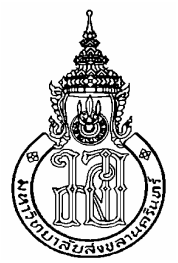


การศึกษาการนำของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง (STR20) มาหมักปุ๋ย

Study of Standard Thai Rubber (STR20) Factory Waste for Composting

ศิรินทรา วันดี

Sirinthrar Wandee

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Environmental Engineering
Prince of Songkla University
2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการนำของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง (STR20) มาหมักปุ๋ย
ผู้เขียน นางสาวศิรินทรา วันดี
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

……
(ดร.ธนิยา เกาศล)

คณะกรรมการสอบ

...……ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

...……...กรรมการ
(ดร.ธนิยา เกาศล)

...……...กรรมการ
(ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์)

...……...กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติ เจียมไชยศรี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

……..……
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการนำของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง (STR20) มาหมักปุ๋ย
ผู้เขียน นางสาวศิรินทรา วันดี
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการทดลองใช้ถังหมักแบบใช้อากาศระดับห้องปฏิบัติการสำหรับการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง (STR20) พบว่า มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง (ประมาณ 260-350) และมีปริมาณความชื้นต่ำ (ร้อยละ 24-58) ดังนั้น วัสดุหมักร่วมควรช่วยเพิ่มปริมาณความชื้นและปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ในการทดลองคือ อุณหภูมิ, ความชื้น, ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ค่าการนำไฟฟ้า, อินทรียวัตถุ, อินทรีย์คาร์บอน, ไนโตรเจน, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โปแทสเซียม, Fecal coliform, *E. coli* และ *Salmonella* sp. เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก กรมพัฒนาที่ดิน (2548) กำหนดค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต้องไม่เกิน 20 ปริมาณอินทรียวัตถุควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณธาตุอาหารหลัก N-P_2O_5-K_2O ควรมีค่า 1.0-0.5-0.5 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหมักของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง ร่วมกับตะกอนน้ำเสียชุมชน และผักตบชวาคือ 60 วัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้ผ่านมาตรฐานปุ๋ยหมัก

จากนั้นทำศึกษาการย่อยสลายของของเสียโรงงานผลิตยางแท่งโดยการเติมสารเร่ง พด. 1 ในถังหมักที่มีการย่อยสลายของของเสียโรงงานผลิตยางแท่งเพียงอย่างเดียว ผลที่ได้พบว่าการเติมสารเร่ง พด.1 ไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารหลักไม่เพียงพอ นอกจากนี้ระยะเวลาในการย่อยสลายจะมากกว่า 60 วัน ผลการทดลองที่ได้นี้ไม่ผ่านมาตรฐานคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน ดังนั้นสารเร่ง พด.1 ไม่ช่วยลดระยะเวลาในการย่อยสลายของของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง เมื่อหมักเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อนำของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งหมักร่วมกับตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล และผักตบชวา พบว่าสารเร่ง พด.1 ช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายดิน และมีปริมาณธาตุอาหารหลักได้ตามมาตรฐานปุ๋ยหมัก

ในการหาวัสดุหมักร่วมที่เหมาะสมสำหรับการหมักของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง ซึ่งวัสดุหมักที่นำมาใช้ในการทดลองมีหลายชนิด ผลการทดลองพบว่า ของเสียโรงงานผลิตยางแท่งเหมาะสมที่หมักร่วมกับตะกอนน้ำเสียชุมชนและผักตบชวา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารหลัก ($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$) สูง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนผ่านมาตรฐานเพื่อใช้เป็นปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายยังปราศจากจุลินทรีย์ก่อโรค ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

ผลของงานวิจัยนี้เป็นการกระตุ้นที่ดี เนื่องจากตะกอนน้ำเสียชุมชน ผักตบชวา และของเสียโรงงานผลิตยางแท่งเป็นของเสียที่ไม่มีค่า และจำเป็นที่ต้องกำจัด วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำของเสียที่ไม่มีค่ากลับมาใช้ประโยชน์โดยเปลี่ยนให้เป็นปุ๋ยหมักหรือวัสดุในการปรับปรุงดิน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำไปสู่แนวทางสำหรับการจัดการของเสียเหล่านี้ได้อย่างยั่งยืน

Thesis Title	Study of Standard Thai Rubber (STR20) Factory Waste for Composting
Author	Miss Sirinthrar Wandee
Major Program	Environmental Engineering
Academic Year	2009

ABSTRACT

In this study, the experiments were conducted using an aerobic reactor (Lab Scale) for rubber factory waste composting. The result of studying the basic properties of the rubber factory waste (STR20) showed that the waste contains high C/N ratio (approximately 260-350) and low moisture content (24-58%). Therefore, the co-composting materials should help increase the moisture and improve the C/N ratio to a suitable level. The parameters monitored in the experiments include temperature, moisture content, pH, electrical conductivity, organic matter, organic carbon, nitrogen, C/N ratio, P_2O_5, K_2O, Fecal Coliforms, *E. coli* and *Salmonella* sp. Once the composting period is ended, the Land Development Department of Thailand (2005) recommended the C/N ratio to be no more than 20, the organic matter to be more than 30% dry weight and the major nutrient (N-P_2O_5-K_2O) at 1.0-0.5-0.5. The experimental results showed that the suitable period for composting rubber factory waste with sewage sludge and water hyacinth is 60 days. The resulting composes passed the standard to be used as fertilizer.

Next, the decomposition of rubber factory waste was studied by adding cellulolytic microbial activator (CMA) in the reactor that composes the rubber factory waste alone. The results indicated that adding cellulolytic microbial activator does not affect the finished product that is the product does not contain enough major nutrients. Furthermore, the decomposition period is longer than 60 days. This result disagrees with the suggestion from the Lab Development Department of Thailand such that the CMA does not help fasten the decomposition process of the rubber factory waste composting when the waste is composed alone. When the rubber factory waste was composed with dewatered sludge from seafood industry and water hyacinth, however, adding the CMA improves the finished product such that the soil-like texture is achieved and the major nutrient is at a fertilizer level standard.

To find suitable materials to co-compose with the rubber factory waste, many materials were tested in the conducted experiments. The experimental results indicated that the rubber factory waste is best suited to compose with sewage sludge and water hyacinth because the finished product contains a high level of major nutrients ($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$) and the C/N ratio passed the standard to be used as fertilizer. In addition, the finished products from this method are freed from pathogen microorganisms which are environmental friendly.

The results in this thesis are encouraging findings because the sewage sludge, the water hyacinth and the rubber factory waste are all invaluable waste that are needed to be disposed. The methods presented in this thesis, however, turn these invaluable wastes into useful fertilizers/soil-conditioners. Thus, it is a roadmap of a sustainable way to manage these wastes.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือจากหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.ธนิยา เกาศล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ด้วยความเอาใจใส่ดูแล และให้กำลังใจเป็นอย่างดียิ่ง ทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์, รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติ เจียมไชยศรี และ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติมในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และทุนวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณโรสนา กาซอ และคุณอมรรัตน์ ธานีรัตน์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับคำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำการทดลอง และการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ บริษัทสยามอินโด รับเบอร์ จำกัด และบริษัท สงขลาแคนนิ่ง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปเก็บตัวอย่างและให้ข้อมูลในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พี่เก๋และพี่หมี ที่ช่วยส่งตะกอนน้ำเสียชุมชนของระบบบำบัดน้ำเสียตำบลกะรน จังหวัดภูเก็ต เพื่อใช้ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณเริงฤทธิ์ บานเย็น และคุณนิติ เหมพัฒน์ ที่ช่วยเหลือในการทำการทดลองและให้คำปรึกษาในเรื่องการหมักปุ๋ย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน ภาควิชาปฐพี และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับคำแนะนำ และวิธีการวิเคราะห์ไนโตรเจน และอินทรีย์คาร์บอน

ขอขอบคุณ คุณพ่อสมหมาย-คุณแม่ประไพศรี วันดี สำหรับทุนการศึกษาและกำลังใจที่มีให้เสมอ รวมทั้งเพื่อนๆ พี่น้องทุกคน ที่ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

ศิรินทรา วันดี

สารบาญ

	หน้า
สารบาญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(13)
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 บทตรวจเอกสาร	2
1.2.1 การหมักปุ๋ย	2
1.2.2 การย่อยสลายทางชีววิทยา	7
1.2.3 รูปแบบการหมัก	8
1.2.4 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการหมักปุ๋ย	14
1.2.5 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำปุ๋ยหมัก	27
1.2.6 การเติมวัสดุปรับโครงสร้าง, การตัดขนาดของวัสดุหมัก และการผสม	29
1.2.7 การจัดการกลิ่น	29
1.2.8 ตัวเร่งปฏิกิริยาในการหมักปุ๋ย	30
1.2.9 การสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย	32
1.2.10 คุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก	34
1.2.11 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก	35
1.2.12 วัสดุหมัก	35
1.2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
1.3 วัตถุประสงค์	44
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	44
2. วิธีการวิจัย	45
2.1 วิธีการดำเนินการ	45
2.1.1 ระบบที่ใช้ในการทดลอง	45
2.1.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง และวัสดุหมักร่วม	45
2.1.3 ชุดการทดลอง	47
2.1.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	48

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.5 วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	51
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	54
3.1 คุณสมบัติของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง	54
3.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง	55
3.1.2 ลักษณะทางเคมีของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง	55
3.2 ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 1	58
3.2.1 ลักษณะของวัสดุหมัก ชุดการทดลองที่ 1	58
3.2.2 คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น ชุดการทดลองที่ 1	59
3.2.3 ปัจจัยในการควบคุมระบบ ชุดการทดลองที่ 1	60
3.2.4 ลักษณะทางเคมี ชุดการทดลองที่ 1	63
3.2.5 ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ชุดการทดลองที่ 1	66
3.2.6 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 1 เทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)	69
3.3 ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 2	70
3.3.1 ลักษณะของวัสดุหมัก ชุดการทดลองที่ 2	71
3.3.2 คุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้น ชุดการทดลองที่ 2	71
3.3.3 ปัจจัยในการควบคุมระบบ ชุดการทดลองที่ 2	73
3.3.4 ลักษณะทางเคมี ชุดการทดลองที่ 2	75
3.3.5 ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ชุดการทดลองที่ 2	79
3.3.6 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 2 เทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)	84
3.4 ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 3	86
3.4.1 คุณสมบัติของวัสดุหมัก ชุดการทดลองที่ 3	86
3.4.2 คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น ชุดการทดลองที่ 3	87
3.4.3 ปัจจัยในการควบคุมระบบ ชุดการทดลองที่ 3	89
3.4.4 ลักษณะทางเคมี ชุดการทดลองที่ 3	91
3.4.5 ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ชุดการทดลองที่ 3	94

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.6 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 3 เทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)	99
3.5 ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 4	100
3.5.1 คุณสมบัติของวัสดุหมัก ชุดการทดลองที่ 4	101
3.5.2 คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น ชุดการทดลองที่ 4	103
3.5.3 ปัจจัยในการควบคุมระบบ ชุดการทดลองที่ 4	105
3.5.4 ลักษณะทางเคมี ชุดการทดลองที่ 4	109
3.5.5 ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ชุดการทดลองที่ 4	112
3.5.6 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 4 เทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)	118
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	120
4.1 สรุป	120
4.2 ข้อเสนอแนะ	122
บรรณานุกรม	123
ภาคผนวก	135
ประวัติผู้เขียน	171

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ช่วงของอุณหภูมิสำหรับการเปลี่ยนแปลงชนิดจุลินทรีย์	21
1.2 กลุ่มจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบในการหมักปุ๋ย	26
1.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ย	29
1.4 ระยะเวลาที่ต้องการในการหมักปุ๋ยสำหรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่แตกต่างกัน	32
1.5 สมบัติทางเคมีของผักตบชวา	37
1.6 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของมูลวัว	38
1.7 คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล	39
2.1 วัสดุหมักร่วมและอัตราส่วนที่ใช้หมักร่วมกับของของเสียโรงงานผลิตยางแท่งในชุดการทดลองที่ 4	48
2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 3 ช่วงของการหมัก	48
3.1 ธาตุคาร์บอน, ไนโตรเจน และไฮโดรเจนของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS-O Analyzer	56
3.2 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง (STR20)	57
3.3 องค์ประกอบของวัสดุหมักในชุดการทดลองที่ 1	58
3.4 ลักษณะของวัสดุหมักในการทดลองชุดที่ 1	59
3.5 คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมสำหรับการทำปุ๋ยหมักในชุดการทดลองที่ 1	60
3.6 ลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในชุดการทดลองที่ 1	67
3.7 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติระหว่างผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของชุดการทดลองที่ 1 (60 วัน) และเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)	70
3.8 องค์ประกอบของวัสดุหมักในชุดการทดลองที่ 2	71
3.9 ลักษณะของวัสดุหมักในการทดลองชุดที่ 2	71
3.10 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นในชุดการทดลองที่ 2	72
3.11 ผลการวิเคราะห์ Fecal Coliforms และ *E. coli* ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของชุดการทดลองที่ 2	84
3.12 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติระหว่างผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของชุดการทดลองที่ 2 และเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)	85

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.13 องค์ประกอบของวัสดุหมักในชุดการทดลองที่ 3	86
3.14 คุณสมบัติของวัสดุหมัก ในการทดลองชุดที่ 3	87
3.15 คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น ในชุดการทดลองที่ 3	88
3.16 ผลการวิเคราะห์ Fecal Coliforms และ *E. coli* ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของชุดการทดลองที่ 3	99
3.17 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติระหว่างผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของชุดการทดลองที่ 3 และเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)	100
3.18 วัสดุหมักร่วมและอัตราส่วนที่ใช้หมักร่วมกับของของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง ในชุดการทดลองที่ 4	101
3.19 คุณสมบัติของของเสียที่ใช้ในชุดการทดลองที่ 4	103
3.20 ลักษณะสมบัติของวัสดุผสมเริ่มต้นในการทดลองชุดที่ 4	105
3.21 ผลการวิเคราะห์ Fecal Coliforms ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของชุดการทดลองที่ 4	117
3.22 ผลการวิเคราะห์ *E. coli* ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของชุดการทดลองที่ 4	118
3.23 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติระหว่างผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของชุดการทดลองที่ 4 และเกณฑ์มาตรฐานกรมพัฒนาที่ดิน (2548)	119
ตารางภาคผนวกที่	
ก.1 ขนาดของตะแกรงเบอร์ต่างๆ	146
ก.2 MPN สำหรับ 3 หลอดที่ความเข้มข้นของเชื้อที่ 0.1, 0.01, และ 0.001 กรัม Inocula ที่ความเชื่อมั่น 95%	151

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1 รูปแบบทั่วไปของการกระบวนการหมักปุ๋ย	3
1.2 การย่อยสลายอินทรียวัตถุสำหรับการหายใจแบบใช้ออกซิเจน	4
1.3 การย่อยสลายของอินทรียวัตถุสำหรับการหายใจแบบ Facultative	5
1.4 การย่อยสลายของอินทรียวัตถุสำหรับการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน	6
1.5 กระบวนการในการหมักปุ๋ยทั่วไป	9
1.6 ขั้นตอนในการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	10
1.7 กองหมักแบบพลิกกลับ	11
1.8 การหมักแบบกองหมักแบบใช้เครื่องเติมอากาศ (Aerated Static Pile)	12
1.9 ถังปฏิกิริยาวางในแนวตั้ง	13
1.10 ถังปฏิกิริยาวางในแนวนอน	14
1.11 วงจรไนโตรเจน	17
1.12 รูปแบบทั่วไปของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง ในกระบวนการหมักปุ๋ย	22
1.13 สายใยอาหารระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมในการหมักปุ๋ย	28
2.1 ถังหมักแบบใช้อากาศที่ใช้ในการทดลอง (แบบจำลอง)	46
2.2 ถังหมักแบบใช้อากาศที่ใช้ในการทดลอง (รูปจริง)	46
2.3 กระบวนการผลิตยางแท่ง STR20	51
3.1 ของเสียจากโรงงานงานผลิตยางแท่ง (STR20)	54
3.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1	61
3.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1	62
3.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1	63
3.5 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1	64
3.6 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1	65
3.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1	66
3.8 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในชุดการทดลองที่ 1	68
3.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2	73
3.10 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2	74

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.11 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2	75
3.12 การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2	76
3.13 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2	77
3.14 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2	78
3.15 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2	79
3.16 การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัส (% P_2O_5) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 2	81
3.17 การเปลี่ยนแปลงของโปแทสเซียม (% K_2O) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 2	82
3.18 การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียม (% Ca) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 2	83
3.19 การเปลี่ยนแปลงของแมกนีเซียม (% Mg) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 2	83
3.20 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 3	89
3.21 การเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 3	90
3.22 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 3	91
3.23 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 3	92
3.24 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก ในการทดลองชุดที่ 3	93
3.25 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในชุดการทดลองที่ 3	94
3.26 การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัส (% P_2O_5) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 3	96
3.27 การเปลี่ยนแปลงของโปแทสเซียม (% K_2O) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 3	96
3.28 การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียม (% Ca) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 3	97
3.29 การเปลี่ยนแปลงของแมกนีเซียม (% Mg) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 3	98
3.30 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 4	107
3.31 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 4	108
3.32 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 4	109
3.33 การเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 4	110
3.34 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 4	111
3.35 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวันที่ 0, 30, 45 และ 60	112
3.36 การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัส (% P_2O_5) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60	114

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.37 การเปลี่ยนแปลงโปแทสเซียม (% K_2O) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60	115
3.38 การเปลี่ยนแปลงแคลเซียม (% Ca) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60	116
3.39 การเปลี่ยนแปลงแมกนีเซียม (% Mg) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60	117
ภาพประกอบภาคผนวกที่	
ข.1 ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 จ. พัทลุง	153
ข.2 ผักตบชวาจากบึงคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	153
ข.3 ตะกอนน้ำเสียชุมชน จ. ภูเก็ต	154
ข.4 ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล จ. สงขลา	154
ข.5 มูลวัวจาก อ. สทิงพระ จ. สงขลา	155
ข.6 เปลือกผลไม้ ร้านค้าบริเวณ 108 ด้านข้างมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	155
ข.7 ชุดการทดลองที่ 1 ถังหมักที่ 1, 2 และ 3 (30, 45 และ 60 วัน)	156
ข.8 วัสดุหมักร่วมในชุดการทดลองที่ 1	156
ข.9 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 30 ชุดการทดลองที่ 1	157
ข.10 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 45 ชุดการทดลองที่ 2	157
ข.11 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ชุดการทดลองที่ 1	158
ข.12 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 1ในชุดการทดลองที่ 2 (ไม่เติมสารเร่ง พด.1)	158
ข.13 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 2 ในชุดการทดลองที่ 2 (เติมสารเร่ง พด.1)	159
ข.14 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 1 ในชุดการทดลองที่ 3 (ไม่เติมสารเร่ง พด.1)	159
ข.15 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 2 ในชุดการทดลองที่ 3 (เติมสารเร่ง พด.1)	160
ข.16 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 1 (ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+เปลือกผลไม้)	160
ข.17 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 2 (ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+ตะกอนน้ำเสียชุมชน)	161
ข.18 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 3 (ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+มูลวัว)	161
ข.19 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 4 (ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+มูลวัว+ผักตบชวา)	162
ข.20 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 5 (ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+ตะกอนน้ำเสียชุมชน+ผักตบชวา)	162

