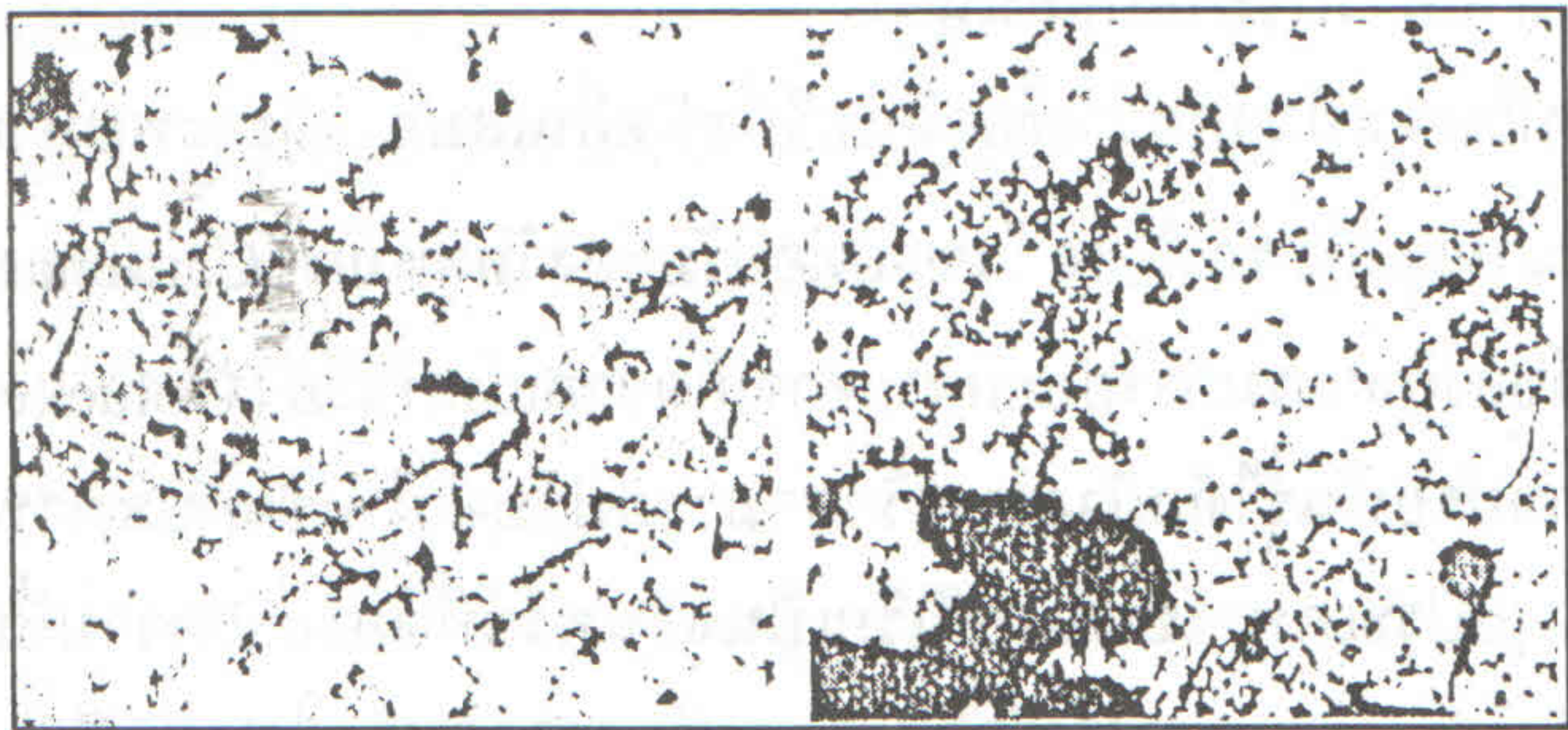
ดังนั้นองค์ประกอบตลอดจนสถานะของวัสดุที่จะทำการย่อยสลายจะมีความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบ รวมทั้งอัตราการย่อยสลายด้วย ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมี

เอ็นไซม์ที่เฉพาะเจาะจงต่อการย่อยสลาย และประชากรที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของวัสดุหมักในขณะนั้น (Lynch, 1993) นอกจากนั้นประเภทของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายยังสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามระดับของอุณหภูมิที่เชื้อจุลินทรีย์ชอบเจริญ เชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญและมีกิจกรรมในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส เรียกว่า psychrophile ถ้าเจริญในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส เรียกว่า mesophile ส่วนเชื้อจุลินทรีย์พวก thermophile จะเจริญระหว่างอุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส ในระยะเริ่มแรกกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์พวก mesophile ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวกแบคทีเรียโดยจะทำการย่อยสลายองค์ประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน ซึ่งจะส่งผลทำให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้น และมี pH ค่อนข้างเป็นกรดประมาณ 5.0 และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 40 องศาเซลเซียส เชื้อจุลินทรีย์พวก mesophile จะลดปริมาณลงและจะถูกแทนที่โดยจุลินทรีย์พวก thermophile ซึ่งอุณหภูมิในช่วงนี้จะส่งเสริมให้เกิดการย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส รวมทั้งสารประกอบที่รวมตัวอยู่กับลิกนินที่เรียกว่า ลิกโนเซลลูโลส โดยเชื้อราที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลส เช่น *Trichoderma sp.* แอคติโนมัยซีสที่ชอบอุณหภูมิสูงเช่น *Thermonospora mesophila* และแบคทีเรียที่สร้างสปอร์จะเพิ่มปริมาณและมีบทบาทเพิ่มขึ้น เช่น *Bacillus stearothermophilus* หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงที่ละน้อยและจุลินทรีย์พวก mesophile จะกลับมาเจริญอีกครั้งซึ่งในช่วงท้ายนี้จะเป็นการย่อยสลายสารประกอบลิกนิน

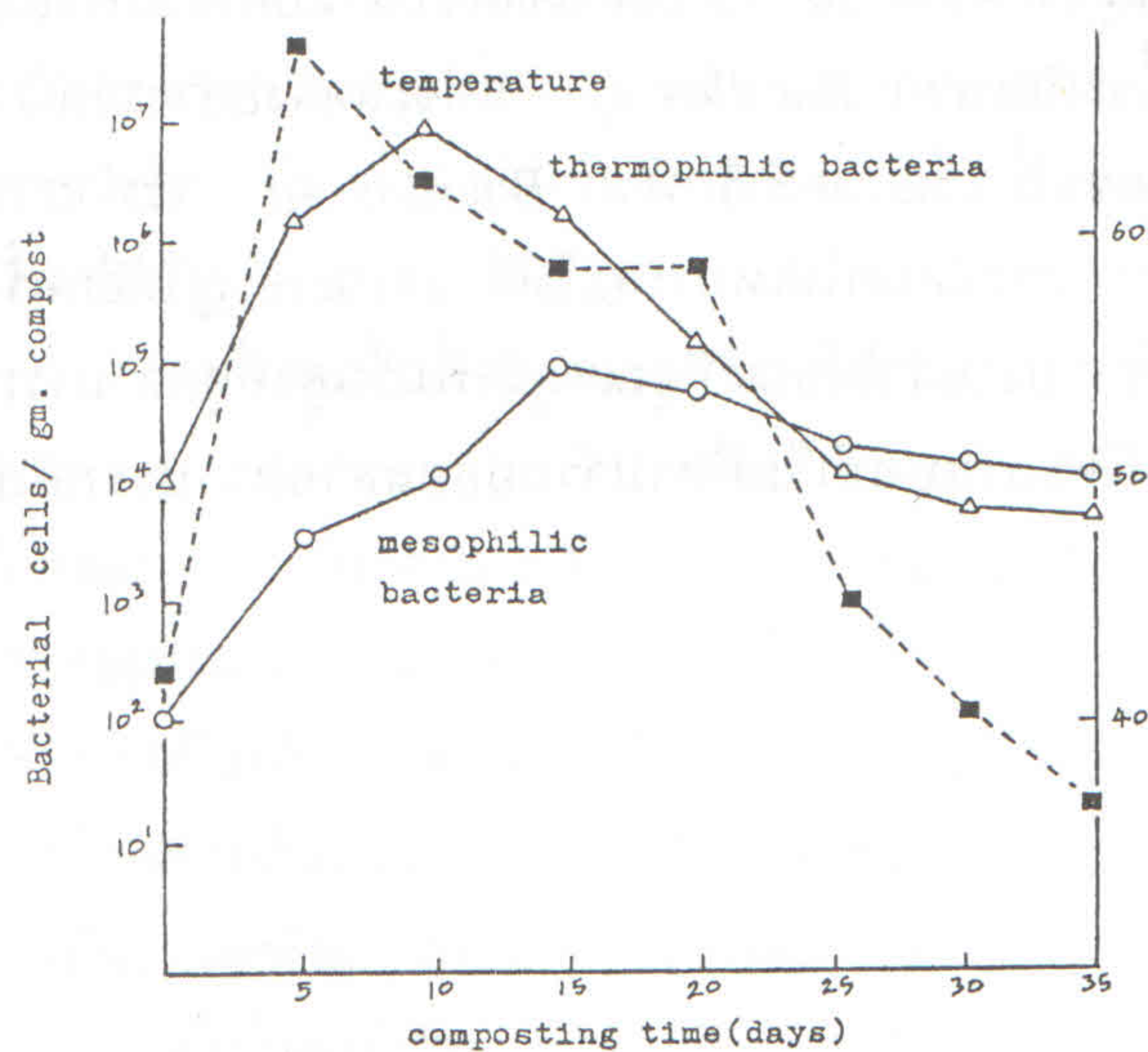
โดยทั่วไปเชื้อแบคทีเรียมักจะพบในปริมาณที่มากกว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นเสมอ และจะพบมากในช่วงระยะแรกของการย่อยสลายโดยจะมีปริมาณสูงถึง $10^8 - 10^9$ เซลล์ต่อกรัมของวัสดุหมัก (Cardenas, 1992) และคาดว่าประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ของกิจกรรมการย่อยสลายอาจเกิดจากแบคทีเรีย (Golueke, 1977) ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม และสามารถย่อยสารอินทรีย์ได้หลายประเภท เชื้อแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการความชื้นสูงในการเจริญโดยปกติอยู่ในช่วง 50-75 เปอร์เซ็นต์ และ pH ที่เป็นกลาง ถ้า pH ต่ำเกินไปแบคทีเรียจะหยุดการเจริญ ในกองปุ๋ยหมักขณะที่อุณหภูมิขึ้นสูงระหว่าง 50-55 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูงจะเจริญและสายพันธุ์ที่พบมากในช่วงนี้จะเป็นพวก *Bacillus sp.* แต่จะลดลงอย่างรวดเร็วถ้าอุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งในสภาพเช่นนี้ เชื้อแบคทีเรียพวก *Bacillus sp.* จะทำการสร้างเอนโดสปอร์ ซึ่งมีผนังหนาสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี และจะเจริญได้อีกครั้งเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมขึ้น ในบางผลงานวิจัยรายงานว่าในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงที่สุดสามารถพบแบคทีเรียในสกุล *Thermus sp.* สำหรับชนิดของแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนชนิดต่างๆ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : ชนิดเชื้อแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารบางชนิดที่เป็นองค์ประกอบของพืช