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบภาคผนวกที่	หน้า
ข.21 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 6	
(ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล+ผักตบชวา)	163
ค.1 กองหมักแบบ Windrow ในการหมักของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง	165

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

อุตสาหกรรมยางเป็นอุตสาหกรรมหลักของพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งอุตสาหกรรมยางแบ่งออกเป็นหลายประเภท และหนึ่งในอุตสาหกรรมยางที่มีการส่งออกเป็นหลัก คือ อุตสาหกรรมการผลิตยางแท่ง (STR20) เพื่อนำไปผลิตเป็นยางรถยนต์ พบว่าในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยมีโรงงานผลิตยางแท่งประมาณ 49 โรงงาน ในการศึกษาอุตสาหกรรมการผลิตยางแท่ง STR20 ของโรงงานแห่งหนึ่งพบว่า ของเสียที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักคือ น้ำเสีย และของเสียซึ่งเป็นของแข็ง โดยน้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากการล้างสิ่งปนเปื้อนออกจากยางที่นำมาทำการผลิตเป็นยางแท่ง ซึ่งทางโรงงานอุตสาหกรรมจะมีระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบบ่อ (Pond System) เพื่อบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป และในส่วนของเสียที่ติดมากับวัตถุดิบซึ่งมีการคัดแยกออก โดยใช้ตะแกรงแบบหมุน (Rotary Screen) ในการแยกของเสียออกจากยางที่บ่อพักและของเสียอีกส่วนจะมาจากบ่อล้าง โดยโรงงานที่ทำการศึกษามีปริมาณของเสียประมาณ 5–10 ตันต่อวัน โดยวัตถุดิบที่เข้าสู่กระบวนการผลิตประมาณ 200 ตันต่อวัน ซึ่งในปัจจุบันทางโรงงานไม่ได้มีวิธีการกำจัดที่แน่ชัด นอกจากนำของเสียที่เกิดขึ้นไปถมที่ดิน แต่ของเสียดังกล่าวส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์จึงเกิดการย่อยสลายได้ ซึ่งต่อไปถ้าทางโรงงานต้องการใช้พื้นที่ส่วนนั้นในการก่อสร้างจะทำให้เกิดปัญหาตามมา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาวิจัยเพื่อนำเอาของเสียดังกล่าวมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น

การหมักปุ๋ยเป็นวิธีการจัดการของเสียอินทรีย์วิธีหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการนำไปสู่การจัดการของเสียแบบยั่งยืน เนื่องจากของเสียที่ได้จากการหมักจะเปลี่ยนสภาพเป็นปุ๋ย ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินได้

1.2 บทตรวจเอกสาร

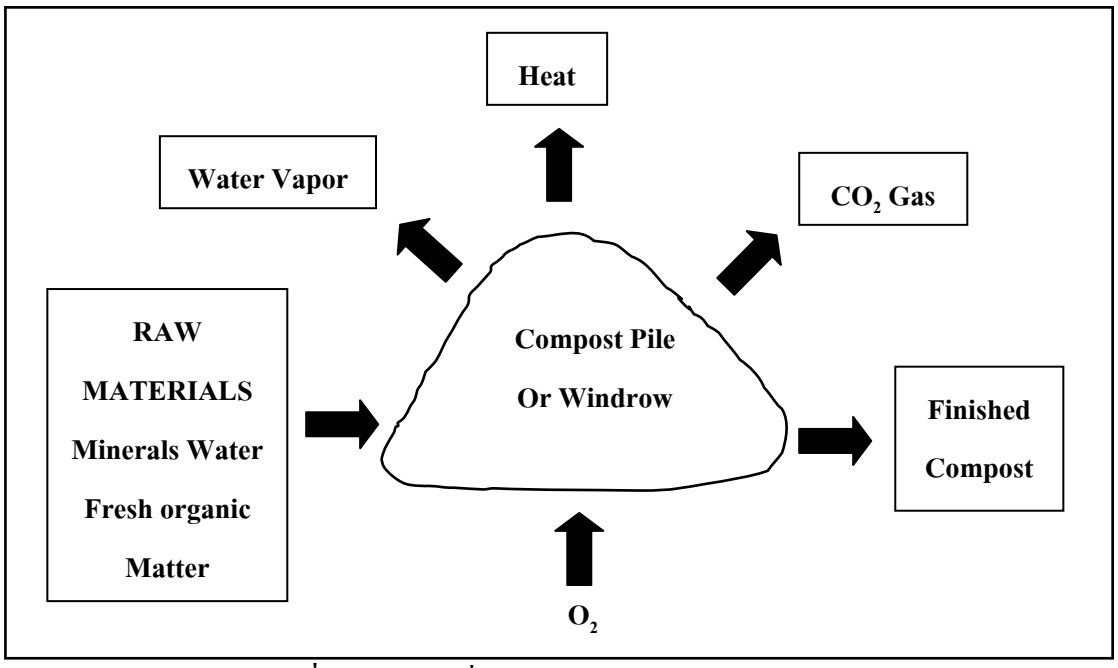
1.2.1 การหมักปุ๋ย

การหมักปุ๋ย (Composting) คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์และทำให้สารอินทรีย์คงตัวด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีความคงตัวเพียงพอสำหรับเก็บไว้ได้และสามารถนำไปใส่ในดิน โดยไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม (Haug, 1980) หรืออาจกล่าวได้ว่าการหมักปุ๋ย เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยใช้สิ่งมีชีวิต เช่น จุลินทรีย์หลายชนิดทำหน้าที่ร่วมกัน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสารอินทรีย์คงตัว ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อดินและการปลูกพืชได้ (รูปที่ 1.1)

การหมักปุ๋ยถูกจัดรวมอยู่กับ การใช้ประโยชน์จากของเสีย (Reclamation), การนำมาใช้ใหม่ (Recycling), การบำบัด (Treatment) และกระบวนการกำจัดของเสีย (Disposal) ซึ่งการใช้ประโยชน์จากของเสียและการนำกลับมาใช้ใหม่จะเป็นการประหยัดเนื่องจากเป็นการนำทรัพยากรธรรมชาติกลับมาใช้ใหม่ ส่วนการนำไปกำจัดมักจะเป็นทางเลือกสุดท้าย เนื่องจากอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การจะทำให้การหมักปุ๋ยเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์นั้น จะต้องมีการทำงานร่วมกันของกลุ่มสิ่งมีชีวิต ซึ่งโดยทั่วไปการหมักปุ๋ยจะเป็นการย่อยสลายทางชีววิทยาที่มีออกซิเจนเข้าร่วมในการทำปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์ในของเสียภายใต้สภาวะควบคุม (Sharma และคณะ, 1997) ในกระบวนการนี้จะใช้อินทรีย์สารเป็นสารตั้งต้น ซึ่งในช่วงแรกวัสดุที่ใช้ในการหมักจะมีขนาดใหญ่ และเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว จนเมื่อวัสดุมีขนาดเล็กลง การย่อยสลายจะเริ่มช้าลง ซึ่งจากกระบวนการนี้จะนำไปสู่อัตราส่วนของคาร์บอนต่อธาตุอาหารอื่นๆ เพื่อทำให้เกิดความสมดุล ดังนั้นจึงเป็นสารอาหารที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ (รูปที่ 1.1)

พื้นฐานของการหมักปุ๋ยนั้น จะมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของกลุ่มสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ที่จะทำงานร่วมกัน ซึ่งกลุ่มสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ได้แก่ แบคทีเรีย, เห็ด, รา, แอคติโนมัยซีส และโปรโตซัว ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายทางเคมี ในขณะที่สิ่งที่มีชีวิตที่มีขนาดใหญ่กว่านั้น เช่น หนอน, หอยทาก, ตะขาบ และแมลงปีกแข็ง เป็นต้น ซึ่งกลุ่มสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายทางกายภาพ โดยแบคทีเรียและหนอนจะเป็นสิ่งมีชีวิตหลักที่เป็นผู้ย่อยสลายทางเคมี และกายภาพตามลำดับ จุลินทรีย์และสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังจะย่อยสลายโดยใช้คาร์บอนและไนโตรเจนเป็นแหล่งพลังงานร่วมกับออกซิเจนและน้ำ และผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์, ความร้อน, น้ำ และปุ๋ยที่มีประโยชน์ต่อดิน (รูปที่ 1.1) (Chiu-Chung และคณะ, 2005)



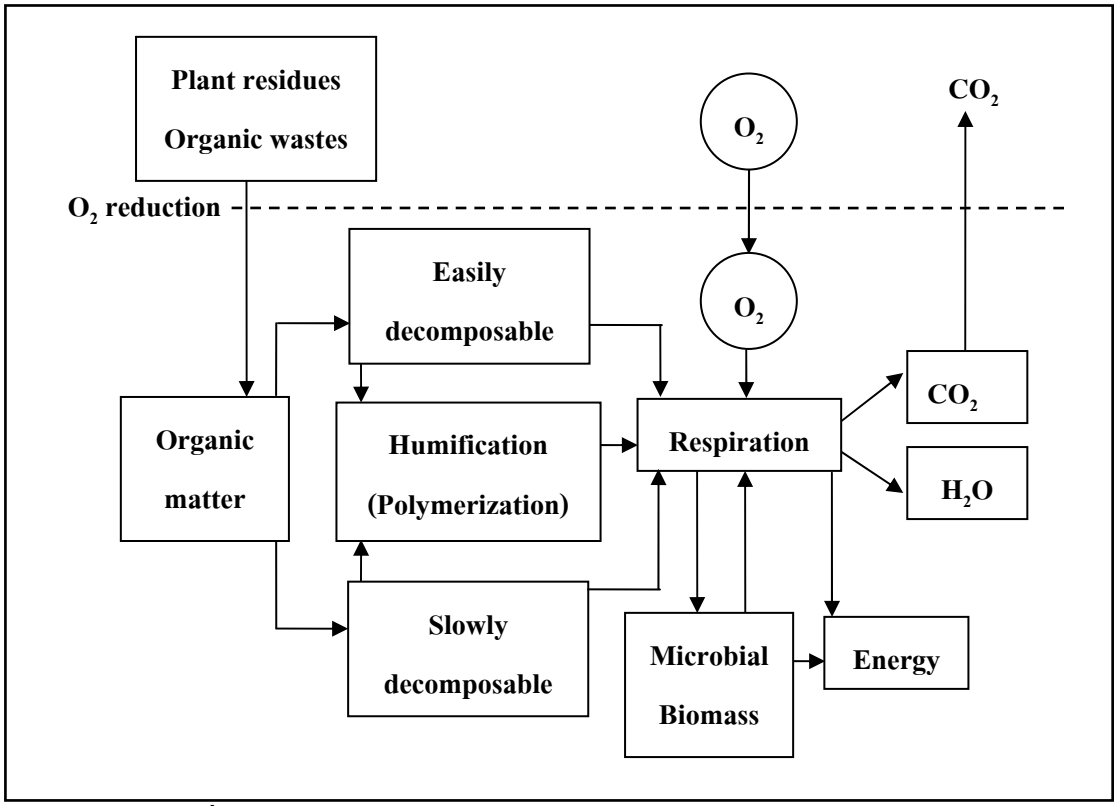
รูปที่ 1.1 รูปแบบทั่วไปของการกระบวนการหมักปุ๋ย

ที่มา: Chiu-Chung และคณะ (2005)

กลุ่มสิ่งมีชีวิตโดยส่วนใหญ่สำหรับการหมักปุ๋ยจะเป็นกลุ่มที่ต้องการออกซิเจน ซึ่งจะทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นเร็วและสมบูรณ์ (รูปที่ 1.2 และ 1.3) ส่วนสิ่งมีชีวิตที่ดำเนินการในสภาวะที่ไม่ต้องการออกซิเจนนั้นบางครั้งกระบวนการนี้จะเรียกว่า การหมัก (Fermentation) และจะเกิดการย่อยสลายได้ช้า และใช้ประโยชน์จาก ไนเตรท, ซัลเฟต, คาร์บอเนต และเฟอริกไอออน เพื่อออกซิไดซ์ สารประกอบอินทรีย์ (รูปที่ 1.4) อย่างไรก็ตามข้อเสียของการใช้กระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในระหว่างการดำเนินการ และผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ กรดอินทรีย์, แอลกอฮอล์, มีเทน และก๊าซอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อพืช

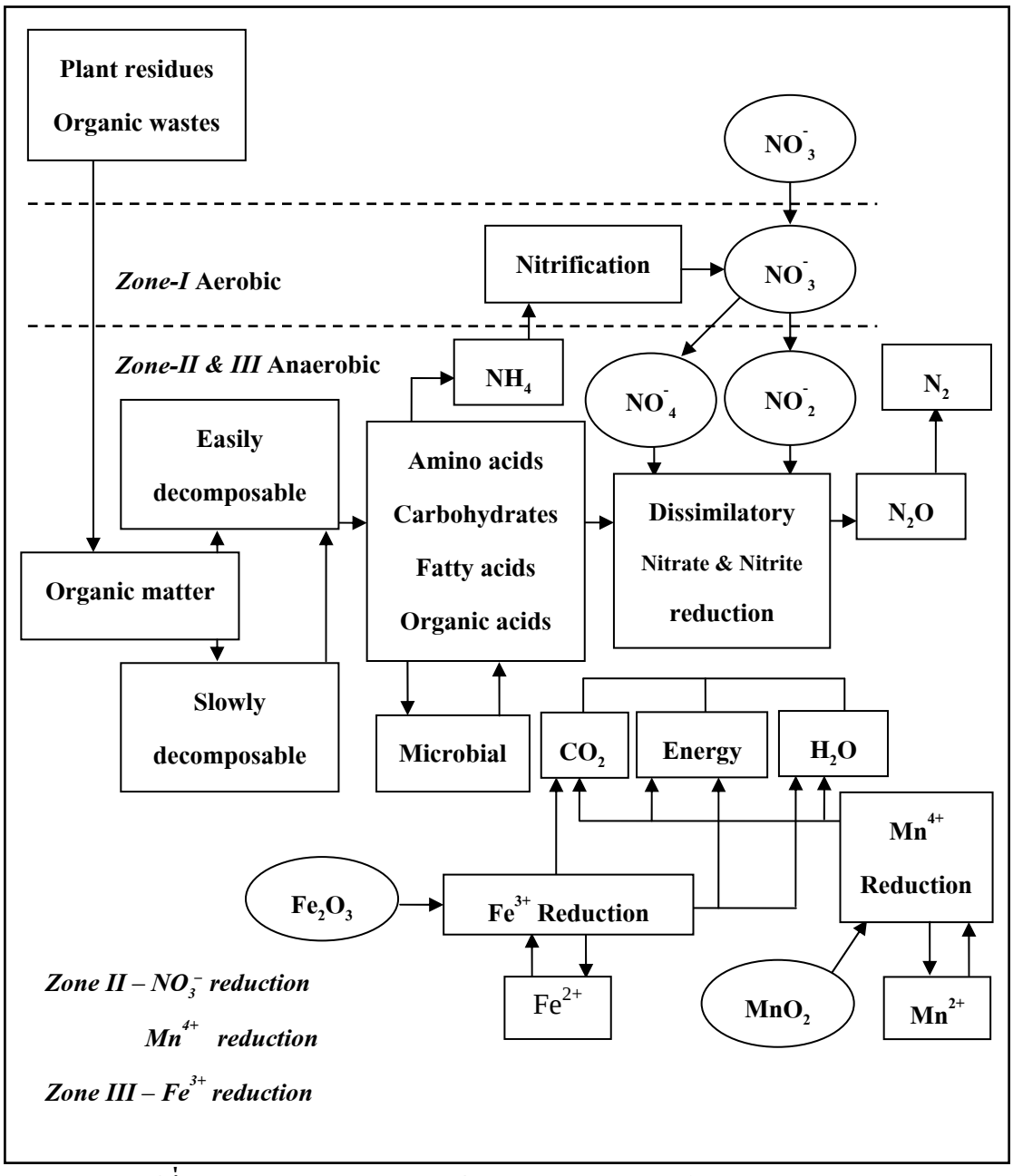
การหมักปุ๋ยมีความจำเป็นที่จะต้องใช้กระบวนการทางชีววิทยา เพื่อให้เกิดกระบวนการที่สมบูรณ์ โดยจะมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและขนาดใหญ่ทำงานร่วมกันในหารย่อยสลายอินทรียวัตถุ จุลินทรีย์ที่อยู่ในดินจะออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ และปลดปล่อยแร่ธาตุที่จำเป็นออกมา เช่น ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการ โดยกระบวนการออกซิเดชันนี้จะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการหายใจ ซึ่งจะปลดปล่อย คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ และแร่ธาตุที่มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสิ่งมีชีวิตอื่นๆในดิน ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศ

ส่วนการสิ้นสุดกระบวนการหมักนั้น โดยความสำเร็จที่ได้มาจากจุลินทรีย์ เมื่อสภาวะที่เหมาะสมสัตว์ประจำถิ่น เช่น แมลง, เห็บ, มด, พยาธิ และแมลงปีกแข็ง เป็นต้น จะเริ่มย่อยวัสดุหมักให้มีขนาดเล็กลง ส่วนแบคทีเรีย เห็ด รา แอคติโนมัยซิส และโปรโตซัว ซึ่งจะทำงานได้ดีเมื่ออุณหภูมิปานกลาง คือประมาณ 10-45°C ในช่วงแรกของกระบวนการหมัก อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการออกซิเดชันของสารประกอบคาร์บอน จุลินทรีย์ที่ทำหน้าในระยะนี้คือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงประมาณ 45-70°C ก็จะเข้ามาทำงานแทนที่จุลินทรีย์กลุ่มเดิม อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักโดยทั่วไปแล้วควรสูงประมาณ 49-60°C ภายใน 24-72 ชั่วโมง และจะรักษาอุณหภูมิไว้ระยะหนึ่ง ในช่วงระยะนี้ของการหมัก จะมีการย่อยสลายภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำลายจุลินทรีย์ก่อโรค ในระหว่างนี้จะต้องมีการให้ออกซิเจน อาจจะเป็นการให้ด้วยเครื่องเติมอากาศ หรือการพลิกกลับกอง ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 38°C จากนั้นจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลางจะเริ่มทำหน้าที่ในการย่อยสลายให้กลายเป็นฮิวมิก หรือปุ๋ยหมัก เมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักจะต้องการออกซิเจนน้อย และกระบวนการทางชีววิทยาและกิจกรรมทั้งหลายจะค่อยๆช้าลง (Chiu-Chung และคณะ, 2005)



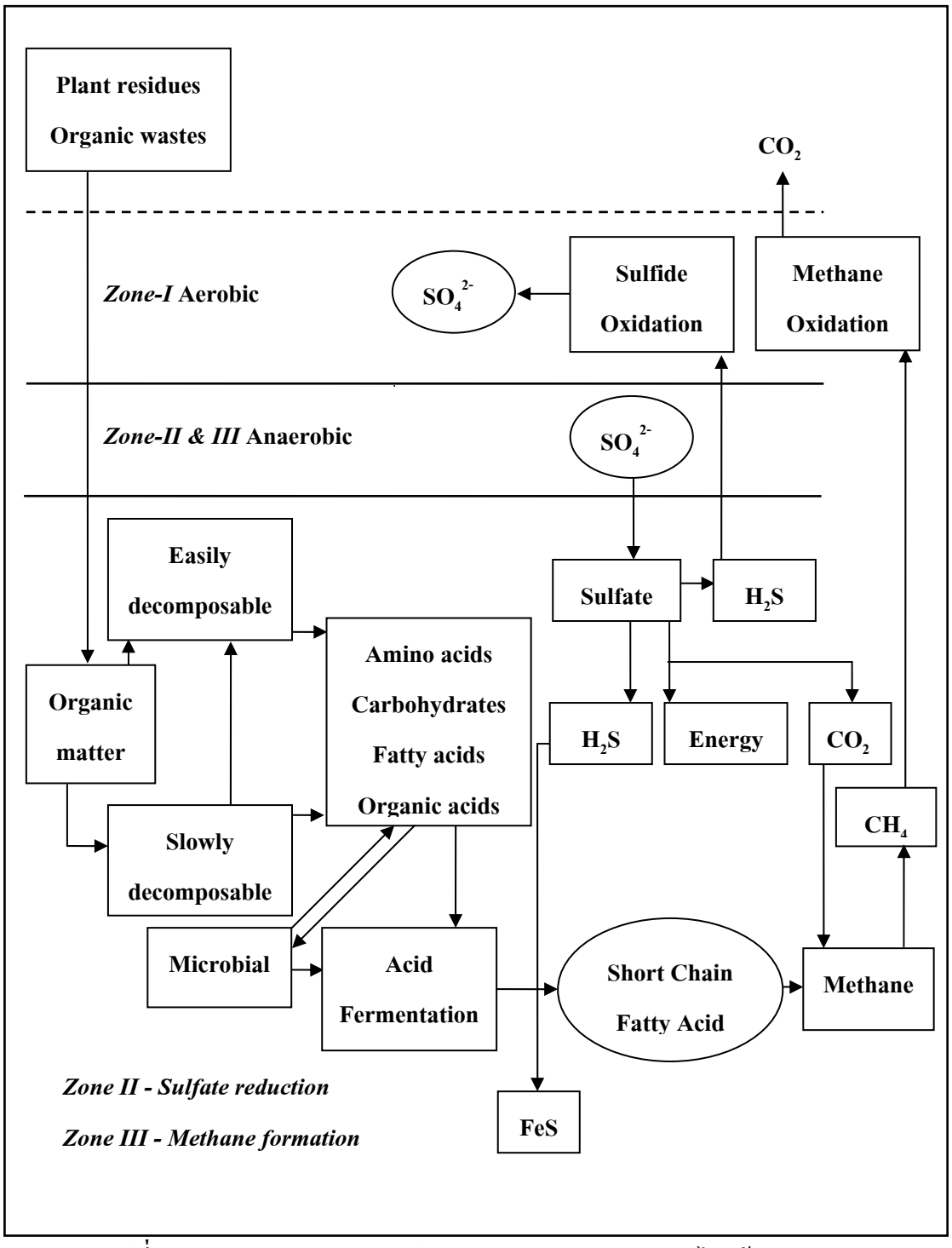
รูปที่ 1.2 การย่อยสลายอินทรียวัตถุสำหรับการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Reddy และคณะ (1986)



รูปที่ 1.3 การย่อยสลายของอินทรียวัตถุสำหรับการหายใจแบบ Facultative

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Reddy และคณะ (1986)



รูปที่ 1.4 การย่อยสลายของอินทรียวัตถุสำหรับการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Reddy และคณะ (1986)

1.2.2 การย่อยสลายทางชีววิทยา

โดยทั่วไปกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 วิธีการใหญ่คือ การย่อยสลายแบบใช้อากาศ และการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

1) การย่อยสลายแบบใช้อากาศ ใช้เวลาในการย่อยสลายน้อย ขณะที่ย่อยสลายของเสียจะรักษาสภาพความเป็นของแข็งไว้ และมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของอินทรีย์คาร์บอนให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักจะสูง สามารถที่จะลดปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในของเสียที่ใช้เป็นวัสดุหมัก กระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 1.5 (Gray และคณะ, 1971[a]) การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนสามารถอธิบายโดยใช้สมการ 1.1 (Tchobanoglous และคณะ, 1993) ดังนี้

$$\text{Organic matter} + O_2 + \text{Nutrients} \xrightarrow{\textit{Bacteria}} \text{new cells} + \text{resistant organic matter} + CO_2 + H_2O + NH_3 + SO_4^{2-} + \ldots + \text{Heat} \quad (1.1)$$

คาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนเป็นผลิตผลหลักซึ่งเกิดจากการหายใจของจุลินทรีย์ สามารถใช้เป็นตัววัดอัตราการย่อยสลายและกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ความร้อนซึ่งมีผลให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยสูงขึ้น ยังมีความสำคัญในการทำลายเชื้อโรคต่างๆ ในปุ๋ยหมักด้วย และเมื่ออินทรีย์สารส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายไปแล้ว อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงอย่างมาก ทำให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยค่อยๆ ลดลงจนเข้าใกล้อุณหภูมิห้องในที่สุด (กิ่งกาญจน์, 2546)

โดยทั่วไปแล้วจะใช้การย่อยสลายแบบใช้อากาศในการหมักปุ๋ยโดยมีเหตุผลสำคัญ 3 ประการดังนี้

(1) กระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศจะไม่ทำให้เกิดกลิ่น จึงมีการนำไปใช้ประโยชน์มากกว่ากระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งจะมีกลิ่นและทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ

(2) การย่อยสลายแบบใช้อากาศจะทำให้เกิดอุณหภูมิสูงจนสามารถทำลายสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดโรคได้ (Golueke, 1977)

(3) การย่อยสลายแบบใช้อากาศจะใช้เวลาประมาณ 21 วัน ในขณะที่การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศใช้เวลาหลายเดือน

2) การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ใช้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศในการย่อยสลาย ตัวอย่างกระบวนการในการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 1.6 (Sanderson และ Martin, 1974) การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจะอยู่ในรูปของเหลวข้น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นต่ำ มีกลิ่น อัตราการย่อยสลายจะใช้เวลานาน และผลผลิตสุดท้ายที่ได้จะเป็นก๊าซ ข้อดีของการหมักแบบนี้คือ ไม่ต้องการการดูแลมากนัก (Rabbani และคณะ, 1983)

1.2.3 รูปแบบการหมัก (พูนศักดิ์, 2541)

รูปแบบของการหมักแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ การหมักโดยไม่ใช้ถังปฏิกิริยา (Nonreactor Process) และการหมักในถังปฏิกิริยา (Reactor Process) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

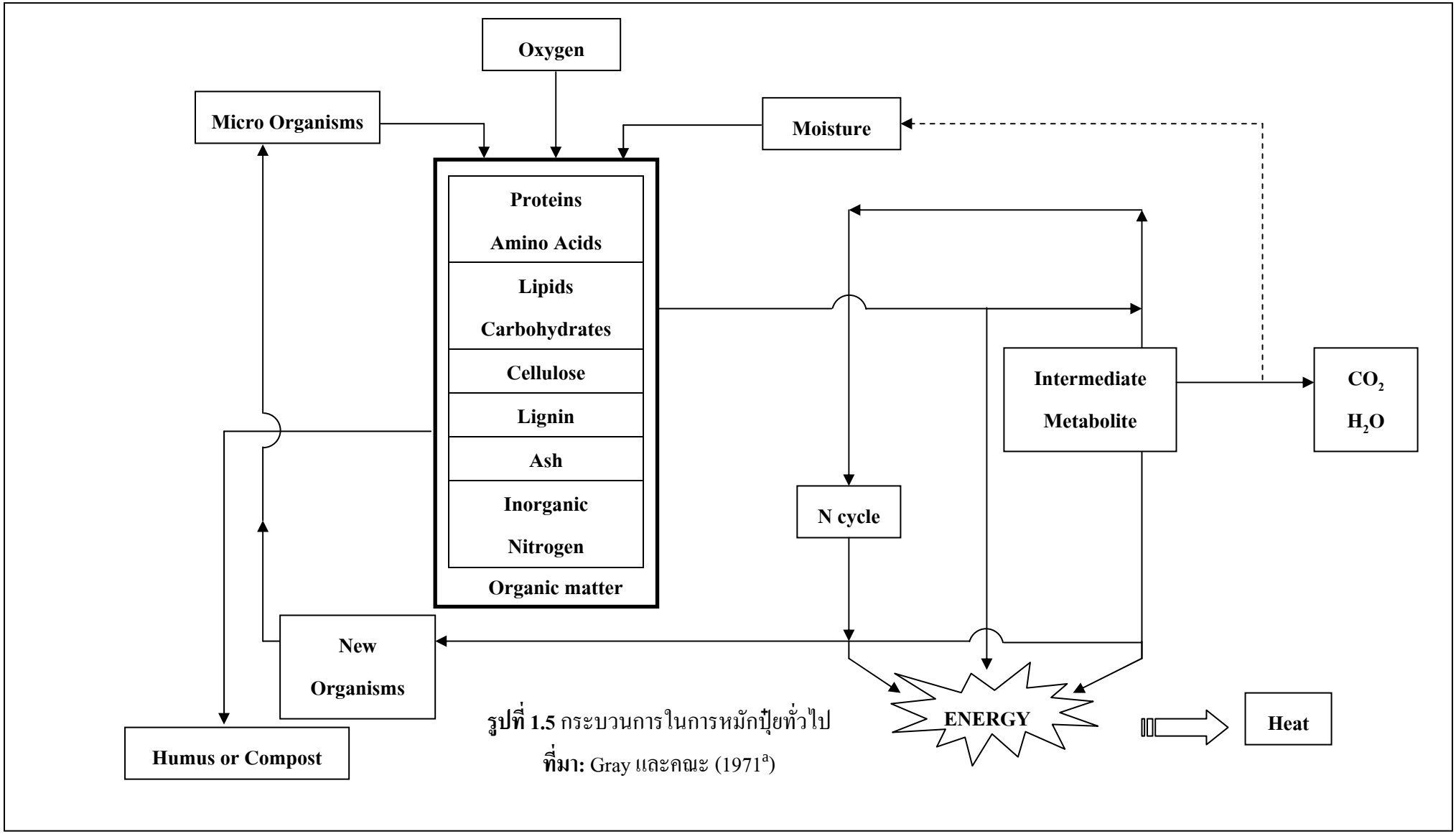
1) การหมักแบบไม่ใช้ถังปฏิกิริยา (Nonreactor Process)

ลักษณะของการหมักชนิดนี้เป็นการนำของเสียมาวางกองทิ้งไว้ให้เกิดการย่อยสลายโดย จุลินทรีย์ จะมีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศหรือไม่ใช้ก็ได้ การหมักแบบนี้มีทั้งการพลิกกลับกองปุ๋ยและไม่พลิกกลับกองปุ๋ย การพลิกกลับกองปุ๋ยจะช่วยให้เกิดการผสมของตัววัสดุที่ใช้ในการหมักดีขึ้น เกิดการถ่ายเทอากาศ และช่วยให้เกิดการย่อยสลายอย่างทั่วถึงทั้งกอง แต่ถ้าหากกองปุ๋ยมีการผสมตัวของวัสดุดีอยู่แล้ว หรือมีปัญหาเรื่องแรงงานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการพลิกกลับกอง วิธีดังกล่าวนั้นอาจไม่จำเป็น การหมักแบบไม่ใช้ถังปฏิกิริยาแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.1) กองหมักแบบพลิกกลับ (Turned Windrow)

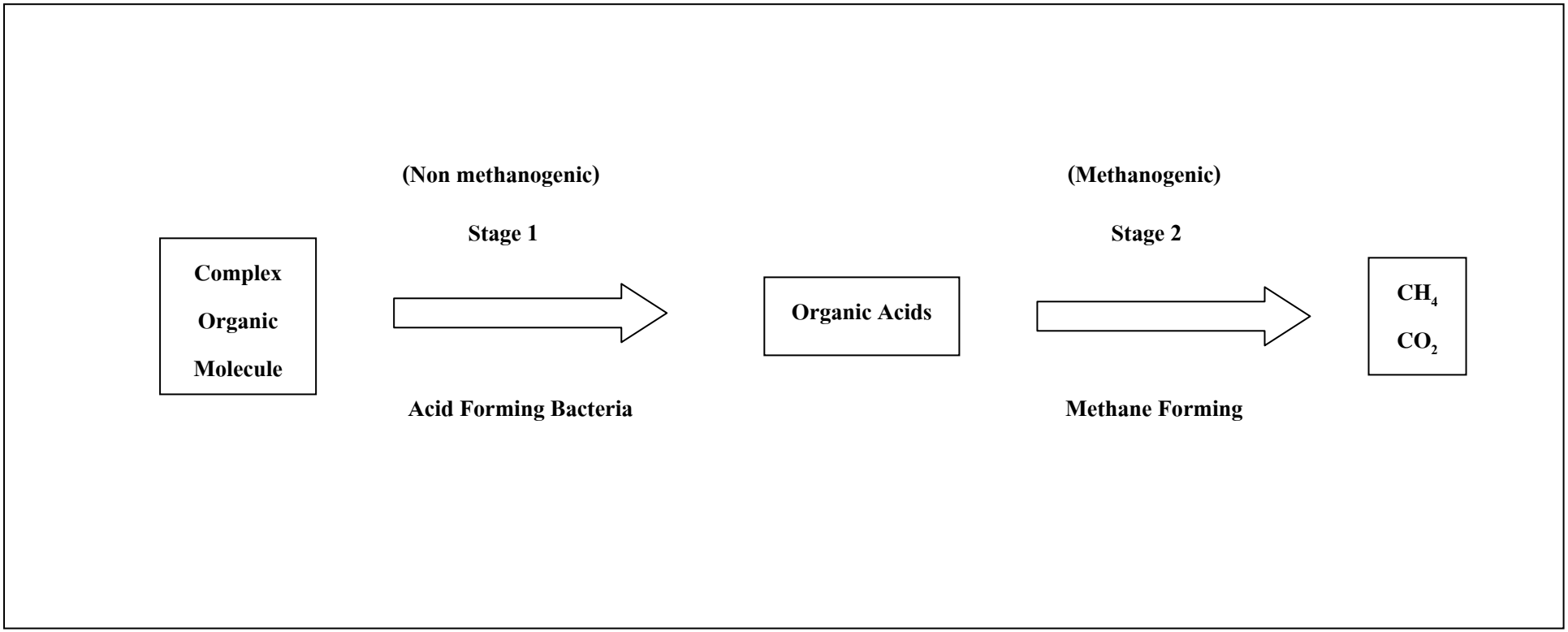
การหมักแบบใช้ออกซิเจนตามธรรมชาติ (Windrow composting) วิธีนี้นำมูลฝอยที่มีอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายได้มากองรวมกันและให้สัมผัสออกซิเจนในอากาศมากที่สุด ใช้พื้นที่มากและใช้เวลาประมาณ 30 วัน (ชาติ, 2542)

กองหมักแบบพลิกกลับเป็นรูปแบบการหมักแบบไม่ใช้ถังปฏิกิริยาที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก เพียงแต่ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันแล้ววางกองเป็นแนวยาวและทำการพลิกกลับในช่วงเวลาที่เหมาะสมดังรูปที่ 1.7 วิธีการนี้จะมีการเติมอากาศจากเครื่องเติมอากาศหรือไม่ใช้ก็ได้ ส่วนขนาดความสูง ความกว้าง และรูปร่างของกองปุ๋ยนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของวัตถุดิบและอุปกรณ์ในการพลิกกลับ ถ้าใช้เครื่องจักรในการพลิกกลับกองปุ๋ยสามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่ได้ วิธีนี้ต้องใช้พื้นที่มากเพราะมีการเคลื่อนย้ายกองปุ๋ย



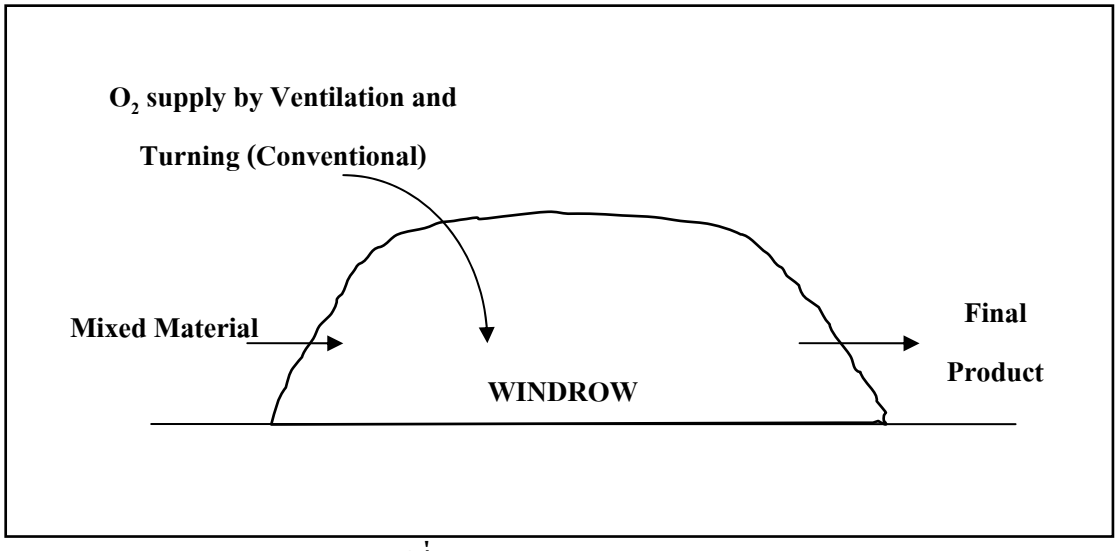
รูปที่ 1.5 กระบวนการในการหมักปุ๋ยทั่วไป

ที่มา: Gray และคณะ (1971[a])



รูปที่ 1.6 ขั้นตอนในการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

ที่มา: Sanderson และ Martin (1974)