Cellulose	Hemicelluloses	Lignin	Starch and Sugars	Pectins
<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Arthrobacter</i>
<i>Cellulomonas</i>	<i>Ctyophaga</i>	<i>Flavobacterium</i>	<i>Chromobacterium</i>	<i>Bacillus</i>
<i>Clostridium</i>	<i>Erwinia</i>	<i>Micrococcus</i>	<i>Clostridium</i>	<i>Clostridium</i>
<i>Corynebacterium</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Cytophaga</i>	<i>Corynebacterium</i>
<i>Cytophaga</i>		<i>Xanthomonas</i>	<i>Flavobacterium</i>	<i>Erwinia</i>
<i>Polyangium</i>			<i>Micrococcus</i>	<i>Flavobacterium</i>
<i>Pseudomonas</i>			<i>Pseudomonas</i>	<i>Micrococcus</i>
<i>Sporocytophaga</i>				<i>Pseudomonas</i>
<i>Vibrio</i>				<i>Xanthomonas</i>



ภาพที่ 1 : เชื้อแบคทีเรียที่เจริญร่วมกับเชื้อราบนผิวของเศษพืชในกองปุ๋ยหมัก

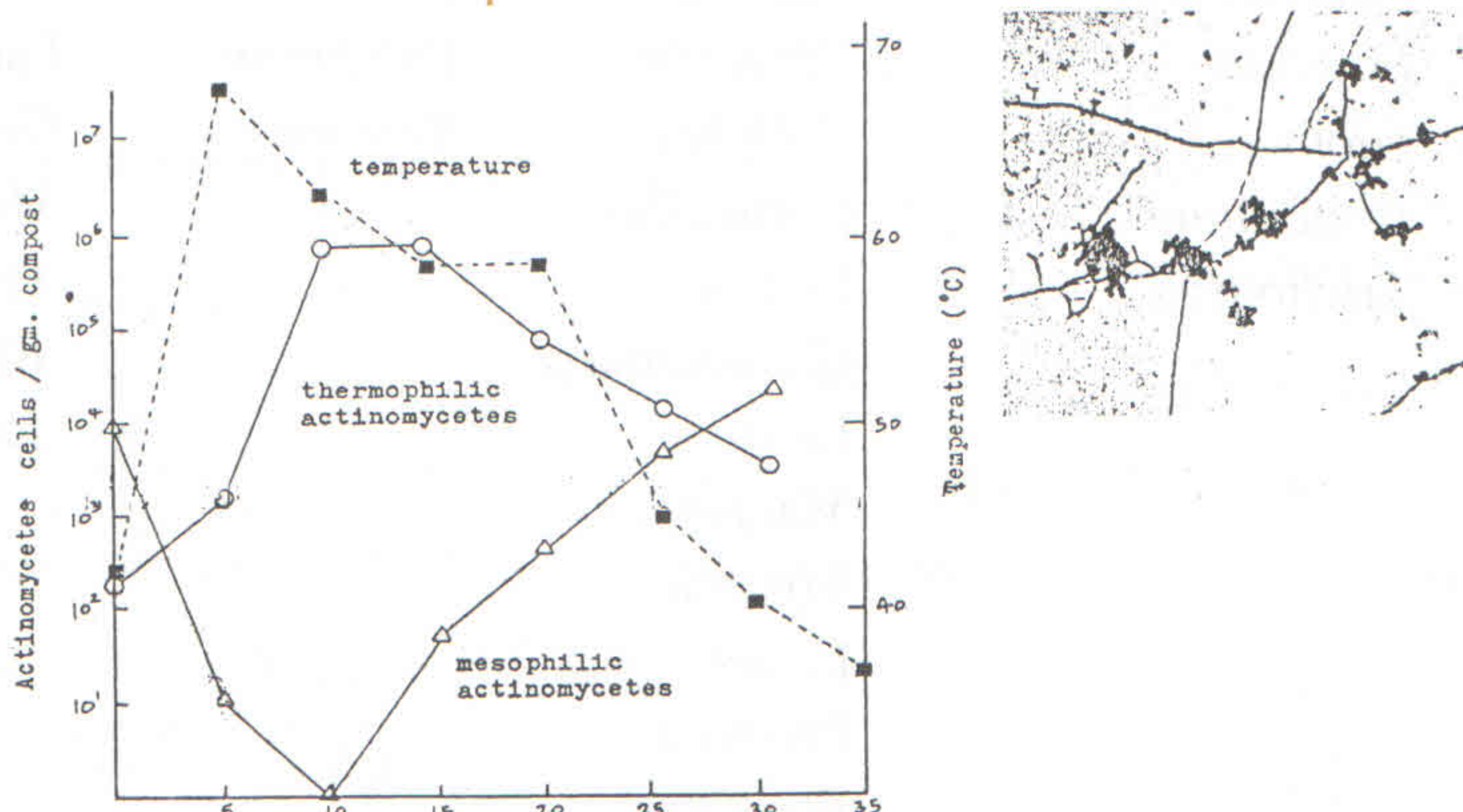


ภาพที่ 2 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเชื้อแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลางและสูงในกองปุ๋ยหมักขณะเกิดการย่อยสลาย (Bertoldi และคณะ, 1982)

เชื้อแอคติโนมัยซีส เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการความชื้นน้อยในการเจริญ ถ้าหากมีความชื้นประมาณ 85-100 เปอร์เซ็นต์จะพบแอคติโนมัยซีสได้ยากมาก และชอบเจริญใน pH ที่ค่อนข้างเป็นด่าง แต่ถ้า pH ลดต่ำกว่า 5.0 และอยู่ในสภาพที่ขังน้ำและขาดออกซิเจน จะทำให้เชื้อแอคติโนมัยซีสจะลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว แอคติโนมัยซีสจะเจริญช้ากว่าแบคทีเรียและเชื้อราจึงพบได้น้อยในระยะแรกของการย่อยสลาย แต่จะพบมากในช่วงท้ายของกระบวนการย่อยสลายซึ่งเหลือวัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย ดังนั้นเชื้อแอคติโนมัยซีสจึงมีบทบาทสำคัญในการย่อยวัสดุที่มีความทนทานและมีโครงสร้างที่สลับซับซ้อนได้แก่ เซลลูโลส ลิกนินและไคติน ซึ่งพบว่าเป็นองค์ประกอบอยู่ในส่วนของลำต้นและเปลือกไม้ ตัวอย่างเช่น *Streptomyces* sp. จะสามารถย่อยพวกไคตินซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์รูปหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยหน่วยน้ำตาลอะมิโนของ N-acetylglucose amine โดยเชื้อแอคติโนมัยซีสจะใช้เป็นทั้งแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนในเมตาโบลิซึมของเซลล์ ส่วน *Micromonospora* sp. สามารถย่อยได้ทั้งเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ไคตินและกลูโคไซด์ สำหรับ *Nocardia* sp. นั้นสามารถย่อยสลายพวกสเตอรอยด์และฟีนอล มีรายงานพบว่าแอคติโนมัยซีสที่พบมากในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ *Streptomyces* sp. และ *Micromonospora* sp. (Cosico, 1985) นอกจากนั้นยังมีแอคติโนมัยซีสอีกหลายชนิดที่มีความสามารถในการย่อยสลายองค์ประกอบคาร์บอนที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ชนิดเชื้อแอคติโนมัยซีสที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารบางชนิดที่เป็นองค์ประกอบของพืช

Cellulose	Hemicelluloses	Lignin	Starch and Sugars	Pectins
<i>Micromonospora</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>Micromonospora</i>	<i>Actinoplans</i>	<i>Thermonospora</i>
<i>Nocardia</i>		<i>Nocardia</i>	<i>Microbiospora</i>	
<i>Streptomyces</i>		<i>Streptomyces</i>	<i>Micromonospora</i>	
<i>Streptosporangium</i>			<i>Streptomyces</i>	
<i>Thermonospora</i>			<i>Streptosporangium</i>	



ภาพที่ 3 : เชื้อแอคติโนมัยซีสบางชนิดที่พบในกองปุ๋ยหมัก ขณะที่อุณหภูมิ 50-60° C

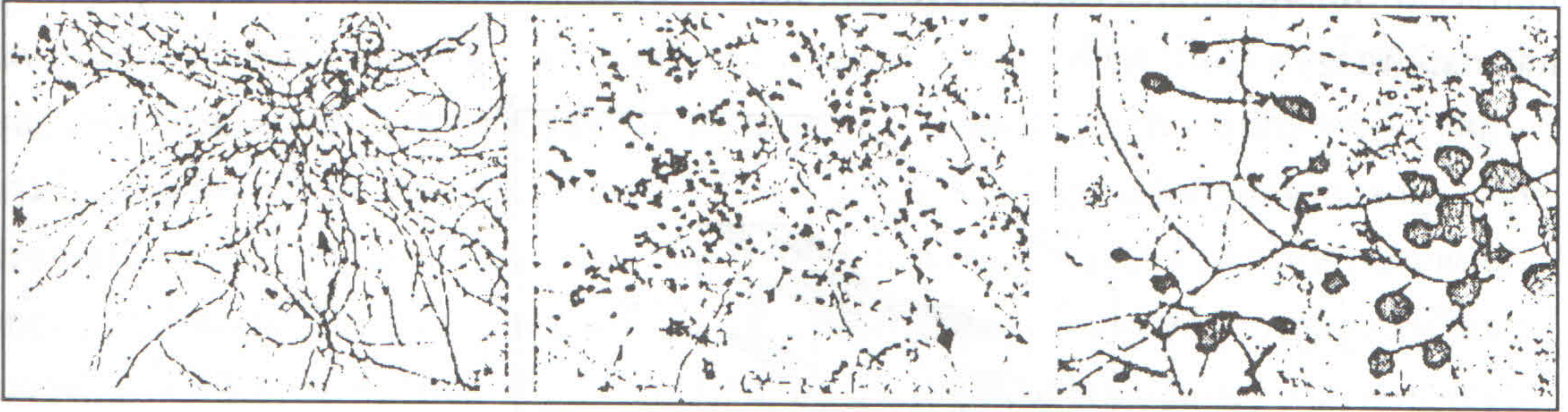
เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในช่วง pH ที่ค่อนข้างกว้างคือสามารถเจริญได้ในสภาพที่เป็นกรดประมาณ pH 4.0 บางสายพันธุ์พบว่าสามารถเจริญได้ถึงแม้จะมี pH 2.0 และเมื่อ pH เพิ่มขึ้นเป็น 9.0 เชื้อราก็สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ (Cosico,1985) แต่เชื้อราจะไม่สามารถมีชีวิตได้ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกว่า 55-60 องศาเซลเซียส ดังนั้นเชื้อราส่วนใหญ่จะเป็นพวก mesophile และโดยทั่วไปเชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการปริมาณไนโตรเจนและความชื้นในการเจริญน้อยกว่าแบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีส (Haug, 1979) เชื้อราส่วนใหญ่จัดเป็นพวก saprophyte เนื่องจากต้องอาศัยสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วเป็นแหล่งพลังงานโดยย่อยสลายอินทรีย์สารชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง น้ำตาล ไขมัน และเพคติน เชื้อราที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้มักจะอยู่ในกลุ่ม Basidionycetes สำหรับชนิดของเชื้อราที่พบอยู่เสมอในกองปุ๋ยหมักได้แก่ *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium duponti*, *Chaetomium sp.*, *Trichoderma sp.* และ *Fusarium sp.* ตามที่แสดงในตารางที่ 3 นอกจากจุลินทรีย์ที่ได้กล่าวมาแล้วยังพบว่ามีสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น โปรโตซัว และไส้เดือนฝอย ก็มีบทบาทในช่วงสุดท้ายของการทำปุ๋ยหมักในธรรมชาติด้วยเช่นกัน โดยสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะอาศัยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่เป็นแหล่งอาหารซึ่งเป็นระบบนิเวศน์ของสิ่งมีชีวิตในกองปุ๋ยหมัก (Dindal, 1978)

ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลาย

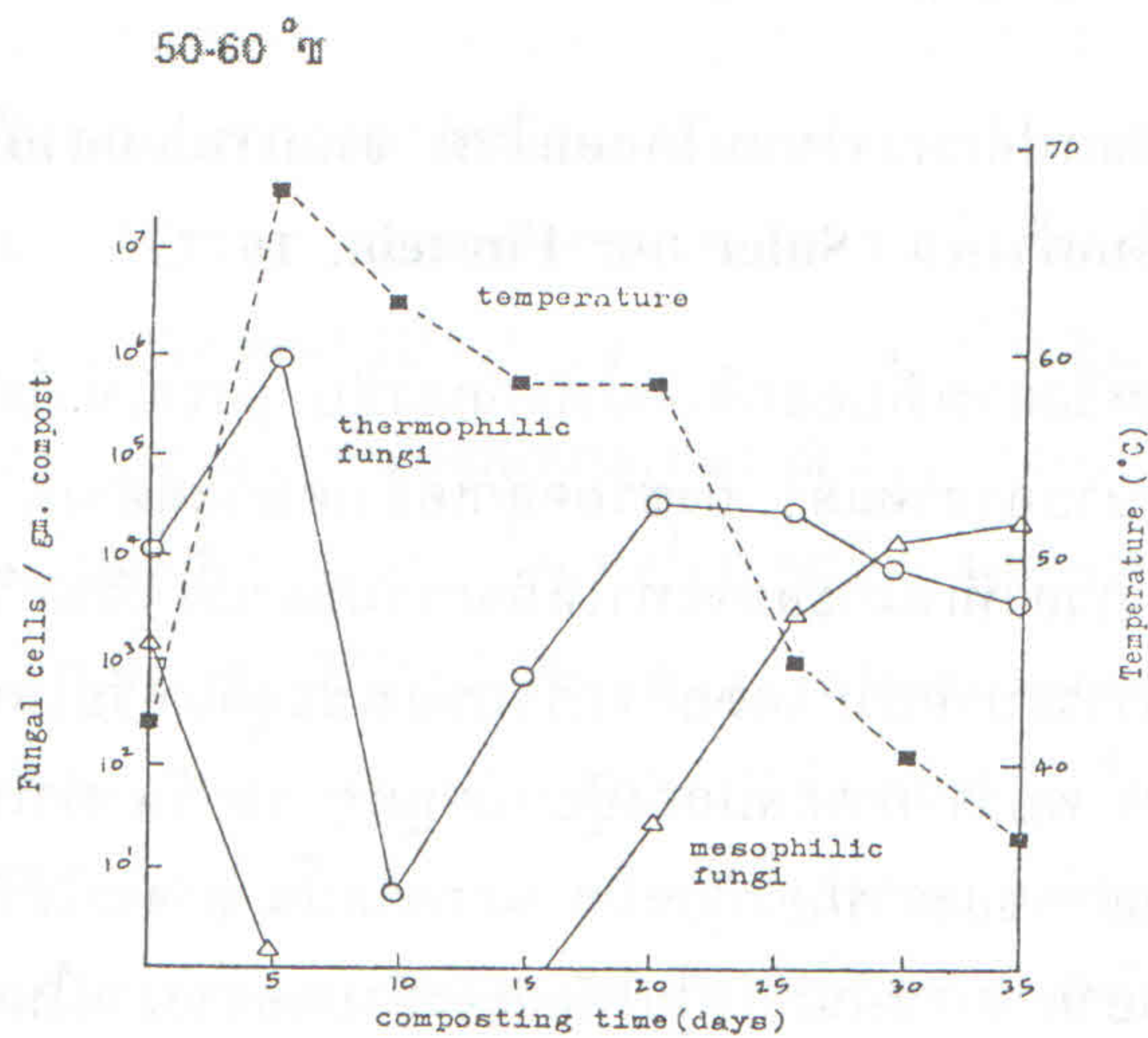
ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายวัสดุเศษพืช นอกจากจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ความแตกต่างทางสมบัติเคมี รวมถึงชนิด และกิจกรรมของเอนไซม์แต่ละชนิดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง รวมทั้งสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงชนิด

ตารางที่ 3 ชนิดเชื้อราที่มีความสามารถย่อยสลายสารบางชนิดที่เป็นองค์ประกอบของพืช

Cellulose	Hemicelluloses	Lignin	Starch and Sugars	Pectins
<i>Alternaria</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Agaricus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Alternaria</i>
<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Armillaria</i>	<i>Fomes</i>	<i>Aspergillus</i>
<i>Chaetomium</i>	<i>Chaetomium</i>	<i>Clavaria</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Botrytis</i>
<i>Coprinus</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Clitocybe</i>	<i>Polyporus</i>	<i>Fusarium</i>
<i>Fomes</i>	<i>Glomerella</i>	<i>Collybia</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Geotrichum</i>
<i>Fusarium</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Cortinellus</i>		<i>Monilia</i>
<i>Myrothecium</i>	<i>Trichoderma</i>	<i>Fomes</i>		<i>Penicillium</i>
<i>Penicillium</i>		<i>Ganoderma</i>		<i>Rhizoctonia</i>
<i>Polyporus</i>		<i>Lenzites</i>		<i>Rhizopus</i>
<i>Rhizoctonia</i>		<i>Marasmius</i>		
<i>Rhizopus</i>		<i>Mycena</i>		
<i>Trametes</i>		<i>Panus</i>		
<i>Trichoderma</i>		<i>Pholiota</i>		
<i>Trichothecium</i>		<i>Pleurotus</i>		
<i>Verticillium</i>		<i>Polyporus</i>		
<i>Zygorhynchus</i>		<i>Polystictus</i>		



ภาพที่ 5 : เส้นใยและการสร้างสปอร์ของเชื้อราบางชนิดที่พบในกองปุ๋ยหมัก ขณะที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส