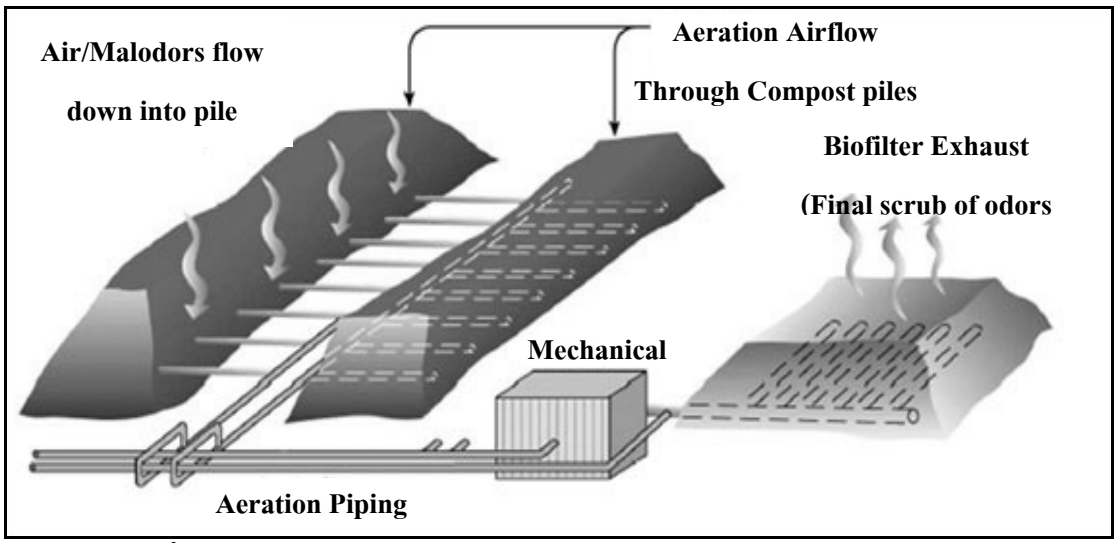


รูปที่ 1.7 กองหมักแบบพลิกกลับ

ที่มา: Haug (1993)

1.2) กองหมักแบบใช้เครื่องเติมอากาศ (Aerated Static Pile)

การหมักด้วยวิธีนี้จะไม่มีการพลิกกลับกองปุ๋ย เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในสหรัฐอเมริกา มักใช้วัสดุที่มีลักษณะค่อนข้างเปียกในการหมัก เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมาผสมกับวัสดุเช่น ขี้เลื่อย เพื่อปรับโครงสร้างของวัสดุให้มีความพรุนสูงขึ้น การแพร่ผ่านของอากาศเข้าสู่กองปุ๋ยจะขึ้นกับการส่งอากาศผ่านรูพรุน และจากการเติมอากาศโดยเครื่องเติมอากาศเท่านั้น (รูปที่ 1.8) การที่ไม่มีการพลิกกลับกองปุ๋ยนี้จำเป็นต้องย่อยขนาดของวัสดุที่ใช้ในการหมักให้เล็กลง เพื่อให้การย่อยสลายเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งกอง ในบางครั้งหลังจากการหมักไป 3-4 สัปดาห์ ก็จะนำปุ๋ยหมักมาย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ อีกครั้ง โดยจำเป็นต้องผสมขยะชิ้นใหญ่ลงไปด้วย เพื่อทำให้กองปุ๋ยมีความพรุนที่เหมาะสมพอที่อากาศจะแทรกซึมเข้าไปได้อย่างทั่วถึง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะทำการร่อนขยะชิ้นใหญ่ออก



รูปที่ 1.8 การหมักแบบกองหมักแบบใช้เครื่องเติมอากาศ (Aerated Static Pile)

ที่มา: http://www.grand-island.com/Departments/Public_Works/Wastewater/images/where2.jpg

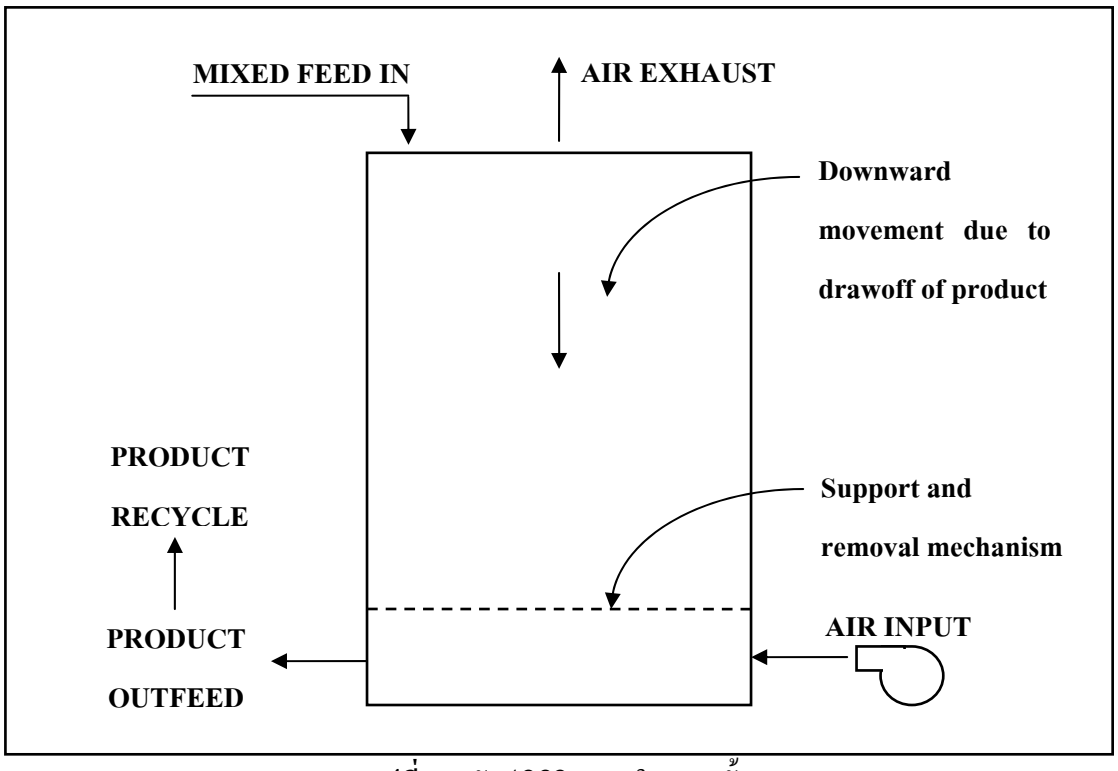
2) การหมักแบบใช้ถังปฏิกิริยา (Reactor Process)

ระบบการหมักนี้จะทำการหมักโดยนำวัตถุดิบมาใส่ในถังปฏิกิริยาปิด โดยป้อนอากาศผ่านทางท่อขนาดใหญ่ วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ภายในถังโดยการอัดตัวของวัตถุดิบที่เข้ามาใหม่หรือมีอุปกรณ์เพื่อช่วยในการผสมภายในถังหมัก

การหมักแบบใช้ถังปฏิกิริยานี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามทิศทางการวางของถังปฏิกิริยาดังนี้

2.1) ถังปฏิกิริยาที่วางในแนวตั้ง (Vertical Process)

ถังปฏิกิริยาชนิดนี้ถูกกำหนดตามลักษณะการวาง วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ตามแนวตั้งจากบนลงล่าง หรือจากด้านล่างขึ้นบนก็ได้ (รูปที่ 1.9) การป้อนวัตถุดิบสามารถใช้ได้ทั้งการป้อนแบบต่อเนื่องและเป็นครั้งคราว ถังปฏิกิริยานี้สามารถใช้ได้ทั้งแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม ค่าดำเนินการของระบบนี้มีราคาต่อหน่วยการผลิตต่ำ

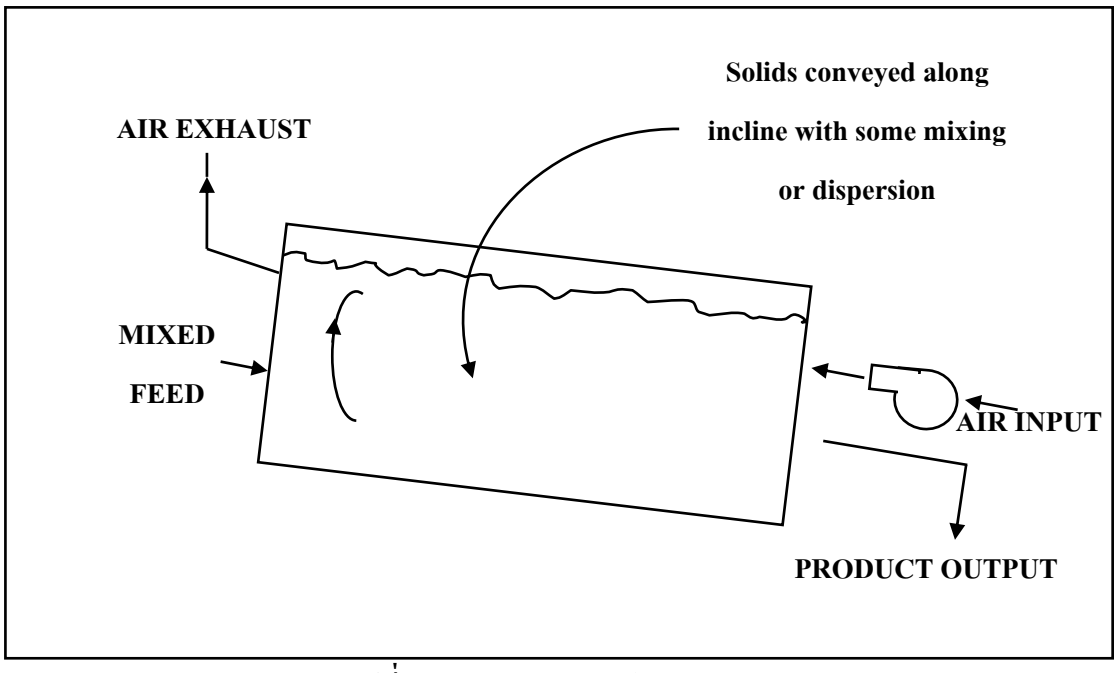


รูปที่ 1.9 ถังปฏิกิริยาวางในแนวตั้ง

ที่มา: Haug (1993)

2.2) ถังปฏิกิริยาวางในแนวนอน (Horizontal Process)

หลักการโดยทั่วไปของถังปฏิกิริยาชนิดนี้เหมือนกับชนิดวางในแนวตั้งต่างกันเพียงทิศทางของการวางถังปฏิกิริยาเท่านั้น ถังหมุน (Rotary Drum) (รูปที่ 1.10) เป็นถังปฏิกิริยาในแนวนอนที่นิยมใช้กันมาก



รูปที่ 1.10 ถังปฏิกิริยาวางในแนวนอน

ที่มา: Haug (1993)

1.2.4 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการหมักปุ๋ย

องค์ประกอบที่จำเป็นที่จะช่วยให้กระบวนการหมักปุ๋ยเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีคุณภาพดี จะต้องอยู่ภายใต้การควบคุมสภาวะที่เหมาะสม จากขั้นตอนการย่อยสลายโดยธรรมชาติพบว่าจะเกิดขึ้นได้เร็ว และให้ผลิตที่มีคุณภาพ เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยหลายๆ ประการ ปัจจัยที่สำคัญ เช่น ความสมดุลของธาตุอาหาร (อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน), ความชื้น, อุณหภูมิ และการให้อากาศ เป็นต้น นอกจากนั้น สารอินทรีย์ที่จะนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นนั้นจะต้องปราศจากสารพิษจำพวกสารซักฟอก, สารลดแรงดึงผิว, สารประกอบฟีนอล และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับยา ซึ่งอาจจะส่งผลต่อสุขภาพ ตลอดจนเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ และการย่อยสลาย (Chiu-Chung และคณะ, 2005)

ปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่มีส่วนสำคัญต่อกระบวนการหมักแบบใช้อากาศสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ความสมดุลของธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการหมักเป็นสำคัญ คาร์บอนจัดเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นที่จุลินทรีย์ต้องการ และปริมาณไนโตรเจนจะมีอิทธิพลต่อการเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ ดังนั้นการรักษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้สมดุลเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดี แบคทีเรีย, แอคติโนมัยซีส และฟังไจ

ต้องการคาร์บอนและไนโตรเจนในการเจริญเติบโต โดยจุลินทรีย์จะใช้ในอัตราส่วน 30:1 ของคาร์บอนต่อไนโตรเจนตามลำดับ การหมักปุ๋ยที่จะให้ได้คุณภาพปุ๋ยที่ดีนั้น เมื่อมีการผสมวัสดุหมักแล้วควรจะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 20-40:1 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนที่เกินกว่า 30 จะทำให้อัตราการหมักปุ๋ยลดลง ถ้าจะให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดควรจะมีค่าต่ำกว่า 25 ส่วนไนโตรเจนที่มากเกินไปจะเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย และจะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ และอาจมีผลให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (Pace และคณะ, 1995)

ในระหว่างที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของวัสดุหมักนั้น ความเข้มข้นของคาร์บอนจะลดลง โดยที่ไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก การลดลงนี้จะทำให้กองปุ๋ยหมักแห้ง เนื่องจากคาร์บอนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Hamoda และคณะ, 1998) แอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4-N) และไนเตรท- ไนโตรเจน (NO_3-N) จะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่ระดับของ NH_3 จะเพิ่มขึ้นในระยะแรก แต่จะลดลงมาเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก (Neto และคณะ, 1987) และในบางกรณีไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Palmisano และคณะ, 1993) การรักษาความเข้มข้นของ NH_3 เป็นสิ่งสำคัญเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียไนโตรเจนที่มากเกินไป และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่น ส่วนการรักษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนหลังจากการหมักก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน เนื่องจากจะมีอิทธิพลต่อปุ๋ยหมักที่ได้เพื่อใช้สำหรับปรับปรุงดินในการเพาะปลูก ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสุดท้ายควรมีค่าประมาณ 15-20 ถ้าหากค่าที่ได้มากกว่า 20 อาจจะทำให้เกิดผลกระทบในทางลบและจะทำให้เกิดความเสียหายต่อการเพาะปลูกและการงอกของเมล็ด และค่าที่ดีที่สุดควรอยู่ที่ประมาณ 10

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างหนึ่งในการหมักปุ๋ย ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความยากง่ายต่อการย่อยสลายและใช้เป็นตัวกำหนดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ กล่าวคือถ้าวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก อัตราการย่อยสลายจะเกิดช้า เนื่องจากความไม่สมดุลกันของสารประกอบคาร์บอนกับไนโตรเจน ในสภาพเช่นนี้จุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและการเจริญเติบโต ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ต้องใช้สารประกอบไนโตรเจนด้วย (Poincelot, 1975) แต่สารประกอบไนโตรเจนมีปริมาณน้อยจึงเป็นปัจจัยจำกัด สำหรับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งทำให้กิจกรรมในการย่อยสลายเกิดช้า ความสมดุลของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเซลล์จุลินทรีย์อยู่ในช่วง 10 ต่อ 1 ถ้าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไปจะทำให้ไนโตรเจนที่มีอยู่ปริมาณมากเกิดการสูญเสียไนโตรเจนเนื่องจากกระบวนการระเหย (Ammonia Volatilization) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) อย่างไรก็ตามค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมโดยทั่วไป

ของของเสียอินทรีย์มีนักวิจัยหลายท่านมีความเห็นตรงกันว่าอยู่ในช่วง 25-35 (Haug, 1980; Sanderson และ Martin, 1974)

2) สารอาหาร

ไนโตรเจนเป็นสารอาหารหลักที่สำคัญที่สุดต่อจุลินทรีย์ ส่วนฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญรองลงมา ขณะที่โปแทสเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แคลเซียม และเหล็กเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเพียงเล็กน้อยแต่ก็ขาดไม่ได้ เพราะมีความสำคัญกับเซลล์ในเรื่องการเจริญเติบโตของพืชเช่นเดียวกัน (อานุภาพ, 2541)

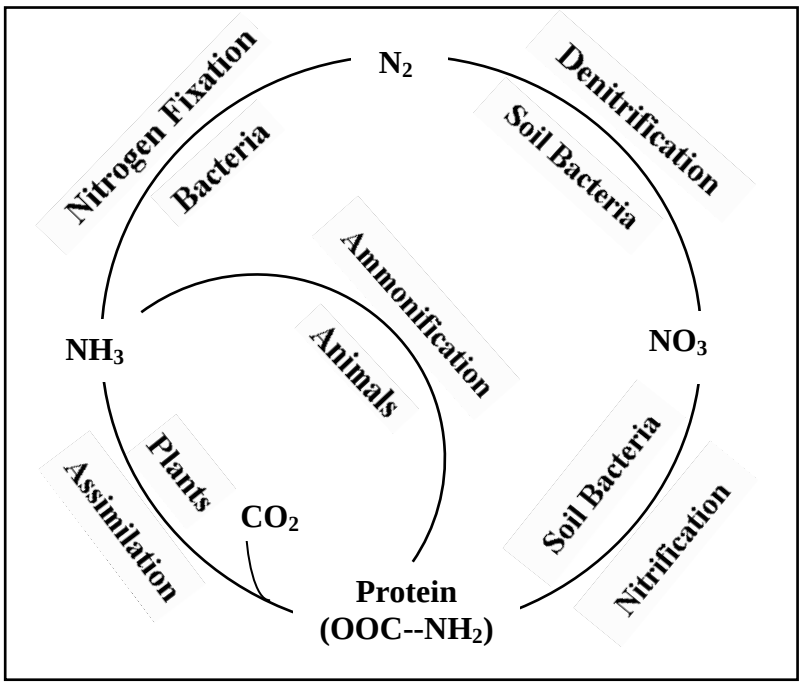
2.1) ไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีมากในอากาศแต่ไนโตรเจนในรูปก๊าซพืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ ไนโตรเจนในรากพืชดูดไปใช้อยู่ในรูปไนเทรตและแอมโมเนียไอออน สำหรับยูเรียแม้ว่าพืชจะดูดไปใช้ได้โดยตรง แต่ธาตุนี้มีอยู่น้อยในธรรมชาติพืชดูดใช้มากเฉพาะกรณีที่ใส่ปุ๋ยยูเรียสังเคราะห์เท่านั้น (จิราณี, 2538)

2.1.1) การแปรสภาพของไนโตรเจน ไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงรูป หรือแปรสภาพตลอดเวลา การแปรสภาพของไนโตรเจนดังกล่าวพอจะสรุปได้ดังรูปที่ 1.11 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- **อะมิไนเซชัน** (Aminization) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบโปรตีน (Protein and Protienaceous Compound) โดยจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Heterotroph) กระบวนการย่อยสลายนี้เป็นแบบ Enzymatic Digestion ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพของโปรตีน ให้เป็นสารประกอบพวกไนโตรเจนพวกเอมีนและกรดอะมิโนต่างๆ กระบวนการอะมิไนเซชัน เขียนเป็นไดอะแกรมได้ดังนี้

$$\text{Protiens} \xrightarrow[\text{Digestion (amines or amino acids)}]{\text{Enzymatic}} \text{R-NH}_2 + \text{CO}_2 + \text{energy} + \text{other products} \qquad (1.2)$$