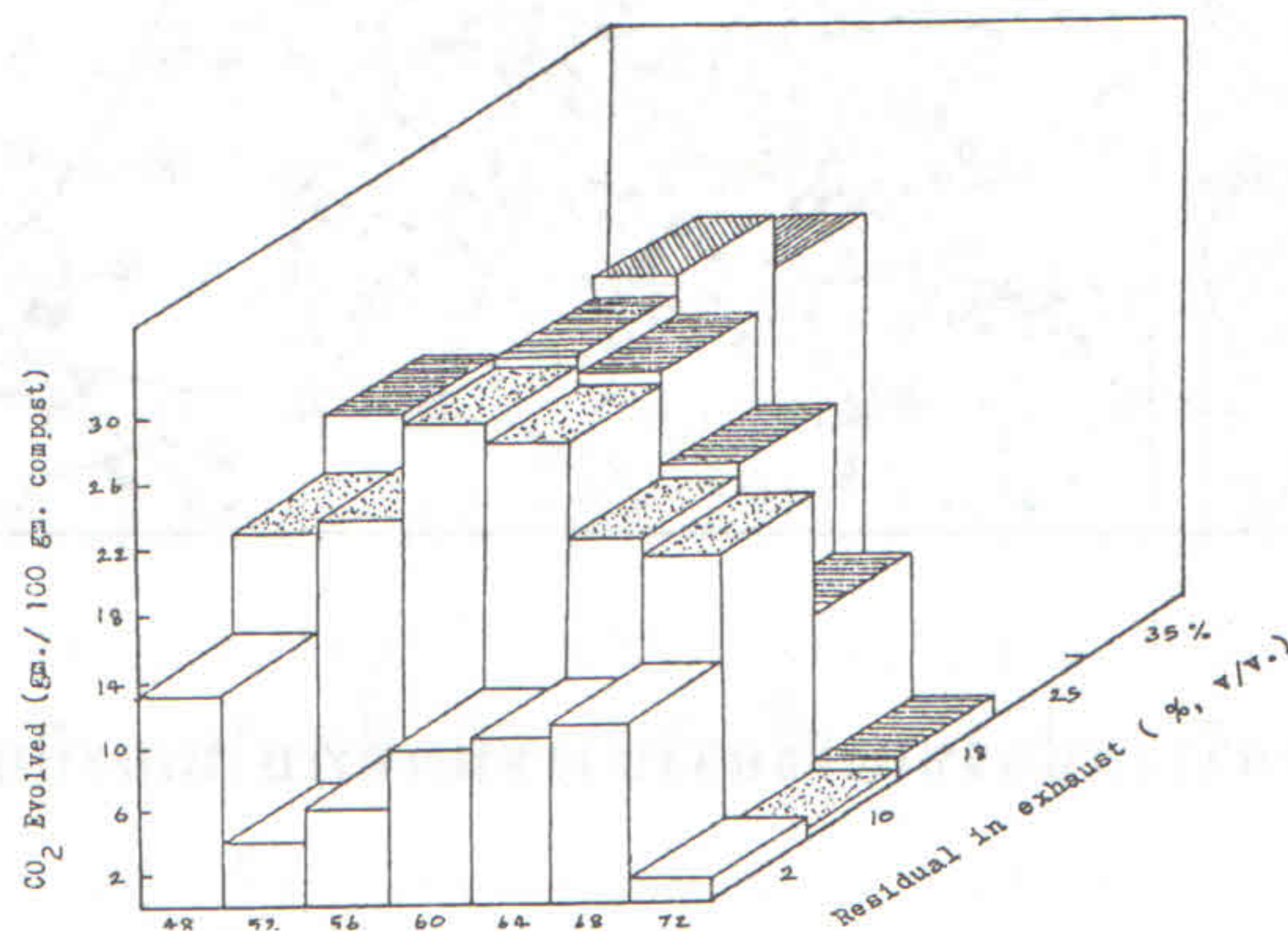
ภาพที่ 6 : การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิปานกลางและสูงในกองปุ๋ยหมักขณะเกิดการย่อยสลาย (Bertoldi และคณะ, 1982)

กิจกรรม รวมถึงปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายสำหรับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลาย สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ปริมาณออกซิเจน (oxygen content)

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนโดยกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์จัดเป็นปฏิกิริยาประเภท biological oxidation เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในระบบการหายใจในเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน ดังนั้นก๊าซออกซิเจนจึงเป็นปัจจัยสำคัญในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย แต่ถ้าหากออกซิเจนไม่เพียงพอ กระบวนการย่อยสลายจะเป็นไปอย่างไม่ค่อยสมบูรณ์ ซึ่งนอกจากสารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ยังมีสารประกอบพวกกรดอินทรีย์และ intermediate products อื่นๆ เกิดขึ้นอีกด้วย ดังนั้นการระบายอากาศในกองปุ๋ยหมักจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะนอกจากจะเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์แล้วยังเป็นการช่วยระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนจากกองปุ๋ยหมักอีกด้วย (FAO, 1987) ปริมาณ

ออกซิเจนที่เพียงพอต่อการดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายจะต้องไม่ต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ (Bertoldi และคณะ, 1982)



ภาพที่ 7 : ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ จากการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมักเมื่อมีระดับอุณหภูมิและออกซิเจนที่แตกต่างกัน (Suler และ Finstein, 1977)

การระบายอากาศหรือการเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ย อาจทำได้โดยการกลับกองปุ๋ย ซึ่งนอกจากจะมีผลดีในการระบายอากาศแล้ว ยังช่วยคลุกเคล้าเศษวัสดุต่างๆ ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ การกลับกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะทำให้กิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง จากผลของการศึกษาวิธีการระบายอากาศต่อกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว (พิทยากร และคณะ, 2534) พบว่า การกลับกองปุ๋ยหมักทุกๆ 10 วัน ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 วันแรกของการกองปุ๋ยหมัก นอกจากนั้น อาจจะใช้วิธีการใช้ท่อสอดในกองปุ๋ยหมักจะเป็นการช่วยระบายอากาศภายในกองปุ๋ยได้และจะช่วยลดแรงงานในการกลับกองปุ๋ยหมัก แต่อย่างไรก็ตามในช่วงแรกของการทำปุ๋ยหมัก ควรจะมีการกลับกองปุ๋ยหมักบ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระหว่างสัปดาห์แรกของการกองปุ๋ยหมัก

2.ระดับอุณหภูมิ (temperature level)

อุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการย่อยสลาย อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลชะงักการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลง ดังนั้นอุณหภูมิสูงสุดไม่ควรเกิน 70 องศาเซลเซียส และไม่ควรสูงติดต่อกันเป็นเวลานานเกินไป เนื่องจากจะมีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์ถูกทำลาย (Poincelot, 1975) โดยจะมีเพียงจุลินทรีย์บางสายพันธุ์พวกแบคทีเรียที่สร้างสปอร์และชอบอุณหภูมิสูงเท่านั้นที่มีกิจกรรมที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส เช่น *Bacillus stearothermophilus*, *B. subtilis*, *Clostridium* sp. และแบคทีเรียในสกุล *Thermus* sp. (Tansey และ Brock, 1978) เชื้อราส่วนใหญ่จะหยุดการเจริญและกิจกรรมถ้าอุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายจะมีค่าระหว่าง 45-55 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในช่วงระหว่าง 55-60 องศาเซลเซียสนี้ ถ้าสูงติดต่อกันอย่างน้อย 3 วัน จะมีผลต่อการทำลายวัชพืชและเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดเชื้อโรคได้ (FAO, 1978; Cosico, 1985) นอกจากนั้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าสารที่เป็นพิษต่อพืช (phytotoxicity) จะลดลงเร็วกว่า

ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (Campbell และ Darbyshire, 1990) หลังการกองปุ๋ยหมัก 2-4 วัน อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 50-60 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานที่ปลดปล่อยจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีของเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลาย และประกอบกับสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ค่อยแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมัก และอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสะสมเพิ่มมากขึ้น การที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นดังกล่าวทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยเปลี่ยนแปลงไป ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็เปลี่ยนไปเช่นกัน ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญ ได้แก่ พวกที่ทนต่ออุณหภูมิสูง (thermoduric) และพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophilic) หลังจากที่มีอุณหภูมิสูงสุดแล้วจะค่อยๆ ลดลง จนถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำปานกลาง (mesophilic) สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้น ในกรณีที่อุณหภูมิสูงมากเกินไปถึง 70 องศาเซลเซียส จะมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลงและกิจกรรมของจุลินทรีย์จะลดลงตามไป ด้วยเหตุนี้อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับที่เหมาะสม เชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดอยู่จะเริ่มกิจกรรมในการย่อยสลายอีกครั้งหนึ่ง

จากผลการทดลองของ Bertoldi และคณะ (1983) ได้รายงานเกี่ยวกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิสูง พบว่าเชื้อจุลินทรีย์พวกแบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีตสามารถทนและอยู่รอดได้ดี แต่เชื้อราที่มีปริมาณลดลง จากการปรับระดับอุณหภูมิให้คงที่ที่ระดับต่างๆ กัน แล้ววัดปริมาณของ CO_2 ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยสลาย พบว่าที่อุณหภูมิ 57-60 องศาเซลเซียส (ความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์) กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ดีโดยมีปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมามาก

นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมัก ยังขึ้นอยู่กับ การเติมปัจจัยบางชนิดร่วมกับเศษพืชในการทำปุ๋ยหมักด้วย ได้แก่ การเติมมูลสัตว์ลงในกองปุ๋ยหมัก วรรณลดา และคณะ (2534) รายงานผลของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ ต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว พบว่าการใส่มูลสัตว์ซึ่งอาจจะเป็นมูลไก่ มูลวัว หรือมูลสุกร ในอัตราตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูงกว่าการไม่ใส่มูลสัตว์ในช่วง 5 วันแรกของการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 51 เป็น 60 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกองปุ๋ยจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก และมีความสอดคล้องกับอัตราการลดลงของค่า C/N ratio ในกองปุ๋ยหมักด้วย (Bertoldi และคณะ, 1983)

3. ระดับความชื้น (moisture content)

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจำเป็นต้องอาศัยน้ำในการดำรงชีวิตรวมถึงเชื้อจุลินทรีย์ด้วย เนื่องจากน้ำจะเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหาร และก๊าซออกซิเจนจากวัสดุและอากาศไปยังเซลล์ของจุลินทรีย์ และยังเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอ็นไซม์เข้าย่อยสลายวัสดุด้วย (Tengerdy, 1985) นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นตัวกำหนดปริมาณก๊าซในวัสดุหมักถ้าความชื้นมากขึ้นปริมาณก๊าซจะลดลง การส่งผ่านออกซิเจนลดลงทำให้เกิดสภาพไม่มีอากาศ (anaerobic) ความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายควรอยู่ระหว่าง 50-60 เปอร์เซ็นต์ ถ้าความชื้นต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ กิจกรรมทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายจะเกิดช้าลง (FAO, 1987) อย่างไรก็ตามความชื้นที่พอเหมาะจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและขนาดวัสดุด้วย เช่นการย่อยสลายวัสดุที่มีเส้นใย และมีความหนาแน่นต่ำ ควรจะรักษาระดับ