รูปที่ 1.11 วงจรไนโตรเจน

ที่มา: http://www.starsandseas.com/SAS_Images/SAS_ecol_images/SAS_ecol_physical/Nitrogen_Cycle-4.jpg

- แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารพวกเอมีน หรือกรดอะมิโนให้เป็นแอมโมเนีย, แอลกอฮอล์ (R-OH) และแหล่งพลังงาน สมการที่ 1.3 และ 1.4

$$R\text{-}NH_2 \xrightarrow{\textit{Enzymatic}} R\text{-}OH + NH_3 + \text{energy} \qquad (1.3)$$

$$2NH_3 + H_2CO_3 \xrightarrow{\textit{Hydrolysis}} (NH_4)_2CO_3 \longrightarrow 2NH_4^+ + CO_3^- \qquad (1.4)$$

- ไนทริฟิเคชัน (Nitrification) เป็นกระบวนการ Enzymatic Oxidation ซึ่งเกิดขึ้นได้โดย Nitrifying Bacteria ในดิน ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2 ขั้น กล่าวคือ NH_3 หรือ NH_4^+ จะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นไนไตรท์ก่อนโดยแบคทีเรียพวก *Nitrosomonas* และ *Nitrosococcus* ดังสมการที่ 1.5

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow[Oxidation]{Enzymatic} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + energy \quad (1.5)$$

ต่อมาไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์อีกครั้งไปเป็นไนเตรท โดยแบคทีเรียพวก *Nitrobactro* ดังสมการที่ 1.6

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow[Oxidation]{Enzymatic} 2NO_3^- + energy \quad (1.6)$$

2.2) ฟอสฟอรัส

ปริมาณของฟอสฟอรัสจัดว่ามีความสำคัญเหมือนกับไนโตรเจนและโปแทสเซียม และมีความสำคัญต่อคุณภาพของปุ๋ยหมัก เพราะฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมควรจะมีค่าประมาณ 100:200 (Howe และ Coker, 1992) ฟอสฟอรัสจะไม่สูญเสียโดยการระเหยในระหว่างกระบวนการหมัก แต่จะทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสมากเกินไป (Warman และ Termeer, 1996)

ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สำคัญมากมายหลายชนิดทั้งนี้เนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารได้หลายลักษณะ พืชต้องการฟอสฟอรัสร้อยละ 0.3-0.5 (โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อให้การเจริญเติบโตของพืชเป็นไปตามปกติ พืชที่ขาดฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 ประการคือ ใบขยายขนาดช้าจึงเล็กและจำนวนใบน้อย สาเหตุที่แผ่นใบขยาดตัวช้าก็เพราะเซลล์ชั้นผิวไม่ค่อยขยาดตัวอันเนื่องมาจาก เซลล์ชั้นผิวมีฟอสฟอรัสต่ำ และสภาพนำน้ำของรากลดลง อย่างไรก็ตามแม้ว่าการขยายขนาดของใบจะลดลงอย่างมาก แต่ปริมาณโปรตีนและคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากขนาดใบลดลงมาก แต่เมื่อพิจารณาอัตราการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยของคลอโรฟิลล์พบว่ามีค่าน้อยลง

2.3) โปแทสเซียม

โปแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือโปแทสเซียมไอออน (K^+) เมื่ออยู่ในพืช โปแทสเซียมจะเคลื่อนย้ายได้ง่ายมากไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์ ระหว่างเซลล์ในเนื้อเยื่อ การเคลื่อนย้ายระยะไกลทางท่อน้ำ และท่ออาหาร โปแทสเซียมทำหน้าที่ในการลดศักย์ออสโมซีส (Osmotic Potential) ภายในเซลล์และในเนื้อเยื่อของพืชไม่ทนเค็มทั่วไป (ยุพิน, 2544)

2.4) ซัลเฟอร์

ปริมาณซัลเฟอร์ที่เพียงพอสามารถทำให้เกิดการระเหยของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะทำให้ไม่มีกลิ่นของสารประกอบ (Day และคณะ, 1998) แหล่งกำเนิดสารประกอบซัลเฟอร์เกิดจากกรดอะมิโน 2 ชนิดคือ Cysteine และ Methionine ภายใต้สภาวะที่มีอากาศ ซัลไฟด์จะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นซัลเฟต แต่ถ้าอยู่ภายใต้สภาวะที่ไร้อากาศ ซัลไฟด์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยได้หรือ H_2S ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และอาจเกิดเป็นสารประกอบ Carbon Disulfide, Carbonyl Sulfide, Methyl Mercaptum, Diethyl Sulfide, Dimethyl Sulfide, และ Dimethyl Disulfide ซึ่งอาจทำให้กลิ่นเหม็นได้เช่นกัน

3) ความชื้น

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองหมัก ซึ่งมีความจำเป็นต่อการดูดซึมอาหารและกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ หากปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีปริมาณมากกว่าน้ำที่สูญเสียไปจากกองหมักเนื่องจากการระบายอากาศและการระเหยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะมีผลให้การระบายอากาศถูกขัดขวางและทำให้เกิดสภาพไร้อากาศขึ้น (Gray และคณะ, 1971[b])

ปริมาณความชื้นจะกลายเป็นปัจจัยที่จำกัด เมื่อความชื้นลดต่ำลงประมาณร้อยละ 45 หรือ 50 กระบวนการหมักปุ๋ยจะเข้าสู่สภาวะสิ้นสุดการหมัก และพบว่ากระบวนการหมักปุ๋ยจะไม่เกิดการหมักต่อไปเมื่อความชื้นมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 11.2 (Gray และคณะ, 1971[a])

การควบคุมค่าความชื้นทำได้โดยการเติมน้ำ การเป่าอากาศ หรือการผสมกับวัสดุปรับปรุงลักษณะอื่นๆ แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อปัจจัยอื่นๆ เช่น ถ้ามีความชื้นในระดับที่สูงจะช่วยให้การหมักปุ๋ยมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าปริมาณความชื้นมากเกินไปจะจำกัดการแพร่ของน้ำและออกซิเจนทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ โดยน้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างนั้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น วัสดุที่เป็นของแข็งสามารถที่จะเก็บความชื้นไว้ได้นาน จนกระทั่งผนังไฟเบอร์จะถูกย่อยสลาย ดังนั้นในการหมักปุ๋ยความชื้นเริ่มต้นต้องมากกว่าร้อยละ 85 แต่ถ้าหากมีความชื้นในระดับต่ำจะทำให้เกิดการยุบตัว และมีผลให้สารอาหารต่างๆ ที่จุลินทรีย์ต้องการไม่สามารถละลายน้ำและถูกดูดซึมไปใช้ได้ (Haug, 1980) ดังนั้นค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักจึงมีค่าระหว่างร้อยละ 55-65 (Stentiford, 1996)

ขณะที่ Wilson (1977) กล่าวว่าความชื้นที่ต่ำที่สุดซึ่งแบคทีเรียยังคงสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 12-15 ดังนั้นความชื้นต่ำสุดดังกล่าวนี้จึงเป็นตัวกำหนดที่สำคัญของปัจจัยในกระบวนการหมักได้

4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลให้เกิดระยะต่างๆของกระบวนการหมักปุ๋ย (Epstein, 1997; McKinley และคณะ, 1985) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของกองหมักเกิดจากความร้อนจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์และสภาพที่เป็นฉนวนของกองหมักเอง ซึ่งอุณหภูมิจะเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์และอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้น (Miller, 1992) โดยช่วงอุณหภูมิ 35-40°C กองหมักจะมีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูงที่สุด อุณหภูมิ 45-55°C เป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด และหากอุณหภูมิสูงกว่า 55°C จะสามารถฆ่าเชื้อโรคในกองปุ๋ยได้ (Stentiford, 1996)

วัตถุประสงค์ของการควบคุมอุณหภูมิภายในกองหมักคือ เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด และเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้น ช่วงอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมจึงมีค่าระหว่าง 45-59°C (Richard, 1992) ทั้งนี้เพราะหากอุณหภูมิสูงถึง 60°C จุลินทรีย์บางชนิดไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ ทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลงด้วย (Finstein และคณะ, 1986; Strom, 1985)

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ยมีผู้ที่ทำการศึกษามากมาย (Atchley และ Clark, 1979; Clark และคณะ, 1978; Jeris และ Regan, 1973; Mote และ Griffis, 1979; Stead, 1978) โดยอุณหภูมิที่สูงประมาณ 55°C และระยะเวลาที่เหมาะสมสามารถที่จะทำลายเชื้อโรคต่างๆได้ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการหมักเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายให้ได้ผลดี และเพื่อที่จะกำจัดเชื้อโรคที่เป็นอันตรายด้วย

Chiu-Chung และคณะ (2005) กล่าวว่าอุณหภูมิเป็นผลผลิตหนึ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักปุ๋ย ซึ่งเป็นผลมาจากการสิ้นสุดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ สิ่งมีชีวิตจากระบบการหมักนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ Cryophiles หรือ Psychrophile (0-25°C), Mesophiles (25-45°C) และ Thermophiles (>45°C) โดยที่ Cryophiles จะอยู่บริเวณผิวนอกของกองหมัก ถัดมาจะเป็น Mesophiles และด้านในจะเป็น Thermophiles โดยทั่วไป ระบบการหมักปุ๋ยเชิงการค้า สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ใกล้จุดเยือกแข็งถึงประมาณ 70°C วัสดุหมักผสมเริ่มต้นจะมีอุณหภูมิอยู่ที่อุณหภูมิห้อง และจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 40-60°C ในระยะเวลาไม่เกิน 2 วัน โดยจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการหมักและสภาวะแวดล้อมด้วย จากนั้นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักจะลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก แต่ไม่จำเป็นต้องน้อยกว่า อุณหภูมิเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีที่จะบอกถึงระยะต่างๆในกระบวนการหมัก ขั้นตอนการหมักปุ๋ยสามารถที่จะแบ่งได้เป็น 4 ระยะตามอุณหภูมิได้ดังนี้

ระยะเริ่มต้นจะเป็นระยะของสิ่งมีชีวิตกลุ่ม Mesophiles กลุ่มสิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้จะทำให้เกิดความร้อน และพลังงาน ซึ่งรวมไปถึงธาตุอาหารต่างๆ แต่ก็ยังมีในปริมาณน้อย แต่จากระยะนี้จะเป็นการเตรียมเพื่อเข้าสู่ระยะ Thermophiles เมื่อแหล่งอาหารลดลง กิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์จะลดลงตามไปด้วย จากนั้นอุณหภูมิก็จะลดลงเข้าใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อม เมื่ออุณหภูมิลดลงกลุ่มจุลินทรีย์พวก Mesophiles จะกลับมาทำงานอีกครั้งหนึ่ง แต่การเจริญเติบโตจะช้าลงและใช้แหล่งอาหารที่มีอยู่จนหมด ในระยะสุดท้าย วัสดุที่ใช้ในการหมักจะเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ซึ่งอาจจะต้องใช้ระยะเวลาเป็นเดือน

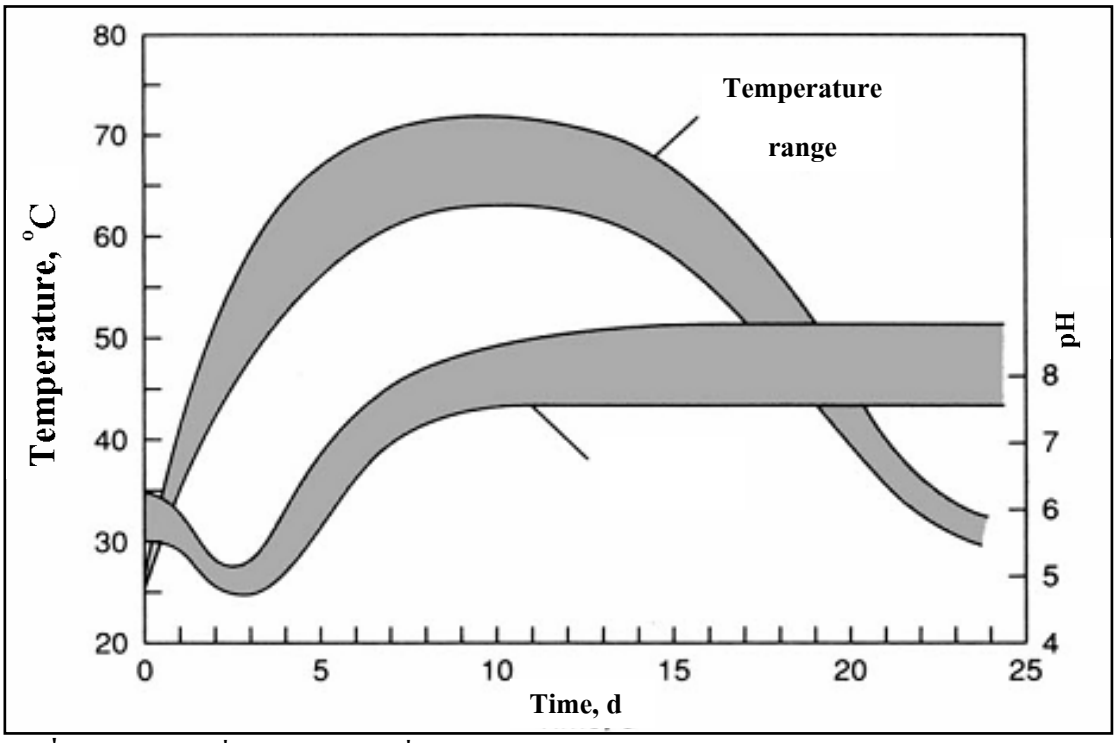
Golueke (1977) แบ่งช่วงของอุณหภูมิเป็น 3 ช่วง ซึ่งแยกตามกลุ่มของจุลินทรีย์คือ กลุ่มที่ชอบอุณหภูมิต่ำๆ กลุ่มที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง และกลุ่มที่ชอบอุณหภูมิสูง โดยมีขอบเขตของการแบ่งดังนี้ ช่วงอุณหภูมิต่ำคือตั้งแต่ 5°C ถึง 10°C ช่วงอุณหภูมิปานกลางตั้งแต่ 10°C หรือ 15°C ถึง 40 °C หรือ 45°C และช่วงอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 40 °C หรือ 45°C ถึง 70°C (สำหรับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และแบคทีเรียบางชนิดสามารถมีชีวิตและเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 80-90°C)

ในการหมักปุ๋ยอุณหภูมิจะเพิ่มจากอุณหภูมิปานกลาง ไปเป็นอุณหภูมิสูง การที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นนั้น ทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักเปลี่ยนแปลงไป โดยที่ชนิดของจุลินทรีย์จะเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน คือขณะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญคือ พวกที่ทนและชอบอุณหภูมิสูง และเมื่ออุณหภูมิต่ำถึงระดับหนึ่ง จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลางสามารถที่จะเจริญเติบโตได้ ดังนั้นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงและปานกลางจากหลายงานวิจัยซึ่งแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ช่วงของอุณหภูมิสำหรับการเปลี่ยนแปลงชนิดจุลินทรีย์

อ้างอิงผู้วิจัย	ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม (°C)	
	จุลินทรีย์ชอบอุณหภูมิปานกลาง	จุลินทรีย์ชอบอุณหภูมิสูง
Brunt (1961)	25-40	55-65
Carlyle และ Norman (1941)	8/10-45/50	45/50-55/60
Hovsenius (1975)	<42	55
Blobaum (1975)	<40	<60
Howard (1953)	40	59

รูปแบบทั่วไปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา และค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาสำหรับกลางกองหมักปุ๋ย จะแสดงในรูปที่ 1.12 โดยเริ่มจากอุณหภูมิปานกลาง จากนั้นอุณหภูมิจะสูงขึ้น อุณหภูมิจะเย็นลง จนกระทั่งได้ปุ๋ยหมัก



รูปที่ 1.12 รูปแบบทั่วไปของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างในกระบวนการหมักปุ๋ย

ที่มา: Tchobanoglous และคณะ (1993)

5) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่า pH บ่งบอกถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (H^+) ซึ่งแสดงถึงสภาพความเป็นกรดหรือด่าง เนื่องจากแบคทีเรียและเชื้อราเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 6.0-7.5 และ pH 5.5-8.0 ตามลำดับ (Boyd, 1984)

เนื่องจากกระบวนการหมักเป็นกระบวนการที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซแอมโมเนียเกิดขึ้น จึงสามารถปรับค่า pH ที่สูงหรือต่ำของวัสดุหมักให้มีค่า pH เป็นกลางได้ ด้วยเหตุนี้การปรับค่า pH เริ่มต้นของวัสดุหมักจึงไม่มีความจำเป็น ยกเว้นกรณีที่วัสดุหมักมีค่า pH สูงหรือต่ำเกินไปจนทำให้การหมักเกิดขึ้นช้ามาก จึงจำเป็นต้องปรับ pH ให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลางก่อนทำการหมัก (Haug, 1993)

การย่อยสลายแบบการหมัก จะมีช่วงของค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 ส่วนในกระบวนการหมักปุ๋ย จะมีช่วงที่กว้างกว่า โดยปกติจะมีค่าลดลงในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมักปุ๋ย (ค่าความเป็นกรดด่างจะลดลงเหลือ 5.0) เนื่องจากเป็นช่วงการหมักกรดอินทรีย์ สภาพความเป็นกรดนี้ จะทำให้การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ลดลง หลังจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับ 8.5 (รูปที่ 1.12)

6) ความต้องการออกซิเจน

การให้อากาศเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการหมักปุ๋ย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการหมักแบบใช้อากาศ ซึ่งจะต้องการออกซิเจนในปริมาณมาก เพื่อช่วยในการย่อยสลายในช่วงเริ่มต้น เพราะออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์ การให้อากาศที่เหมาะสมนั้นจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมสำหรับกระบวนการทางชีววิทยาเพื่อที่จะให้การหมักปุ๋ยได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ออกซิเจนไม่ใช่สิ่งจำเป็นอย่างเดียวสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ แต่ยิ่งไปกว่านั้นการออกซิไดซ์โมเลกุลของสารอินทรีย์ในกองปุ๋ย จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ และกำจัดความชื้นและก๊าซที่มากเกินไป และถ้าออกซิเจนที่ให้กองปุ๋ยนั้นถูกจำกัด จะทำให้กระบวนการหมักนั้นกลายเป็นสภาวะไร้อากาศ ซึ่งจะทำให้การหมักเกิดการล้าช้า และเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในระหว่างกระบวนการหมัก ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำสุดที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดสภาวะไร้อากาศอยู่ที่ประมาณร้อยละ 5 การกลับกองเป็นประจำหรือการให้อากาศจากเครื่องให้อากาศจะช่วยทำให้แน่ใจได้ว่าออกซิเจนเพียงพอ (Chiu-Chung และคณะ, 2005)

ความต้องการออกซิเจนที่พอเหมาะมีความจำเป็นสำหรับกองปุ๋ยหมัก เพราะจุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนในกระบวนการเมทาบอลิซึม และมีการถ่ายเทก๊าซเสียที่เกิดขึ้นจากการหมัก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าหากออกซิเจนไม่เพียงพอทำให้เกิดการย่อยสลายช้า เพราะเกิดสภาพไร้อากาศ และจะเกิดกลิ่นเหม็น แต่บางครั้งหากมีการให้ออกซิเจนมากเกินไป จะทำให้กองปุ๋ยขาดความชุ่มชื้น และทำให้มวลลดลงอีกด้วย

การกลับกองปุ๋ยบ่อยๆ เป็นวิธีการให้อากาศแบบธรรมชาติกับวัสดุหมัก (Gotaas, 1956; Kochtitzky และคณะ, 1969; Wiley และ Spillane, 1961)

Golueke (1981) กล่าวว่า การถ่ายเทอากาศขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัสดุหมักด้วย หากวัสดุหมักมีรูปร่างกลมจะทำให้เกิดการอัดแน่น ส่งผลให้อากาศแทรกเข้าไปได้ยาก และอีกปัจจัยหนึ่งคือความชื้น โดยจะต้องไม่มากเกินไป

การควบคุมอัตราการเติมอากาศเป็นสิ่งสำคัญมากในแง่รูปแบบกระบวนการหมักและการควบคุมระบบ สภาวะการมีออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นในการทำให้เกิดช่วงเทอร์โมฟิลิคที่สมบูรณ์เพราะว่าการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงนี้

7) ขนาดของวัสดุหมัก

การย่อยสลายและกิจกรรมของจุลินทรีย์นั้นจะเกิดขึ้นเร็วบริเวณใกล้ผิวหน้าของกองหมัก เนื่องจากบริเวณนั้นจะมีการแพร่ของออกซิเจนในปริมาณสูง และขนาดของวัสดุหมักหากมีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับออกซิเจนได้มาก ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นเร็ว (Chiu-Chung และคณะ, 2005)

Haug (1993) ได้แนะนำไว้ว่า วัสดุหมักที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร การแพร่ของออกซิเจนจะมีข้อจำกัดในการที่จะเข้าถึงกลางของวัสดุหมัก ดังนั้นหากวัสดุมีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ และมีผลต่ออัตราการย่อยสลาย

ขนาดของวัสดุหมักจะมีผลต่อการเก็บกักความชื้น คือจะทำให้เกิดช่องว่างของวัสดุหมักผสม (Nalyor, 1996) ถ้าขนาดของวัสดุหมักเล็กจะมีผลทำให้ปริมาณอากาศน้อยลงและช่องว่างก็น้อยลงด้วย การย่อยสลายแบบใช้อากาศต้องให้ขนาดของวัสดุหมักมีขนาดใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าขนาดของวัสดุหมักมีขนาดเล็กจะต้องมีการเติมออกซิเจนเพิ่มเข้าไป ซึ่งอาจจะเพิ่มออกซิเจนโดยการกลับกอง ซึ่งโดยปกติการแก้ปัญหานี้คือ ควรใช้วัสดุหมักที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-50 มิลลิเมตร การอัดแน่นของวัสดุหมักมีผลให้อากาศลดลง ดังนั้นอาจจะมีการร่อนวัสดุหมักผ่านตะแกรงเพื่อดูขนาดที่เหมาะสม เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก การหาความหนาแน่นของปุ๋ยหมักผลที่ได้จะต้องมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในการหมักปุ๋ยบางระบบการระเหยของน้ำและน้ำที่สูญเสียไปมีปริมาตรสูง ดังนั้นค่าความหนาแน่นอาจจะลดลง เนื่องจากวัสดุหมักมีลักษณะแห้ง (Day และคณะ, 1998)

ลักษณะและขนาดของเศษวัสดุหมักที่แตกต่างกันมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลาย ถ้าหากวัสดุที่ใช้มีขนาดเล็กการผสมคลุกเคล้าทำได้ทั่วถึงเพราะมีพื้นที่สัมผัสมาก ดังนั้นโอกาสที่จะถูกย่อยสลายก็มีมาก แต่ถ้าขนาดเล็กเกินไปก็จะทำให้ลดอัตราการระบายอากาศของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Bertoldi และคณะ, 1983; Crawford, 1983) ดังนั้นจึงควรมีช่องว่างเพียงพอในการระบายอากาศ ซึ่งขนาดที่พอเหมาะของวัสดุหมักควรมีขนาดความยาวของแต่ละชิ้นส่วนประมาณ 5 เซนติเมตรหรือเล็กกว่า (Gaur, 1980)

8) จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยทั่วไปวัสดุที่นำมาหมักประกอบไปด้วยแบคทีเรียหลายชนิดจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของพวกแอคติโนมัยซีส ฟังไจ รา และสิ่งมีชีวิตอื่นๆอีก ดังนั้นจุลินทรีย์เหล่านี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหมักและมีส่วนสำคัญในปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ย ส่วน

การเพาะเชื้อจะทำก็ต่อเมื่อจุลินทรีย์เดิมนั้นไม่สามารถพัฒนาตัวเองให้มีการเพิ่มจำนวนอย่างมีประสิทธิภาพ (Gray และคณะ, 1971[a])

ในระยะแรกของกระบวนการหมักซึ่งอุณหภูมิภายในกองหมักมีค่า 25-40°C จะพบกลุ่มจุลินทรีย์เมโสฟิลิค โดยพวกเชื้อราและแบคทีเรียจะสร้างกรดจะเป็นจุลินทรีย์หลักที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่วนแอคติโนมัยซีสเจริญเติบโตได้ช้ามาก และเมื่ออุณหภูมิของกองหมักสูงจนเข้าสู้ช่วงเทอร์โมฟิลิค จุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิคทั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคทิโนมัยซีสจะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเมื่ออุณหภูมิของถังหมักสูงกว่า 60°C เชื้อราและแอคติมัยซิสจะมีปริมาณลดลง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียเป็นหลัก และในช่วงสุดท้ายของการหมักซึ่งอุณหภูมิของกองหมักลดลงจนอยู่ในช่วงเมโสฟิลิค จะพบกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มเมโสฟิลิคโดยเฉพาะเชื้อราและแอคติโนมัยซีสที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนได้ เช่น ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส (Beffa และคณะ, 1996)

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักนั้นมีหลายชนิด แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 3 กลุ่มดังนี้ (มุกดา, 2543)

(1) เชื้อรา (Fungi)

เชื้อราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ โมลด์ (Mold) เป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน มีลักษณะเป็นเส้นใย และยีสต์ (Yeast) ซึ่งพบทั้งชนิดที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน มีลักษณะโครงสร้างแบบเซลล์เดียว เชื้อราสืบพันธ์โดยการสร้างสปอร์ (Spore)

ในกองปุ๋ยหมักจะสามารถตรวจพบเชื้อราได้เสมอ แต่ชนิดและปริมาณของเชื้อราจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุหมัก ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ซึ่งในช่วงที่อุณหภูมิภายในกองหมักมีค่าสูงกว่า 60°C จะพบเชื้อราเจริญเติบโตเฉพาะที่บริเวณผิวนอกของกองหมักซึ่งมีความชื้นและอุณหภูมิต่ำกว่าภายในกองหมัก ส่วนภายในกองหมักจะไม่พบเชื้อราเลย

เชื้อราที่พบในช่วงแรกๆ ที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ *Aspergillus funigatus* และนอกจากนี้ยังมีเชื้อราชนิดอื่นๆ เช่น *Penicilium* sp., *Alternaria* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น

(2) แอคติโนมัยซีส (Actinomycetes)

จุลินทรีย์ประเภทนี้อาจจะเจริญได้ในสภาพอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และเจริญได้ช้ากว่าพวกเชื้อราและแบคทีเรีย และยังเจริญได้ไม่ดีเมื่ออยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศไม่ดีพอ ลักษณะของแอคติโนมัยซีสที่พบในกองปุ๋ยหมักจะมีลักษณะเป็นจุดสีขาวคล้ายผงปูน ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของกองหมักมีค่าสูง เนื่องจากแอคติโนมัยซีสสามารถเจริญเติบโตได้ดี

แอคติโนมัยซีสที่พบในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ แอคติโนมัยซีสกลุ่ม *Thermoactinomycetes* sp. และ *Thermomonospora* sp. เป็นต้น ซึ่งสามารถที่จะผลิตเอนไซม์สำหรับ

ย่อยเซลลูโลสได้ดี ขณะที่ *Streptomycetes* sp. และ *Micromonospora* sp. เป็นแอคติโนมัยซีสที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักขณะที่มีอุณหภูมิสูง

(3) แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรียสามารถตรวจพบได้ทั้งในดิน น้ำ และอากาศ แต่ส่วนมากจะพบในน้ำและดินที่มีความชื้นสูง ซึ่งจะสามารถตรวจพบแบคทีเรียได้ทุกระยะของกระบวนการหมัก ปริมาณของแบคทีเรียจะแปรผันตามสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก แบคทีเรียที่พบในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดีได้แก่ *Bacillus* sp., *Achromobacter* sp., *Cellulomonas* sp. และ *Cytophaga* sp. เป็นต้น ส่วนในสภาพที่ไม่มีอากาศจะพบแบคทีเรียพวก *Clostridium* sp.

กลุ่มจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก (Chiu-Chung และคณะ, 2005) การย่อยสลายของเสียอินทรีย์นั้นในกระบวนการตามธรรมชาติจะเริ่มต้นอย่างรวดเร็ว และการหมักปุ๋ยจะมีการควบคุมและเร่งให้เกิดการย่อยสลายเช่นกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้จุลินทรีย์ 3 ประเภทด้วยกันคือ แบคทีเรีย ฟังไจ และแอคติโนมัยซีส (ตารางที่ 1.2) โดยที่แอคติโนมัยซีสจะมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่างแบคทีเรียและฟังไจ เพราะจะมีลักษณะคล้ายกับฟังไจ อาหารที่ใช้และมีลักษณะการเจริญเติบโตในลักษณะเดียวกัน ซึ่งจะพบในระยะต่อไปของกระบวนการหมักปุ๋ย และจะพบพวกฟังไจในระยะสุดท้ายของกระบวนการหมัก (รูปที่ 1.13)

ตารางที่ 1.2 กลุ่มจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบในการหมักปุ๋ย

แอคติโนมัยซีส	ฟังไจ (เห็ด และรา)	แบคทีเรีย
Actinobifida ahromogena	*Aspergillus fumigatus*	*Alcaligenes faecalis*
Microbispora bispora	*Humicola grisea*	*Bacillus brevis*
Micorpolyspora faeni	*H. insolens*	*B. circulans complex*
Nocardia sp.	*H. lanuginosa*	*B. coagulans* type A
Pseudocardia thermophilia	*Malbranchea pulchella*	*B. coagulans* type B
Streptomyces rectus	*Myriococcum thermophilum*	*B. licheniformis*
S. thermofuscus	*Paecilomyces variotti*	*B. megaterium*
S. theromviolaceus	*Papulospora thermophilia*	*B. pumilus*
S. thermovulgaris	*Scytalidium thermophilim*	*B. sphaericus*
S. violaceus-ruber	*Sporotrichum thermophile*	*B. stearothermphilus*
Thermoactinomyces sacchari		*B. subtilis*
T. vulgaris		*Clostridium thermocellum*

ตารางที่ 1.2 กลุ่มจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบในการหมักปุ๋ย (ต่อ)

แอคติโนมัยซีส	ฟังไจ (เห็ด และรา)	แบคทีเรีย
Thermomonospora curvata		*Escherichia coli*
T. viridis		*Flavobacterium* sp.
		Pseudomonas sp.
		Serratia sp.
		Thermus sp.

ที่มา: Palmisano และ Bartaz (1996)

1.2.5 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำปุ๋ยหมัก

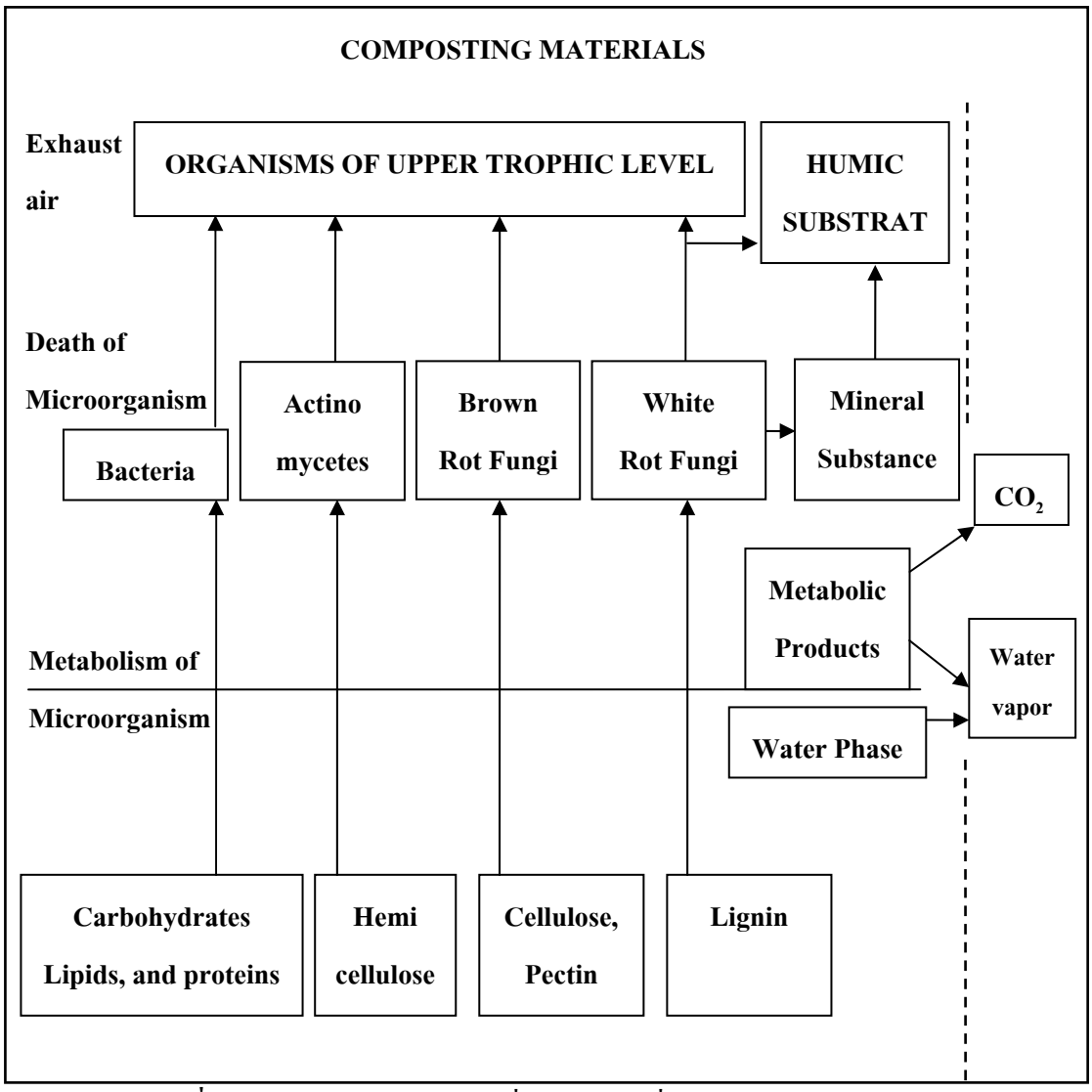
กระบวนการหมักปุ๋ยใช้ระยะเวลาในการหมักค่อนข้างนานตั้งแต่ 45 วัน ถึง 6 เดือน แบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ (Bertoldi และคณะ, 1983)

1. Active Stage ระยะ Active Stage เป็นช่วงแรกของการหมัก ประมาณ 1-2 สัปดาห์แรก ช่วงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วอันเป็นผลเนื่องมาจากกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในวัสดุหมัก เช่นเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น

2. Curing Stage หรือ Latent Stage เป็นช่วงหลังจากสองสัปดาห์แรกจนสิ้นสุดการหมัก การย่อยสลายดำเนินไปอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่อยู่ในรูปของสารฮิวมัส และไม่เปลี่ยนแปลงไปในทางที่จะทำให้เกิดสารพิษ และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยง่าย บางครั้งอาจเรียกการเปลี่ยนแปลงในช่วงหลังของการทำปุ๋ยหมักนี้ว่า Stabilization

จุลินทรีย์ที่เป็นตัวการหมักที่ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่างการทำปุ๋ยหมักโดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ (สิรินทรเทพ และเยาวลักษณ์, 2535)

1. Mesophile เจริญในช่วงต้น Active Stage และสร้างเอนไซม์ Amylase เพื่อย่อยสลายแป้งเป็นหลัก
2. Thermotolerance Mesiphile เจริญในช่วงท้าย Active Stage และมีปริมาณลดลงในช่วง Curing Stage สร้างเอนไซม์ Amylase Proteinase และ Cellulase
3. Thermophile เจริญในช่วงท้าย Active Stage และต่อเนื่องไปจนถึง Curing Stage สร้างเอนไซม์ Amylase Proteinase ในช่วง Late Active Stage เฉพาะ Cellulase เท่านั้นที่ถูกสร้างโดย Thermophile ในช่วง Curing Stage



รูปที่ 1.13 สายใยอาหารระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมในการหมักปุ๋ย

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Kaiser (1996)

จากการศึกษาของ Suler และ Finstein (1977) สรุปค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมในกระบวนการหมักปุ๋ยเช่น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นควรมีค่าอยู่ในช่วง 30-35:1, อัตราส่วนคาร์บอนต่อฟอสฟอรัสเริ่มต้นอยู่ในช่วง 75-150:1 และขนาดของวัสดุหมักประมาณ 0.5-1.5 นิ้ว เป็นต้น (ตารางที่ 1.3)

ตารางที่ 1.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ย

ลักษณะสมบัติ	ค่า
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น	30-35 : 1
อัตราส่วนคาร์บอนต่อฟอสฟอรัสเริ่มต้น	75-150 : 1
ขนาดอนุภาค (นิ้ว)	0.5-1.5
ความชื้น (ร้อยละ)	50-60
อุณหภูมิสูงสุด (^{o}C)	55
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	โดยปกติไม่มีควบคุม

ที่มา: Suler และ Finstein (1977)

1.2.6 การเติมวัสดุปรับโครงสร้าง, การตัดขนาดของวัสดุหมัก และการผสม (Chiu-Chung และคณะ, 2005)