ความชื้นให้อยู่ในช่วง 80-85 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพที่มีการระบายอากาศ (Gaur และคณะ, 1985)

นอกจากความชื้นมีผลโดยตรงต่อการเจริญและกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์แล้ว ยังมีผลทางอ้อมต่อการระบายอากาศด้วย กล่าวคือถ้าความชื้นมีมากเกินไปการแพร่กระจายออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักจะเกิดได้ยาก จนทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนและมีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวแล้ว ทำให้เกิดการหมักแบบสภาพที่ไม่มีอากาศ และเกิดกลิ่นเหม็นภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ระเหยจำพวก มีเทน ฟอสฟิน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ และมีผลทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารจากวัสดุเศษพืชในระหว่างการทำปุ๋ยหมักด้วย เช่น ไนโตรเจน จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนีย เป็นต้น

4. อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

โดยทั่วไปอัตราการย่อยสลายมักจะพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักเพราะโครงสร้างของเศษพืชส่วนมากจะไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก แต่จุดที่สำคัญคือองค์ประกอบของไนโตรเจนซึ่งจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมและเป็นตัวกำหนดอัตราการย่อยสลาย และการเจริญตลอดจนการผลิตเอ็นไซม์ของเชื้อจุลินทรีย์ (Bertoldi และคณะ, 1983) สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยที่จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและเป็นแหล่งของคาร์บอนในการเจริญเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็ใช้สารประกอบไนโตรเจน เพื่อนำไปสังเคราะห์สารพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิก (Poincelot, 1975) ถ้าวัสดุมีค่าอัตราส่วนสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ๆ กิจกรรมการย่อยสลายจะเกิดช้า แต่ถ้าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในระหว่างการย่อยสลาย เนื่องจากกระบวนการ ammonia volatilization จากรายงานพบว่าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มีค่าประมาณ 25-30 ดังนั้นการปรับค่าอัตราส่วนดังกล่าวให้เหมาะสมจะทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น เช่น อาจจะมีการเติมสารประกอบไนโตรเจนในรูปของปุ๋ยเคมี เช่น ยูเรีย และแอมโมเนียมไนเตรท หรือสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เช่น มูลสัตว์ ดินค้ำ เศษซากพืชตระกูลถั่ว กระจุกป่น เขaping กากเลือดแห้ง เป็นต้น (FAO, 1987) กรณีการทำปุ๋ยหมักจะพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษวัสดุ เพราะโครงสร้างของเศษพืชส่วนมากมีความแตกต่างกันมาก แต่จุดสำคัญอยู่ที่องค์ประกอบของไนโตรเจนซึ่งจะเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดอัตราการย่อยสลาย สำหรับวัสดุเศษพืชที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมักอาจจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือวัสดุที่ย่อยสลายได้ง่าย กับวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก

สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจน เป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยเชื้อจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน จนกระทั่งได้โมเลกุลเล็กและนำเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งของพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ สำหรับสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายเช่นกัน และเซลล์จุลินทรีย์จะนำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน เพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์เช่น สารโปรตีน และ nucleic acid เป็นต้น โดยปกติเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10-15 ซึ่งหมายความว่าเวลาที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปใช้ในเซลล์ 10-15 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย จึงจะทำให้เกิดความสมดุลของสารประกอบ

ทั้งสองในเซลล์ และจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดี (Alexander, 1977)

การใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เช่น ต้นพืชตระกูลถั่วต่าง ๆ อาจจะไม่จำเป็นต้องเติมสารไนโตรเจน หรืออาจจะเติมในปริมาณที่น้อยกว่าที่ใช้กับเศษวัสดุที่มีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง วัสดุเศษพืชตระกูลถั่วมีปริมาณไนโตรเจนค่อนข้างสูงกว่าวัสดุการเกษตรชนิดอื่น ซึ่งจะมีผลทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดอย่างรวดเร็วมากขึ้น และใช้ระยะเวลาการย่อยสลายสั้นกว่าวัสดุที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ (Cotrufo และคณะ, 1995)

นอกจากนี้ ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาว่าปุ๋ยหมักที่ทำนั้นย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ และสามารถนำไปใช้ได้หรือยังโดยปกติถ้าปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนระหว่าง 26-35 ถือว่าสามารถนำปุ๋ยหมักดังกล่าวไปใช้ใส่ในดินได้โดยไม่ทำให้พืชเป็นอันตราย แต่ถ้าค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงถึง 20 แสดงว่าเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี

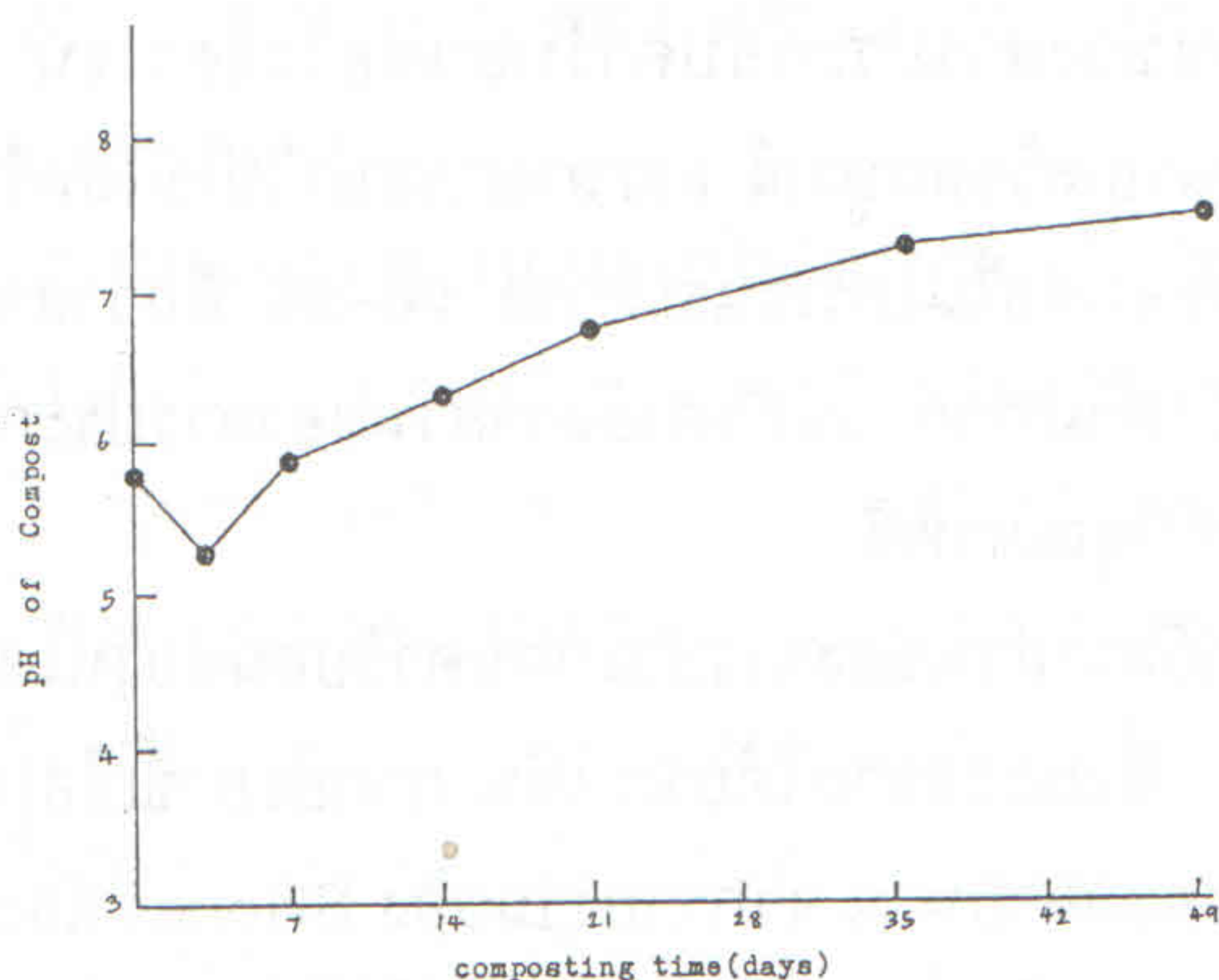
วัสดุเศษพืชบางชนิดมีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก เนื่องจากมีองค์ประกอบของลิกนินค่อนข้างสูง ซึ่งย่อยสลายได้ยาก เช่น กากอ้อย ชี้อ้อย และขุยมะพร้าว เป็นต้น วัสดุเหล่านี้จะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนาน จากรายงานของ Briones และ Ineson (1996) พบว่าการหมักใบพืชยูคาลิปตัสร่วมกับเศษใบพืชที่ย่อยสลายง่ายพวกใบไธส จะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายสั้นกว่าการหมักใบยูคาลิปตัสอย่างเดียว โดยมีการปลดปล่อย CO_2 เพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการย่อยสลายมีเพิ่มมากขึ้น และมีผลทำให้การปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในรูปของแอมโมเนียมเพิ่มขึ้นด้วย

5. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

โดยทั่วไปความเป็นกรดเป็นด่างของวัสดุจะไม่มีผลกระทบมากนักต่อกระบวนการย่อยสลาย Bertoldi และคณะ (1983) รายงานว่าวัสดุที่มี pH อยู่ในช่วง 3.0-11.0 สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5.5-8.0 เนื่องจากแบคทีเรียที่ชอบ pH ในช่วงที่เป็นกลาง ส่วนเชื้อราสามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพที่ค่อนข้างเป็นกรดได้ แต่โดยปกติแล้ว pH เริ่มต้นในการหมักจะค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อยคืออยู่ในช่วงประมาณ 6.0 ซึ่งถือเป็น pH ที่พบใน cell sap ของพืชส่วนใหญ่ ดังนั้นในระหว่างกระบวนการย่อยสลายพบว่าในช่วงแรก pH จะลดลงโดยกิจกรรมของ acid-forming bacteria ซึ่งจะย่อยสารประกอบคาร์บอนทำให้เกิดกรดอินทรีย์ มีผลทำให้ pH ค่อนข้างเป็นกรดประมาณ 4.5-5.0 แต่หลังจากนั้นจะเป็นด่างเล็กน้อยประมาณ 7.5-8.5 เนื่องจากโปรตีนถูกย่อยสลายและมีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกมา อย่างไรก็ตามถ้าหากมีการรักษาระดับความชื้นการระบายอากาศ และการคลุกเคล้าวัสดุให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอแล้วระดับความเป็นกรดเป็นด่างมักจะไม่ค่อยมีผลต่อกระบวนการย่อยสลาย (FAO, 1987)

Stuetzenberger และคณะ (1970) ทดลองวัดระดับ pH จากตัวอย่างที่เก็บจากกองปุ๋ยหมักนำมาหาค่าเฉลี่ยในช่วง 3 วันแรกจะลดลงจากเดิมเหลือ 5.3 ถึง 5.7 หลังจากนั้น pH จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่ออยู่ในช่วงระหว่าง 7.0-8.5 Gaur (1980) กล่าวว่าในช่วง 2-3 วัน pH ของปุ๋ยหมักจะมีระดับลดลง เนื่องจากในช่วงแรกสามารถย่อยสลายได้ง่ายอย่างรวดเร็วและผลิต

กรดอินทรีย์บางชนิด มีผลทำให้ pH ลดลงถึงระหว่าง 4.5-5.0 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการหมัก จะมีผลทำให้ pH สูงขึ้นด้วย และจะรักษาระดับ pH อยู่ในช่วงระหว่าง 7.5-8.5 การใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรไม่ค่อยมีปัญหาทางด้าน pH มากนัก เพราะโดยปกติค่า pH ของเศษซากพืชอยู่ในช่วงเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อย นอกจากนี้สารอินทรีย์วัตถุมีคุณสมบัติที่เป็นลักษณะของ buffer ที่ดี โดยจะช่วยรักษาระดับ pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก

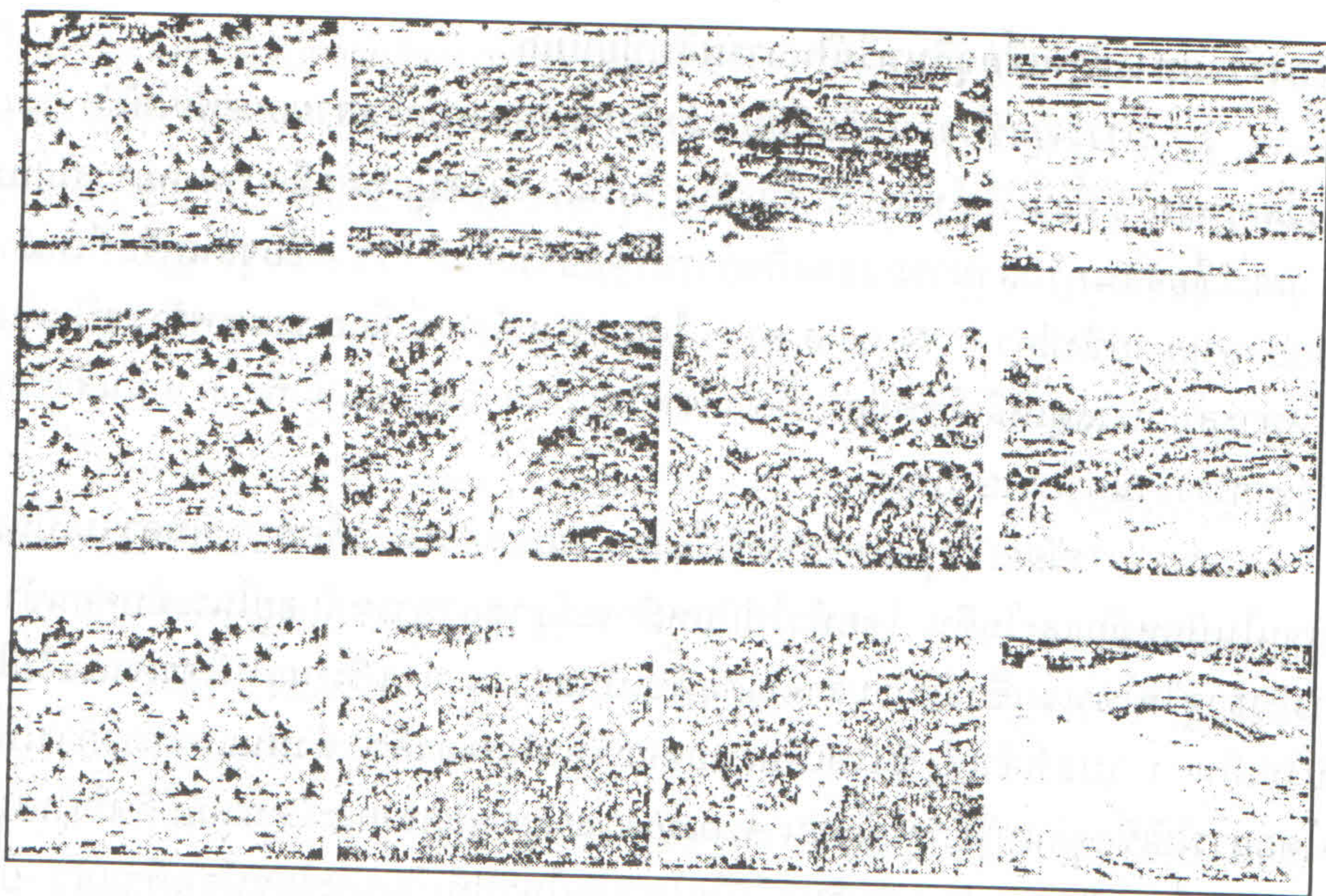


ภาพที่ 8 : การเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่างของวัสดุในกองปุ๋ยหมัก (Stuetzenberger และคณะ, 1970)

6. ขนาดของวัสดุ (size of material)

อัตราความเร็วในการเกิดการออกซิเดชันทางชีววิทยาเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณของพื้นที่ผิวที่ให้เชื้อจุลินทรีย์เข้ายึดเกาะ ถ้าพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์เข้ายึดเกาะได้ดีและทำให้การย่อยสลายเร็วขึ้น วัสดุในการหมักควรมีขนาดเล็กแต่ต้องมีช่องว่างเพียงพอในการระบายอากาศ ถ้าขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ลดอัตราการระบายอากาศของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Crawford, 1983) แต่ถ้าวัสดุมีขนาดใหญ่เกินไปพื้นที่ผิวในการย่อยสลายจะลดลงซึ่งจะทำให้กระบวนการย่อยสลายช้าลง ดังนั้นในกรณีที่มีการถ่ายเทอากาศโดยธรรมชาติขนาดที่พอเหมาะของวัสดุที่ใช้ในการหมักควรมีความยาวของแต่ละชั้นประมาณ 5 เซนติเมตร แต่ถ้ามีการบีบอัดอากาศจากภายนอกพร้อมด้วยชั้นส่วนอาจมีขนาดเล็กถึง 1 เซนติเมตร (FAO, 1987)

ขนาดของเศษวัสดุ ถ้าเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กได้แก่ ขี้สับข้าว เศษปอ และขุยมะพร้าว การผสมคลุกเคล้าทำได้ทั่วถึง พื้นที่ผิวสัมผัสมีมาก ดังนั้นโอกาสที่จะถูกย่อยสลายจึงมีมากกว่า สำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ได้แก่ ฟางข้าว และผักตบชวา การผสมคลุกเคล้าทำได้ไม่ทั่วถึงนัก และปฏิบัติค่อนข้างลำบาก ดังนั้นการกองปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุขนาดใหญ่จึงควรจะเป็นชั้นๆ และเมื่อถึงเวลากลับกองปุ๋ยหมักจะเป็นการช่วยผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันดียิ่งขึ้น แต่วัสดุพืชที่มีขนาดใหญ่ซึ่งเป็นเส้นหรือท่อนั้น จะทำให้ภายในกองปุ๋ยหมักมีการแพร่กระจาย หรือการระบายอากาศดีกว่าวัสดุที่มีขนาดเล็ก (เสียงแจ้ว และคณะ, 2534) เนื่องจากวัสดุขนาดใหญ่จะมีลักษณะโปร่งมากกว่า



ภาพที่ 9 : แสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผิวของฟางข้าวเมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายในสภาพที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ความสดของเศษพืช โดยปกติจะทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชที่แห้ง เนื่องจากสะดวกในการกองและการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักในด้านความชื้นและการระบายอากาศ ในบางกรณีอาจจะใช้เศษพืชสดซึ่งก็สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ต้องระมัดระวังในเรื่องความชื้น เพราะการใช้เศษพืชสดจะมีปริมาณน้ำมากและการระบายอากาศไม่ดี อาจเกิดกระบวนการเน่าเสียภายในกองปุ๋ยจนเกิดกลิ่นเหม็นได้ (Gaur, 1980 ;พิทยากร และคณะ, 2534) ดังนั้นในกรณีที่เป็นวัสดุเศษพืชสด เช่น ผักตบชวา อาจจะนำผักตบชวานั้นมากองตากแดดประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ หรืออาจจะนำวัสดุผักตบชวาสดมาผสมกับวัสดุชนิดอื่น เช่น ฟางข้าวในระหว่างการทำปุ๋ยหมักได้ ซึ่งทำให้ความชื้นในการทำปุ๋ยหมักมีความเหมาะสมต่อการย่อยสลายมากขึ้น

แนวทางการวิจัยในอนาคตและข้อเสนอแนะ

จากผลงานวิจัย และการทดสอบต่างๆ ที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าจะสามารถกำหนดแนวทางในการแยกและคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเศษพืชเพื่อทำปุ๋ยหมักได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามการค้นคว้าวิจัยทางด้านการผลิตสารเร่งประเภทจุลินทรีย์สำหรับทำปุ๋ยหมักยังคงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก และจะต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องเพื่อจะได้สายพันธุ์เชื้อจุลินทรีย์ใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อีกทั้งการพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีใหม่ๆ ทางด้านการเพิ่มปริมาณเชื้อ การผสมเชื้อ เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการ และการเก็บรักษาเชื้อในสารเร่งให้มีคุณภาพคงเดิมเป็นเวลานานๆ ตลอดจนแนวทางการนำเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดมาช่วยเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมักเพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกษตรกรสนใจการทำปุ๋ยหมักมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะได้ 4 ประเด็นหลักคือ