โดยทั่วไปแล้ว การผสมวัสดุปรับโครงสร้าง เช่น เศษไม้, กิ่งไม้, เปลือกไม้, เปลือกข้าว และของเสียชุมชน เป็นต้น ซึ่งจะใช้วัสดุเหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอน มีความชื้นต่ำ การเติมวัสดุปรับโครงสร้างนี้จะช่วยเพิ่มช่องว่าง และช่วยให้อากาศไหลผ่านได้ดี แนวทางการหมักปุ๋ยจะใช้วัสดุหมักที่มีลักษณะหยาบ และตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้เกิดช่องว่าง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 25 ของปริมาตรทั้งหมดเพื่อไม่ให้เกิดปัญหา ซึ่งปัญหาโดยทั่วไปที่พบคือ การจับกันเป็นก้อนของวัสดุหมัก ซึ่งจะทำให้เกิดการหมักแบบไร้อากาศในขั้นตอนการออกซิเดชัน

ถ้าวัสดุหมักมีขนาดเล็กมาก และมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน จะต้องผสมวัสดุหมักชนิดนั้นกับวัสดุหมักอื่นที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (วัสดุปรับโครงสร้าง) ซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างเพื่อให้อากาศสามารถไหลผ่านและเกิดการแพร่อย่างสม่ำเสมอในขั้นตอนการออกซิเดชัน หรืออาจจะใช้วิธีอื่น เช่น การกลับกองหมักบ่อยๆ ซึ่งจะช่วยให้ไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน และทำให้วัสดุหมักสัมผัสกับอากาศ ทั้งหมดที่กล่าวมาเพื่อให้วัสดุหมักเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพได้สมบูรณ์ และหลีกเลี่ยงการหมักแบบไร้อากาศที่อาจเกิดขึ้นภายในกองหมักได้

1.2.7 การจัดการกลิ่น (Chiu-Chung และคณะ, 2005)

กลิ่นเป็นปัญหาที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการหมักปุ๋ย การจัดการที่เหมาะสมนั้นสามารถที่จะแก้ปัญหานี้ได้ กลิ่นโดยปกติแล้วจะเกิดจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ กลิ่นที่เกิดขึ้นในสภาวะไร้อากาศนี้จะเป็นสารประกอบพวก Ammonia, Hydrogen Sulphide, Dimethyl Disulphide, Methanethiol, Volatile Fatty Acids, amines และสารประกอบอะโรมาติกอื่นๆเป็นต้น

โดยปกติแล้วการเกิดกลิ่นนั้นจะเกิดบริเวณที่ทำการหมักปุ๋ย อาจเกิดจากวัสดุที่นำมาหมัก หรือการผสมกันระหว่างวัสดุหมัก ซึ่งอาจจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศจึงทำให้เกิดปัญหากลิ่นตามมา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องปรับสภาวะให้กลายเป็นสภาวะที่ใช้อากาศ วิธีการที่ดีที่สุดอาจจะนำวัสดุหมักมาผสมกับวัสดุที่มีลักษณะหยาบ เพื่อให้เกิดช่องว่างและมีการแพร่ของออกซิเจนที่เพียงพอ ต่อมาก็จะเป็นการกลับกองและระบบการใช้อากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ ซึ่งทำให้มีออกซิเจนเพียงพอ นอกจากนั้นการออกซิไดซ์ทางเคมีของสารประกอบจำพวกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และคลอรีนสามารถที่จะควบคุมกลิ่นได้ แต่จะต้องใช้ในปริมาณที่ไม่ไปทำลายจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก จากการทดลองกระบวนออกซิเดชันทางชีววิทยาหรือการใช้ตัวกรองชีวภาพจะมีประสิทธิภาพในการควบคุมกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ทางการค้าใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่จะแตกต่างกับเครื่องกรองชีวภาพ ซึ่งมีประสิทธิภาพที่จะลดกลิ่นได้และสามารถหาซื้อได้ง่าย

1.2.8 ตัวเร่งปฏิกิริยาในการหมักปุ๋ย

ตัวเร่งในทางการค้าสามารถหาได้หลายชนิด ซึ่งเมื่อเติมลงไปในกองหมักแล้วจะช่วยในการหมักดีขึ้น ตัวอย่างตัวเร่งที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ดังนี้ (Chiu-Chung และคณะ, 2005)

1) CBCT

CBCT คือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (Beneficial Microorganism: BM), ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง, กรดอะมิโน, เอนไซม์, โปรตีน, วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ จุลินทรีย์ใน CBCT จะถูกคัดเลือกสำหรับให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ และเพื่อผสมกับเชื้อจุลินทรีย์เดิมให้มีความเข้มข้นขึ้น และทำให้กระบวนการย่อยสลายในการหมักปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากที่สุด CBCT จะทำให้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมักที่เกิดขึ้นไม่มีกลิ่น, มีคุณภาพดี, ปุ๋ยหมักที่ได้มีความปลอดภัยสามารถที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงองค์ประกอบของดิน, เก็บกักความชื้น และเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน

CBCT จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการหมักปุ๋ยให้เร็วขึ้น เมื่อ CBCT ได้รับการกระตุ้นจากสิ่งแวดล้อมโดยธาตุอาหารที่จำเป็น (อินทรียวัตถุ) จุลินทรีย์ CBCT สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และมีปริมาณมากจึงกลายเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีอิทธิพล จุลินทรีย์นี้จะมีความเหมาะสมในการย่อยสลาย สำหรับการย่อยสลายองค์ประกอบทางชีวภาพในของเสียอินทรีย์ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการจะได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารหลักเบื้องต้น, ธาตุอาหารรอง, ฮิวมัส และกรดฮิวมิก จากกระบวนการนี้ยังได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำอีกด้วย

จุลินทรีย์พวก CBCT จะไม่ถูกปรับเปลี่ยน จะเป็นจุลินทรีย์ที่ได้มาจากดินโดยตรง ซึ่งจะใช้อินทรียวัตถุเป็นแหล่งอาหาร การเพาะเชื้อจุลินทรีย์จะต้องปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ทำอันตรายต่อสัตว์ พืช และมนุษย์ และยังมีประโยชน์อื่นๆ อีกเช่น

- ช่วยควบคุมการหมักปุ๋ย
- สะดวกในการใช้
- CBCT มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม
- CBCT ไม่เป็นพิษต่อสัตว์ พืช และมนุษย์
- ควบคุมแมลงโดยลดการสร้างสารตั้งต้นที่ใช้ในการขยายพันธุ์
- ปุ๋ยหมักที่ได้ไม่มีกลิ่นเหม็น ถูกสุขอนามัย และปลอดภัยในการนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน

2) สารเร่ง พด.1

สารเร่งพด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสูงในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เพื่อผลิตปุ๋ยหมักในช่วงระยะเวลาอันสั้นเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม และได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดี ประกอบด้วยเชื้อ แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และรา ซึ่งมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงประกอบด้วย จุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์ ดังนี้

- แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Bacillus* sp.
- แอคติโนมัยซีส 2 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Streptomyces* sp.
- รา 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Scopulariopsis* sp., *Helicomyces* sp., *Chaetomium* sp. และ *Trichoderma* sp.

2.1) แหล่งที่มาของเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1

อินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบสำคัญในการควบคุมความสมดุลและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทั้งในด้านสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ในสภาพป่าธรรมชาติจะเป็นแหล่งของอินทรียวัตถุที่สำคัญ โดยจะได้จากการร่วงหล่นของใบไม้ทับถมกัน และเกิดการย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส ซึ่งจะผลิตเอนไซม์เซลลูเลสย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ และแปรสภาพให้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้ต่อไป

2.2) คุณสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1

(1) เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อย่อยสลายเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักในเศษพืชได้ดี สามารถเจริญได้ดีในสภาพดินที่มีอินทรียวัตถุสูง มีความสามารถในการใช้อาหารจากอินทรียวัตถุ และเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ในดินได้ดีกว่า ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นโทษต่อพืชซึ่งมีอยู่ในดิน ไม่สามารถเจริญแข่งขันได้

(2) เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการแสง อากาศ และเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง 45 ^{o}C

(3) เป็นจุลินทรีย์ที่มีความต้องการความชื้นสูงร้อยละ 50

1.2.9 การสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย (Compost maturity)

1) ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น ขนาดของอนุภาค การย่อยสลายโดยการใช้อากาศและความชื้นเป็นต้น

จากผลการศึกษาของมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย (McGauhey และ Golueke, 1953) โดยการหมักปุ๋ยของเสียชุมชนที่บดหยาบแบบกองและใช้อากาศ ค่าความชื้นที่ใช้ต่ำกว่าร้อยละ 70 เพื่อที่ต้องการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการหมักเมื่อค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นมีค่าต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1.4 (Knoll, 1959)

ตารางที่ 1.4 ระยะเวลาที่ต้องการในการหมักปุ๋ยสำหรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น	ระยะเวลาที่ต้องการโดยประมาณ (วัน)
20	9-12
30-50	10-16
78	21

ที่มา: Knoll (1959)

ถ้าวัสดุที่ใช้ในการหมักมีขนาดใหญ่เกินไป แบคทีเรียไม่สามารถที่จะเข้าไปในวัสดุหมักได้ ดังนั้นภายในของอนุภาคจะกลายเป็นสภาวะไร้อากาศ จึงทำให้การหมักใช้ระยะเวลานาน

ภายใต้สภาวะที่มีอากาศ อุณหภูมิจะสูง และเมื่ออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมหรือน้อยกว่า วัสดุจะมีลักษณะและกลิ่นของฮิวมัส หลังจากเกิดการย่อยสลาย 2-5 วัน อย่างไรก็ตามการย่อยสลายจะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ในขั้นนี้

2) การตรวจสอบระดับของความเสถียร (Monitoring the degree of Stabilization)

การมีคุณภาพของปุ๋ย บางครั้งไม่สามารถที่จะมองจากลักษณะภายนอกได้ เนื่องจากลักษณะภายนอกอาจจะเหมาะสมที่จะเป็นปุ๋ยแล้ว แต่หากว่าในปุ๋ยนั้นอาจมีความเป็นพิษได้ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบกระบวนการในการหมักและอื่นๆ เพื่อช่วยในการตัดสินใจ โดยดูจากการดำเนินการทั้งหมด และผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Gotaas, 1956) เช่น

- การทดสอบคุณภาพทางสุขาภิบาลของการดำเนินการและผลิตภัณฑ์สุดท้าย เช่น การทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคและปรสิต, การมีกลิ่น เป็นต้น
- การทดสอบปุ๋ย เช่น ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม และธาตุอาหารอื่นๆ เป็นต้น
- การวิเคราะห์อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยวัดอัตราการใช้ออกซิเจน, การวัด ATP และการเกิดไนเตรท

3) หลักการที่ใช้การพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ย

หลักการที่ใช้พิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมักคือ ข้อกำหนดที่บ่งบอกว่าปุ๋ยหมักได้ที่ได้ผ่านกระบวนการหมักอย่างเสร็จสมบูรณ์ เมื่อนำไปใส่ในดินแล้วไม่มีผลเสียต่อดินและพืช โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะ ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ดังนี้ (สุรพงษ์, 2547)

(1) ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

- สีของปุ๋ยหมักจะเริ่มเข้มขึ้นกว่าเมื่อเริ่มหมัก โดยจะมีสีเข้มขึ้นเรื่อยๆ จนเมื่อได้ที่แล้วจะมีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำซึ่งเป็นสีของอินทรียวัตถุ
- กลิ่นของวัสดุหมักจะค่อยๆ ลดลงตั้งแต่ช่วงแรกของการหมัก และจะค่อยๆ หายไป จนกระทั่งเมื่อปุ๋ยหมักได้ที่แล้ว จะมีกลิ่นคล้ายกลิ่นดินตามธรรมชาติ
- อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก เมื่อเริ่มกองใหม่ๆ จะเพิ่มสูงขึ้นและจะมีค่าสูงอยู่ในช่วงระยะหนึ่ง จากนั้นจะเริ่มลดอุณหภูมิลงจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ แสดงว่าปุ๋ยหมักเริ่มได้ที่แล้ว
- เศษวัสดุที่ใช้หมัก เมื่อผ่านการย่อยสลายในการหมักจนได้ที่แล้ว จะมีลักษณะอ่อนนุ่มยุ่ยขาดออกจากกันได้ง่าย ไม่แข็งกระด้างและไม่เป็นก้อนเหมือนตอนเริ่มหมัก

(2) ลักษณะสมบัติทางเคมี

- อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ถ้ามีค่าต่ำกว่า 20:1 แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นได้ที่แล้ว

- ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงแรกของการหมักปุ๋ยจะลดลงมาถึงประมาณ 4.5-5.5 จากนั้นจะค่อยๆ สูงขึ้นจนกระทั่งมาถึงประมาณ 7.0-8.5 จากนั้นจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงอีกมากนักจนกระทั่งสิ้นสุดการหมักปุ๋ย
- ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cationic Exchange Capacity, CEC) โดยทั่วไปค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในระหว่างการหมัก โดยปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วควรมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกไม่ต่ำกว่า 60 มิลลิอิควิวาเลนต์/100 กรัม โดยน้ำหนักแห้งของวัสดุหมัก

(3) ลักษณะสมบัติทางชีวภาพ

ลักษณะสมบัติทางชีวภาพ อาจสังเกตได้จากการเจริญเติบโตของพืชบนกองปุ๋ยหมัก หากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นได้ที่แล้ว สามารถนำไปใส่ในดินได้โดยไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโตพืช หรืออาจทดสอบการงอกของเมล็ดพืช หากมีดัชนีการงอกมากกว่าร้อยละ 50 แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นได้ที่แล้ว

1.2.10 คุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก

U.S. EPA (1999) ได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมักเพื่อการขายหรือการบรรจุโดยต้องมีปริมาณ Fecal Coliforms น้อยกว่า 1000 MPN/g (น้ำหนักแห้ง) หรือต้องมีแบคทีเรีย *Salmonella* sp. น้อยกว่า 3 MPN/4g (น้ำหนักแห้ง) และจากคำแนะนำมาตรฐานทางวิชาการซึ่งกำหนดโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2548) ปุ๋ยหมัก ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1) ปริมาณอินทรียวัตถุต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 25-50 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์
2) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต้องไม่เกินร้อยละ 25 ต่อ 1
3) ระดับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ต้องไม่เกิน 3.5 dS/m
4) ระดับความเป็นกรดด่างต้องอยู่ในช่วง 5.5-8.5
5) ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชคือ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโปแทสเซียม (K_2O) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 โดยน้ำหนักตามลำดับ
6) ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ต้องไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก
7) ต้องมีขนาดผ่าตะแกรงร่อน 10x10 มิลลิเมตร ได้หมด
8) เศษวัสดุอื่นๆที่ไม่ต้องการ ได้แก่ หิน กรวด ทราย เศษพลาสติก ฯลฯ ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
9) ต้องไม่มีวัสดุอันตราย เช่นเศษแก้ว วัสดุแหลมคม และโลหะอื่นๆ ที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้เจือปน

10) ต้องปลอดภัยจากธาตุโลหะหนักและสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม

11) ต้องปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

1.2.11 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่สลายตัวได้ที่ดีแล้วเป็นวัสดุที่ค่อนข้างทนทานต่อการย่อยสลายพอสมควร ดังนั้นเมื่อใส่ลงไปในดิน ปุ๋ยหมักจึงสลายตัวได้ช้า ซึ่งนับว่าเป็นลักษณะที่ดีอย่างหนึ่งของปุ๋ยหมัก เพราะทำให้ปุ๋ยหมักสามารถปรับปรุงดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้เป็นระยะเวลานานๆ แต่ก็มีบางส่วนที่ถูกย่อยสลายไป ในการย่อยสลายนี้จะมีแร่ธาตุอาหารพืชถูกปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยหมักให้พืชได้ใช้อยู่เรื่อยๆ แม้ว่าจะเป็นปริมาณที่ไม่มากนัก แต่จะถูกปลดปล่อยออกมาตลอดเวลาและสม่ำเสมอ

1.2.12 วัสดุหมัก

1) ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง

เนื่องจากของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก โดยในตัวอย่างจะมีองค์ประกอบของไนโตรเจนต่ำ ดังนั้นหากต้องการนำของเสียนี้มาหมักปุ๋ย จำเป็นต้องหาวัสดุที่จะมาหมักร่วม โดยเลือกวัสดุร่วมที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำและจะต้องมีปริมาณไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่ค่อนข้างสูง จึงจะเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการหมักปุ๋ยร่วมกับของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง

2) ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการทางชีวภาพจะมีตะกอนจุลินทรีย์หรือสลัดจ์เป็นผลผลิตตามมาด้วย ซึ่งเป็นผลจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสีย ลักษณะทางกายภาพของตะกอนอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Semi-Solid) มีลักษณะคล้ายดินเหนียว สีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เมื่ออยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น มีแก๊สและความร้อนจากการย่อยสลายตะกอนของจุลินทรีย์ และองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสีย และชนิดของระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น (ชนิดา, 2543) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบำบัดตะกอนเหล่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นของตะกอน การเพิ่มภาวะมลพิษ และเป็นการทำลายเชื้อโรคด้วย นอกจากนี้การลดปริมาตรของตะกอนโดยการกำจัดน้ำออกจากตะกอน ช่วยให้เกิดความสะดวกในการเก็บขนไปกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ เช่น การหมักทำปุ๋ยเป็นการนำตะกอนมาหมักต่อเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ย ซึ่งเป็นการนำตะกอนกลับมาใช้ประโยชน์ในการเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืช เนื่องจากในตะกอนประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่างๆ

ในประเทศไทยยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับการกำจัดตะกอนน้ำเสีย บางแห่งทำการกำจัดตะกอนโดยทิ้งรวมกับขยะมูลฝอยทั่วไป ซึ่งจากการศึกษาถึงองค์ประกอบของตะกอน พบว่าตะกอนน้ำเสียมีลักษณะที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ ประกอบกับการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม การนำตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีที่ควรทำการศึกษาต่อไป (จิณัฐตาและปวีณา, 2540) การนำตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีความเป็นไปได้ เนื่องมาจากคุณสมบัติต่างๆ ของตะกอนน้ำเสีย ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารจำเป็นต่อพืช ซึ่งมีอยู่มากในตะกอนร่วมกับความสามารถในการสลายตัวของตะกอน ทำให้ตะกอนนั้นมีศักยภาพในความเป็นปุ๋ยสูง อีกทั้งแนวโน้มการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่การเกษตรมีมากขึ้น เนื่องจากแรงกดดันในด้านต่างๆ เช่น ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอน ปริมาณกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ความแปรผันของราคาปุ๋ยเคมี รวมไปถึงความเข้มงวดของกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม เพื่อป้องกันปัญหาทางมลภาวะที่จะเกิดขึ้นด้วย

3) ผักตบชวา

ชื่อวิทยาศาสตร์	*Eichhornia crassipes Solms.*
ชื่อไทย	ผักตบชวา ผักป่อง ผักตบ ผักบ่ง
ชื่อสามัญ	Waterhyacinth
ชื่อวงศ์	Pontederiaceae