1. การวิจัยทางด้านเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตปุ๋ยหมัก

1.1 การวิจัยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายเศษพืชให้มีความเหมาะสมกับชนิดของวัสดุเหลือใช้ ทั้งนี้เพื่อให้การใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตปุ๋ยหมักมีความเหมาะสมกับวัสดุที่จะย่อยสลาย และเชื้อจุลินทรีย์สามารถแสดงกิจกรรมได้อย่างเต็มที่ เช่นเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับวัสดุประเภทที่ย่อยสลายยากซึ่งมีค่า C/N ratio สูง ๆ ได้แก่ กากอ้อย ชี้เลื่อย ขุยมะพร้าว เป็นต้น หรือเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับวัสดุเหลือใช้ที่มีสมบัติจำเพาะได้แก่ กากตะกอนน้ำทิ้ง กากมันสำปะหลัง และเศษเหลือทิ้งจากโรงงานกระดาษ เป็นต้น

1.2 การวิจัยเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ เพื่อช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในปุ๋ยหมักและในดิน โดยทั่วไปปุ๋ยหมักจะมีธาตุอาหารหลักอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจนซึ่งมีความสำคัญต่อพืชเป็นอย่างมาก ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในปุ๋ยหมักอยู่ในระดับไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เพียงพอต่อการเจริญของพืช ดังนั้นแนวทางการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนโดยการใช้เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มนี้ เช่น *Azotobacter* sp. นอกจากจะมีคุณสมบัติตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศและเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแล้ว ยังสามารถผลิตสารประกอบพวกลูโคสและวิตามินสำหรับการเจริญของพืชด้วย จึงน่าจะมีบทบาทสำคัญต่อการยกระดับคุณภาพของปุ๋ยหมัก

1.3 การวิจัยเชื้อจุลินทรีย์ที่ละลายสารประกอบฟอสเฟต เพื่อเพิ่มปริมาณและความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักและดิน การเพิ่มคุณภาพทางด้านธาตุอาหารของปุ๋ยหมักจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถจูงใจให้เกษตรกรหันมาให้ความสนใจในการผลิตและใช้ปุ๋ยหมักมากขึ้น เช่นการเติมหินฟอสเฟตและเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถละลายสารประกอบฟอสเฟตในกองปุ๋ย จะสามารถเพิ่มปริมาณฟอสเฟตในรูปที่เป็นประโยชน์สูงขึ้นในระหว่างกระบวนการย่อยสลายวัสดุทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากปัจจัยทางด้านอุณหภูมิและระดับ pH จะเอื้ออำนวยและส่งเสริมต่อกระบวนการปลดปล่อยฟอสฟอรัส ดังนั้นการใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ร่วมกับการเพิ่มปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักและในดิน นับเป็นแนวทางการวิจัยที่สำคัญอีกแนวทางหนึ่ง

1.4 การวิจัยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีสมบัติในการควบคุมหรือยับยั้งเชื้อโรคพืช เพื่อใช้ประโยชน์ของเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวในการยับยั้งเชื้อโรคพืชในดิน การควบคุมเชื้อโรคพืชโดยชีววิธีนับว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถควบคุมหรือกำจัดจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ นอกเหนือจากการควบคุมโดยการใช้สารเคมี ซึ่งอาจมีผลตกค้างและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ และสภาพแวดล้อมโดยรวม ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดสามารถจะสร้างสารปฏิชีวนะออกมาและยับยั้งเชื้อโรคพืชได้ หรืออาจเนื่องจากการที่จุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถทำลายเซลล์ของเชื้อโรคพืชได้โดยตรง ดังนั้นการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถยับยั้งเชื้อโรคพืชได้หลายชนิดใส่รวมลงในสารเร่งทำปุ๋ยหมักจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาคุณภาพของปุ๋ยหมักและสามารถลดอัตราการเกิดโรคพืช นอกจากนั้นยังเป็นการประหยัดค่ายาปราบศัตรูพืชและไม่มีผลของพิษตกค้างสะสมอีกด้วย

2. การวิจัยด้านกระบวนการผลิตสารเร่งจุลินทรีย์ทำปุ๋ยหมัก

เทคโนโลยีการผลิตเป็นปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพในการผลิตสารเร่งประเภทจุลินทรีย์ทำปุ๋ยหมัก ในระยะแรกอุปกรณ์และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการมุ่งเน้นทางด้านการวิจัยจึงมี

ขนาดเล็กไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมทำให้เป้าหมายการผลิตในระยะแรกค่อนข้างต่ำ ดังนั้นหากต้องการจะขยายกำลังการผลิตให้มากขึ้นกว่าเดิมจนกระทั่งเข้าสู่ระดับอุตสาหกรรมต้นแบบ และพร้อมที่จะนำไปปรับปรุงใช้ในระดับอุตสาหกรรมอย่างแท้จริงจะต้องมีการพัฒนาทั้งทางด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนสารอาหารที่ใช้เลี้ยงเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์รวมทั้งขั้นตอนการผลิต ซึ่งควรจะมีการ ดำเนินการวิจัยเพื่อเพิ่มเติมในด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การวิจัยการเลือกใช้วัสดุหรือสารประกอบที่มีราคาถูก และหาได้ในประเทศ ทดแทนสารเคมีบริสุทธิ์ที่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศในกระบวนการเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึง ต้องมีการทดสอบสูตรอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์เหล่านี้

2.2 การวิจัยเทคนิคการผสมเชื้อโดยคำนึงถึงปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ และผลกระทบ ต่อการมีชีวิตอยู่ของเชื้อในวัสดุผสม (carrier) เพื่อยกระดับคุณภาพของสารเร่งที่ผลิตได้ รวมทั้งการ รักษาคุณภาพของสารเร่งเพื่อให้มีประสิทธิภาพในระหว่างการเก็บรักษา

2.3 การวิจัยเพื่อศึกษาความเหมาะสมของวัสดุผสมที่ใช้ในการผลิต และศึกษาวัสดุผสม ชนิดต่าง ๆ ที่จะสามารถนำมาใช้ได้โดยมีแนวทางที่จะใช้วัสดุในประเทศ และราคาถูก โดยที่วัสดุผสมจะ ต้องสามารถเก็บรักษาเชื้อไว้ได้ยาวนาน และยังคงมีประสิทธิภาพสูงในระหว่างการเก็บรักษาดังกล่าว

2.4 การวิจัยวิธีการในการเก็บรักษาดันตอเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิต เนื่องด้วยตัน ดอเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์มีความสำคัญยิ่งต่อการผลิต ดังนั้นการวิจัยเพื่อให้ได้วิธีการเก็บรักษาดันตอเชื้อ จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงและเก็บได้ยาวนาน โดยเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้ยังคงมีประสิทธิภาพและมี กิจกรรมสูง จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำรงสายพันธุ์เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพเหล่านี้

3. งบประมาณสนับสนุนการวิจัย

สำหรับกิจกรรมการวิจัยในด้านการใช้เชื้อจุลินทรีย์ เพื่อประโยชน์ทางการเกษตรกรรมได้มี หน่วยงานของราชการหลายแห่งดำเนินการอยู่อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นกิจกรรมการวิจัยเหล่านี้มีความจำเป็น ที่จะต้องได้รับการสนับสนุนทางด้านงบประมาณ สำหรับในส่วนของกรมพัฒนาที่ดิน มีหน่วยงานที่ทำ การวิจัยทางด้านกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในดิน และเชื้อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวกับการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก มาตั้งแต่ปี 2524 และยังคงดำเนินการอยู่อย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ได้รับงบประมาณสนับสนุนการ วิจัยอย่างต่อเนื่องทุกปีจนทำให้กิจกรรมวิจัยในหลายส่วนสามารถพัฒนาจนกระทั่งนำไปใช้งานในพื้นที่ เกษตร และถ่ายทอดให้แก่เจ้าหน้าที่รัฐและเกษตรกรด้วย

4. การพัฒนาด้านสารเร่งทำปุ๋ยหมัก

4.1 การพัฒนาและการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่สามารถผลิตขึ้นเองภายในประเทศทั้งใน ขั้นตอนการจัดเชื้อที่ปนเปื้อนในอาหารที่ใช้เลี้ยงและในวัสดุปลูกเชื้อ ขั้นตอนการเพิ่มปริมาณเชื้อและ ขั้นตอนการผสมเชื้อ เช่น การติดตั้งเครื่อง autoclave, fermenter และเครื่องผสมคลุกเคล้าเชื้อที่มี ขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตขึ้นเองและมีประสิทธิภาพการใช้งานใกล้เคียงกับ เครื่องมือจากต่างประเทศ เพื่อเป็นโรงงานต้นแบบที่เหมาะสม

4.2 การพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรม ในปัจจุบันมีภาคเอกชนประมาณ 2-4 บริษัทที่ดำ เนินการผลิตสารเร่งประเภทจุลินทรีย์สำหรับทำปุ๋ยหมักซึ่งภาคเอกชนเหล่านี้มีความต้องการแนวทางการ พัฒนากระบวนการผลิตเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น หน่วยงานของรัฐจึงควรนำผลการวิจัยที่

ดำเนินการอยู่และที่เสร็จแล้ว นำมาพัฒนาเป็นแนวทางที่สามารถปรับใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามลักษณะของการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาจากภาครัฐสู่ภาคเอกชนควรเป็นไปในลักษณะความร่วมมือทางวิชาการและการสนับสนุนด้านงบประมาณการวิจัยและพัฒนา

4.3 การพัฒนาข้อกำหนดหรือพระราชบัญญัติเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์เป็นองค์ประกอบสำคัญในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากในปัจจุบันนี้ยังไม่มีข้อกำหนดหรือพระราชบัญญัติที่จะใช้ในการควบคุมผลิตภัณฑ์เหล่านี้เลย จึงทำให้ภาคเอกชนนำผลิตภัณฑ์ออกจำหน่ายในตลาดโดยไม่ให้ความสำคัญกับการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์มากนัก แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้มีหน่วยงานของรัฐ เช่น กรมพัฒนาที่ดิน กรมวิชาการเกษตร และกรมส่งเสริมการเกษตร เป็นต้น ได้พยายามจัดทำเป็นฉบับร่างของพระราชบัญญัติ เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการใช้เชื้อจุลินทรีย์ทางการเกษตรอยู่

4.4 การพัฒนานักวิชาการและบุคลากรทางด้านการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมักและในการเกษตรกรรมต่างๆ ในปัจจุบันมีหน่วยงานราชการอยู่หลายแห่งที่ดำเนินการวิจัยทางด้านนี้ และมีสถาบันอุดมศึกษาเกือบทุกแห่งที่มีการเรียน การสอน ทางด้านจุลชีววิทยา ดังนั้นการพัฒนานักวิชาการและบุคลากรในเฉพาะทางด้านนี้ค่อนข้างมีความจำเป็น ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมการวิจัยที่จะมีขึ้นในอนาคต สำหรับในส่วนของกรมพัฒนาที่ดินได้เห็นความสำคัญในการพัฒนานักวิชาการ และบุคลากรจึงสนับสนุนให้มีการฝึกอบรม การฝึกงาน และการถ่ายทอดเทคโนโลยี และความรู้ทางด้านนี้แก่นิสิต นักศึกษา นักวิชาการ รวมถึงบุคลากรจากภาคเอกชน และผู้สนใจทั่วไปอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นถ้าหากผลของการค้นคว้าวิจัย และพัฒนาดังกล่าวสำเร็จตามจุดประสงค์ที่วางไว้ จะสามารถนำเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ มาใช้ประโยชน์ร่วมกับปุ๋ยหมัก โดยอาจจะนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพของปุ๋ยหมักโดยตรง หรือการใช้ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุสำหรับการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ใส่ในดินต่อไป ประกอบกับการพัฒนาด้านการผลิตสารเร่งเพื่อให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลงเพิ่มกำลังการผลิตสูงขึ้นให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร ก็จะสามารถกระตุ้นให้เกษตรกรหันมาให้ความสนใจการทำปุ๋ยหมักเพื่อปรับปรุงดินมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- บุญนะ อานันทนะ. 2532. ปริมาณและการกระจายอินทรีย์วัตถุของดินในประเทศไทย. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 168. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ ๙. 17 หน้า.
- ปรัชญา ธัญญาดี. 2535. ความเป็นมาของการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุในประเทศไทย. ใน รายงานการประชุมสัมมนา เรื่อง แนวทางหลักเพื่อการพัฒนาการเกษตรยั่งยืน. วันที่ 20-21 มกราคม 2535. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 36-48.
- พิทยากร ลิ้มทอง, วรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, เสียงแจ้ว พิริยพณต์, ประโสด ธรรมเขต, ชุศรี ยสินธร, และปรัชญา ธัญญาดี. 2534. ผลของวิธีการระบายอากาศ ต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก จากฟางข้าว. รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 35-44.

เล็ก มอญเจริญ และ สุนันท์ คุณาภรณ์. 2535. สถานะทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย. ในคู่มือการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย. ศูนย์การพิมพ์พลชัย. กรุงเทพฯ. หน้า 11-33.

วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, พืทยากร ลิ้มทอง, เสียงแจ้ว พิริยพณต์, ประโสด ธรรมเขต, ชุศรี ยสินธร, และปรัชญา ธัญญาดี. 2534. ผลของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ ต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว, รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 13-25.

สมศักดิ์ วังไ. 2528. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ 193 หน้า.

เสียงแจ้ว พิริยพณต์, พืทยากร ลิ้มทอง, ปรีดี ดีรักษา, วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, ปรัชญา ธัญญาดี, และ Shinichi Yoshioka. 2534. ผลของการใช้วัสดุชนิดต่างๆ ในการทำปุ๋ยหมักต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์. รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 45-52.

Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2nd ed, John Wiley and Sons, Inc., New York, 467 p.

Bertoldi, M., G. Vallini and A. Pera. 1983. The biology of composting : A review Waste Manage. and Res. 1: 157-176.

Bertoldi, M., G. Vallini, A. Pera and F. Zocconi. 1982. Comparison of three window compost systems. Biocycle 23(2) : 45-50

Briones, M.J.I. and P. Ineson. 1996. Decomposition of eucalyptus leaves in litter mixtures. Soil Biochem. 28(10) : 1381-1388

Campbell, C.D. and J.F. Darbyshire. 1990. The composting of tree bark in small reactors : self heating experiments. Biol. Wastes. 31(2) : 145.

Cardenas, Jr., R.R. 1992. Composting. Encyclopedia of Environmental Science and Engineering. 8p.

Cosico, W.C. 1985. Organic Fertilizers : Their nature, properties and use. A Publication of the Farming Systems and Soil Resources Institute, University of the Philippines at Los Banos, Laguna. Philippines. 136 p.

Cotrufo, M.F., P. Ineson and J.D. Roberts 1995. Decomposition of brich leaf litters with varying C-to-N-rations. Soil Biochem. 27 (9) : 1219-1221.

Crawford, J.H. 1983. Composting of agricultural wastes. A Review. Process Biochem. 18 : 14-18.

Curtin, D., F. Selles, H. Wang, C.A. Campbell and V.O. Biederbeck. 1998. Carbon dioxide emissions and transformation of soil carbon and emissions and during wheat straw decomposition. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 1035-1041.

- Dindal, D.L. 1978. Soil organisms and stabilizing waste. *Compost Sci.* 9: 8-11.
- FAO. 1978. Organic materials and soil productivity. *FAO Soils Bulletin* 35. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 119 p.
- FAO. 1987. Soil management : Compost production and use in tropical and subtropical environments. *FAO Soils Bulletin* 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 177 p.
- Gaur, A.C., K.V. Sadasivam, R.S. Mathur and S.P. Magu. 1982. Role of mesophilic fungi in composting. *Agric. Wastes.* 4(6) : 453-468.
- Golueke, C.G. 1977. The biological approach of solid waste management. *Compost Sci.* 8: 4-9.
- Gaur, A.C. 1980. The present position of composting and agricultural aspects, p. 1-6. In *Compost Technology. Improving soil fertility through organic recycling.* New Delhi India Oct-Nov. 1980. Project field document No.13.
- Gaur, A.C. 1980. Fundamentals of composting. In *Compost Technology, FAO/UNDP regional project.* Project field document. 13 : 7-14.
- Gaur, A.C., K.V. Sadsivam, R.S. Mathur and S.P. Magu. 1982. Role of mesophilic fungi in composting. *Agric. Wastes.* 4 : 453-460.
- Goel, S.C. and K.B. Ramachandran. 1983. Studies on the adsorption of cellulase on lignocellulosics. *J. Ferment. Technol.* 61(3) : 281-286.
- Gomez, P.J.H.C. and Y.K. Park. 1983. Conversion of cane bagasse to compost and its chemical characteristic. *J. Ferment. Technol.* 61(3) : 329-332.
- Haug, R.T. 1979. Engineering principles of sludge composting. *J. Water Pollution Control Fed.* 51: 2189-2195.
- Limtong, P., S. Vangnai, V. Sunantapongsuk and S. Piriyaiprin. 1990. Isolation and selection of thermophilic cellulolytic microorganisms for compost production in Thailand. *Kasetsart Journal.* 24(1) : 108-115.
- Logsdon, G. 1976. *The gardeners guide to better soil.* Rodald Press. Inc. Emmaus, Pennsylvania. 246 p.
- Lynch, J.M. 1993 Substrate availability in the production of composts. In H.A.J. Hoitink and H.M. Keener (eds.) *Science and Engineering of composting : Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects.* Renaissance Publications, Worthington.
- Paul, E.A. and F.E. Clark. 1989. *Soil Microbiology and Biochemistry.* Academic Press Inc., San Diego. 275 p.
- Poincelot, R.P. 1975. *The biochemistry and methodology of composting.* The connecticut

- Agricultural Experiment Station. New Haven Bulletin. 754 : 1-17.
- Romanelli, R.A., C.W. Houston and S.M. Barnett. 1975. Studies on thermophilic cellulolytic fungi. *Microbiol.* 32(2) : 276-284.
- Stratton, M.L., A.V. Barker and J.E. Rechcigl. 1995. Compost, pp. 249-309. In J.E. Rechcigl (ed.) *Soil Amendments and Environmental Quality* Lewis Publishers ; New York. 504 p.
- Stuetzenberger, F.J., A.J. Kaufman and R.D. Lossin. 1970. Cellulolytic activity in municipal solid waste composting. *Can J. Microbiol.* 16 : 553-560.
- Shi, W., J.M. Norton, B.E. Miller and M.G. Pace. 1999. Effects to aeration and moisture during windrow composting on the nitrogen fertilizer values of dairy waste compost. *Appl. Soil Ecol.* 11(1) : 17-28.
- Suler, D.J. and M.S. Finstein. 1977. Effect of temperature, aeration and moisture on CO₂ formation on bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Appl. Environ. Microbiol.* 33(2) : 345-350.
- Tansey, M.R. and T.D. Brock. 1978. Microbial life at high temperatures : Ecological aspects. In D.J. Kushner (ed.). *Microbial Life in Extreme Environment*. Academic Press Inc., London. 159 p.
- Tengerdy, R.P. 1985. Solid substrate fermentation. *Trends in Biotech.* 3(4) : 96-99.
- Yuthavong, Y. and G.C. Gibbons. 1994. *Biotechnology for development : Principles and practice relevant to developing countries*. National Science and Technology Development Agency. Bangkok. Thailand. P.185.