ผักตบชวาถูกนำเข้ามาในประเทศไทย เมื่อปี พ.ศ. 2444 ผักตบชวาจัดเป็นวัชพืชน้ำที่เจริญเติบโตและขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว จึงก่อให้เกิดความเสียหายทำให้ทางระบายน้ำและลำคลองตื้นเขิน เป็นที่อยู่อาศัยของแมลงและสัตว์ร้าย เช่น งู หนู และยุง เป็นต้น ซึ่งเป็นพาหะนำโรคมาสู่มนุษย์อีกด้วย นอกจากนี้ถ้ามีจำนวนมากยังเป็นสาเหตุที่จะทำให้ปริมาณสัตว์น้ำลดลงอย่างมาก เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจ เมื่อพิจารณาถึงความเสียหายที่เกิดจากวัชพืชจำพวกผักตบชวา จะต้องใช้งบประมาณจำนวนมากในการรณรงค์กำจัดวัชพืชเหล่านี้ตามแหล่งน้ำ และจากการศึกษาค้นคว้าและทดลองของกรมพัฒนาที่ดินพบว่า แนวทางที่เหมาะสมในการกำจัดผักตบชวาโดยการนำผักตบชวาเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ด้วยการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการแปรสภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เป็นทรัพยากรที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในรูปปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมาก สามารถดูดซับเอาธาตุอาหารพืชที่ปะปนอยู่กับตะกอนในน้ำมาไว้ในส่วนต่างๆ ของลำต้นและใบ ฉะนั้นเมื่อสลายกลายเป็นปุ๋ยหมักก็จะทำให้ธาตุอาหารพืชสูงไปด้วย ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสำหรับใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในพื้นที่ดินเสื่อมโทรม

องค์ประกอบทางเคมีในผักตบชวา จากการศึกษาและวิจัยพบว่า ผักตบชวาสามารถดูดเก็บเอาแร่ธาตุและสารที่ละลายอยู่ในน้ำไว้ได้เป็นจำนวนมาก (ปรัชญา, 2524) ดังแสดงในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 สมบัติทางเคมีของผักตบชวา

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	**(ร้อยละ) คิดเทียบกับน้ำหนักแห้ง (ทิพย์วัลย์, 2530)**	**(ร้อยละ) คิดเทียบกับน้ำหนักสด (สุภาพรและปรัชญา, 2542)**
ความชื้น	90.90	90.00
โปรตีน	20.50	17.22
เถ้า	16.9	16.0-20.0
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.85	-
คาร์บอน (C)	32-35	32-35
ไฮโดรเจน (H)	5.4-5.8	-
ไนโตรเจน (N)	2.8-3.5	2.8-3.5
โปแทสเซียม (K)	(K) 2.0-3.5	(K_2O) 2.0-3.5
โซเดียม (Na)	1.5-2.5	-
แคลเซียม (Ca)	0.6-1.3	0.6-1.3
ฟอสฟอรัส (P)	(P) 0.4-1.0	(P_2O_5) 0.1-0.4
กำมะถัน (S)	0.3-0.4	-
แมกนีเซียม (Mg)	0.2-0.3	0.6-1.3

การหมักปุ๋ยซึ่งปุ๋ยที่ได้จากผักตบชวามีปริมาณโปแทสเซียมอยู่มากเป็นพิเศษ ส่วนธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จะมีพอสมควรและขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำที่ผักตบชวาเจริญเติบโต

4) มูลวัว

มูลวัวเป็นของเสียชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาหมักปุ๋ย เนื่องจากมีธาตุอาหารที่เหมาะสม แต่มูลวัวที่ไม่ผ่านการหมักไม่ควรนำใช้โดยตรง เพราะว่าจะเกิดความร้อน ทำให้เกิดผลเสียต่อพืช ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีทั่วไปดังตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของมูลวัว

ลักษณะสมบัติ	มูลวัว
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	8.86
ความหนาแน่น (g/cc)	0.29
ความชื้น (ร้อยละ)	10.20
เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	2.76
อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	47.24
คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	25.81
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	20.01
ไนโตรเจน (ร้อยละโดย น้ำหนักแห้ง)	1.29
ฟอสฟอรัส (ร้อยละ P)	1.47
โปแทสเซียม (ร้อยละ K)	1.62

ที่มา: บัญจรัตน์ และคณะ, 2551

5) เปลือกผลไม้

ร้านขายผลไม้โดยส่วนใหญ่จะมีของเสียคือ เปลือกผลไม้หลายชนิดในปริมาณมาก เช่น เปลือกสับปะรด เปลือกมะม่วง เปลือกแตงโม และเปลือกมะละกอ เป็นต้น ซึ่งทางร้านไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อ การกำจัดจึงเป็นการนำไปทิ้ง เพื่อรอให้รถเก็บขยะของเทศบาลนำไปกำจัดต่อ พวกเศษเปลือกผลไม้มีปริมาณไนโตรเจนอยู่มาก จึงเหมาะสมที่จะนำมาหมักร่วมกับของเสียโรงงานผลิตยางแท่งที่มีค่าไนโตรเจนต่ำ

6) ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล

ตะกอนน้ำเสียที่มีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้วเป็นแหล่งของอินทรียวัตถุ ธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแคลเซียม และธาตุอาหารรอง เช่น สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (Cecil และ Tester, 1990)

การใช้ประโยชน์จากตะกอนน้ำเสียเป็นปุ๋ยหมักนั้น ส่วนใหญ่ยึดเอาปริมาณธาตุไนโตรเจนเป็นหลัก โดยถือว่าธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมากที่สุด Stewart และคณะ (1975) รายงานว่า ตะกอนของเสียเกือบทุกชนิดและทุกแหล่ง ถ้าเป็นของแข็งสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้ทีละน้อย และช้ากว่าตะกอนที่เป็นของเหลว Yoneyama และ Yoshida (1978) พบว่ากากตะกอนของเสียเกือบทุกชนิดประกอบด้วยสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก

ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ และง่ายต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเตรท คุณสมบัติของตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลดังตารางที่ 1.7

ตารางที่ 1.7 คุณสมบัติทางเคมีของตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล

ลักษณะสมบัติ	ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล	
	ใช้อากาศ	ไม่ใช้อากาศ
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (1:5)	5.72	5.29
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	10.37	10.50
การนำไฟฟ้า ($dS\ m^{-1}$)	83	103
แอมโมเนียม (ร้อยละ)	0.15	0.31
ไนเตรต (ร้อยละ)	0.15	0.67
ไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)	1.99	2.34
ฟอสฟอรัสที่มีประโยชน์ (ร้อยละ)	0.31	0.28
อินทรียวัตถุ (ร้อยละ)	35.6	42.4

ที่มา: อุไรวรรณ, 2545

1.2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัลยา (2537) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์เนื่องจากการนำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยใช้กากตะกอนที่ได้จากโรงงานบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวางผสมคลุกเคล้ากับดินเหนียวและดินร่วนในอัตราส่วนต่างๆ แล้ววัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการหายใจ รวมทั้งศึกษาจุลินทรีย์ดินกลุ่มต่างๆ คือ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีสเพื่อบ่งบอกถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินภายหลังได้รับกากตะกอนและโลหะหนักในรูปอนินทรีย์สารพบว่า การเติมสารละลายโลหะหนักเทียบเท่าที่มีในกากตะกอน 4 ระดับลงในดินทั้ง 2 ประเภทนั้นไม่มีผลต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน

จิณัฐตา และปวีณา (2540) ได้ศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อใช้ปรับปรุงดิน โดยใช้กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนสี่พระยาและดินชนิดต่างๆ ที่มีลักษณะต่างกัน 5 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินน้ำพอง ชุดดินเพชรบุรี ชุดดินโพนงาน ชุดดินรังสิต ชุดดินลำนารายณ์ โดยทำการผสมกากตะกอน 5 อัตราส่วน คือ อัตราส่วน 1:1 (กากตะกอน 100 กรัมต่อน้ำหนักรวม 200 กรัม), อัตราส่วน 2:3 (กากตะกอน 80 กรัมต่อน้ำหนักรวม 200 กรัม), อัตราส่วน 1:3 (กากตะกอน 50 กรัมต่อน้ำหนักรวม 200 กรัม), อัตราส่วน 1:4 (กากตะกอน 40 กรัม

ต่อน้ำหนักรวม 200 กรัม) และอัตราส่วน 1:9 (กากตะกอน 20 กรัมต่อน้ำหนักรวม 200 กรัม) ทำการวิเคราะห์ในสัปดาห์ที่ 1 และ 12 หลังการผสมพบว่า กากตะกอนช่วยทำให้ดินมีความเป็นกลางมากขึ้น ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม และค่า CEC ในดิน อัตราส่วนสูงสุดที่ยอมรับได้จากการทดลองเติมกากตะกอนลงในดินสำหรับการทดลองครั้งนี้ พบว่า ไม่ควรเกิน 40 กรัมต่อน้ำหนักรวม 200 กรัม ถ้าเติมในปริมาณที่มากกว่านี้ อาจทำให้เกิดความเป็นพิษต่อดินและพืชที่ปลูกได้

ชนกร (2546) ทำการศึกษาการทำปุ๋ยหมักโดยใช้มูลฝอยชุมชนและมูลฝอยตลาดสด ในกรณีที่ไม่มีการเติมตะกอนน้ำทิ้งและเติมตะกอนน้ำทิ้งชุมชนในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักของกองหมัก โดยกำหนดอัตราการเติมอากาศให้แก่กองหมักแตกต่างกันดังนั้น คือ ไม่มีการเติมอากาศให้แก่กองหมัก และเติมอากาศในอัตรา 0.2 และ 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของของแข็งระเหยต่อวัน เพื่อศึกษาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลต่อการทำปุ๋ยหมัก และคุณภาพของปุ๋ยหมัก จากผลการทดลองพบว่า การหมักมูลฝอยตลอดสดมีระยะเวลาสั้นกว่ามูลฝอยชุมชน โดยมูลฝอยตลาดสดมีระยะเวลาในการหมักเฉลี่ย 55 วัน ส่วนมูลฝอยชุมชนมีระยะเวลาการหมักเฉลี่ย 70 วัน การเติมตะกอนน้ำทิ้งลงในวัสดุหมักส่งผลให้ระยะเวลาการหมักลดลง โดยมูลฝอยที่ตลาดสดที่มีการเติมตะกอนน้ำทิ้งมีระยะเวลาการหมักเฉลี่ย 44 วัน ซึ่งน้อยกว่ามูลฝอยชุมชนที่มีการเติมตะกอนน้ำทิ้งซึ่งมีระยะเวลาการหมัก 65 วัน การเติมอากาศมีผลทำให้ระยะเวลาในการหมักลดลงเช่นกัน โดยพบว่ามูลฝอยชุมชนมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์เท่ากับร้อยละ 16.53 ซึ่งสูงกว่ามูลฝอยตลาดสด ซึ่งสูงกว่ามูลฝอยตลาดสด ส่วนมูลฝอยชุมชนที่มีการเติมตะกอนน้ำทิ้งมีการลดปริมาณสารอินทรีย์เท่ากับร้อยละ 19.88 ซึ่งสูงกว่ามูลฝอยตลาดสดที่มีการเติมตะกอนน้ำทิ้ง คุณภาพของปุ๋ยหมักเฉลี่ยจากทุกรูปแบบการทดลองมีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในค่าของไนโตรเจน (N) ร้อยละ 1.5-2.2 ฟอสฟอรัส (P_2O_5) ร้อยละ 0.6-2.0 และโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 0.7-3.2 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนระหว่าง 17.2-21.7 ความชื้นของปุ๋ยหมักมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 32.7-44.4 ซึ่งมีคุณสมบัติส่วนใหญ่ได้ตามมาตรฐานปุ๋ยหมักที่กำหนดไว้โดยกรมพัฒนาที่ดิน ส่วนปริมาณโลหะหนักในวัสดุหมักพบว่า สารปรอท (Hg) ระหว่าง 0.190-0.356 ppm สารหนู (As) ระหว่าง 2.651-3.887 ppm สารแคดเมียม (Cd) ระหว่าง 1.703-1.926 ppm สารตะกั่ว (Pb) ระหว่าง 64.566-69.935 ppm ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานโลหะหนักในปุ๋ยหมักที่กำหนดโดยประเทศเยอรมัน

คมสัน และสุรพงษ์ (2547) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกรและเปลือกถั่วเหลือง อัตราส่วน 1:1 (โดยน้ำหนักแห้ง) ในกล่องหมักที่มีการถ่ายเทอากาศตามธรรมชาติ โดยใช้กล่องหมักไม้อัด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 75 เซนติเมตร x 75 เซนติเมตรx 110 เซนติเมตร เจาะรูโดยรอบ

เพื่อให้มีการระบายอากาศตามธรรมชาติ ซึ่งด้านบนของกล่องเปิดโล่ง ส่วนด้านล่างของกล่องรองรับด้วยแผ่นตะแกรงพลาสติกบนขาตั้งตะแกรงเหล็กเพื่อการระบายอากาศในแนวดิ่งตามธรรมชาติได้ ในระหว่างการหมักมีการพลิกวัสดุหมักพร้อมกับเติมน้ำเพื่อควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม และวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยใช้ระยะเวลาในการหมักทั้งสิ้น 120 วัน จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการหมักที่เหมาะสมสำหรับการหมักควรใช้เวลา 35 วันโดยในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการหมัก อุณหภูมิในกล่องหมักสูงถึง 70 องศาเซลเซียส สำหรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงจากประมาณ 19.1 เมื่อเริ่มต้นหมัก เหลือประมาณ 11 ที่ระยะเวลาการหมักเท่ากับ 35 วัน และเท่ากับ 10.5 เมื่อสิ้นสุดการหมัก ส่วนการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 4.25 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เป็น 6.15 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ความจุประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ เพิ่มขึ้นจาก 67.61 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เป็น 89.87 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และไม่พบเชื้อโรคที่เป็นอันตราย ซึ่งเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นว่าคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพเหมาะสมตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน

ธีระพงษ์ และคณะ (2547) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมด้วยระบบกองเติมอากาศ ซึ่งทำกาศึกษาในระบบการใช้งานจริงจากการหมักปุ๋ย 3 กอง แต่ละกองประกอบด้วยเศษพืชที่ผ่านการย่อย 6 ลูกบาศก์เมตร และมูลโค 3 ลูกบาศก์เมตร กองบนลานพื้นดินกลางแจ้ง ให้มีขนาด 2.5 x 3.5 x 1.0 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) เติมปุ๋ยยูเรีย หินฟอสเฟต และสารตัวเร่งในอัตราส่วน 400, 200 และ 90 กรัม ตามลำดับ รักษาความชื้นที่ร้อยละ 45-55 มาตรฐานเปียก เติมอากาศให้แก่แต่ละกองปุ๋ยวันละ 2 ครั้งๆ ละ 15 นาที อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20 พบว่าการหมักใช้ระยะเวลา 30 วัน ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกองมีค่าขึ้นสูงอยู่ในช่วง 60-75 $^{\circ}$C ที่เวลา 2-5 วัน ปุ๋ยหมักที่ได้มีน้ำหนักเบา มีขนาดเล็กลง และไม่มีกลิ่น มีความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 198 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 0.07 บาทต่อกิโลกรัมวัตถุดิบต่อเดือน ผลการศึกษาพบว่าระบบการเติมอากาศมีศักยภาพที่ชุมชนจะนำไปผลิตปุ๋ยหมักในเชิงอุตสาหกรรมได้ เพราะมีการทำงานที่ง่าย ใช้แรงงานน้อย ไม่ต้องมีการพลิกกลับกองปุ๋ย มีค่าลงทุนและค่าดำเนินการต่ำ ใช้พลังงานน้อย และยังเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ประพนธ์ และกิ่งกาญจน์ (2547) ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีผลต่อระยะเวลาในการหมักปุ๋ยจากผักตบชวาและใบไม้แห้ง โดยเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่อัตรา 0.5 โมลต่อโมลของแอมโมเนียระเหยแก่ปุ๋ยหมักที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 10-20 และหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 25-35 โดยไม่เติมแคลเซียมคลอไรด์ พบว่าการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 15 และเติมแคลเซียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 12.76 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 40 วัน

ในขณะที่การหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นระหว่าง 25-35 ใช้เวลาประมาณ 50-56 วัน นอกจากนี้ปุ๋ยหมักที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 15 ยังมีปริมาณไนเตรทไนโตรเจนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าประมาณ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ส่วนปุ๋ยหมักที่มีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 10 และเติมแคลเซียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 37.51 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง)

นันทพร และพัฒนา (2548) การใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบจานหมุนชีวภาพ เป็นวัสดุร่วมในการทำปุ๋ยหมักร่วมกับใบไม้ และเศษอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับปุ๋ยหมัก และเป็นการใช้ประโยชน์กากตะกอน ซึ่งเป็นของเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย ทำการหมักแบบใช้อากาศเป็นเวลา 2 เดือน วิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยหมักทุกสัปดาห์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ จากผลการวิเคราะห์ และการคำนวณค่าทางสถิติด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 พบว่าไนเตรตของทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น แต่ในชุดทดลองที่มีกากตะกอนเป็นวัสดุร่วมจะมีปริมาณไนเตรตสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่มีกากตะกอนเป็นวัสดุร่วมซึ่งมีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปริมาณฟอสเฟตของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ความแตกต่างของแสงไม่มีผลต่อการหมักปุ๋ยและปริมาณปุ๋ยหมักที่ได้ลดลง 92 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจากปริมาณเริ่มต้น

สุรัชดา และคณะ (2548) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณของธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักขยะมูลฝอย โดยใช้บ่อหมักแบบต่าง ๆ ด้วยบ่อดินจำนวน 6 บ่อที่ขุดลึกลงไปในชั้นดินขนาด 1x1x1 m^3 ที่มีช่องถ่ายเทอากาศตรงกลางบ่อตลอดความลึกของชั้นมูลฝอย และที่ไม่มีช่องถ่ายเทอากาศ โดยบ่อที่มีช่องถ่ายเทอากาศตรงกลางบ่อและบ่อที่ไม่มีช่องถ่ายเทอากาศตรงกลางบ่อใช้วัสดุรองบ่อ 3 รูปแบบ คือ แบบไม่รอง แบบรองด้วยฝาขัดแตะ และแบบรองด้วยพลาสติก เช่นเดียวกัน หลังจากนั้นนำขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่สับให้มีขนาด 1-2 นิ้ว ประมาณ 200 กิโลกรัมเทลงในบ่อทั้ง 6 แล้วใช้ดินแดงกลบชั้นมูลฝอยหนา 5 เซนติเมตร หมักเป็นเวลา 90 วัน จากผลการศึกษาพบว่า บ่อที่มีช่องถ่ายเทอากาศตรงกลางบ่อให้ลักษณะปุ๋ยหมักค่อนข้างแห้ง และมีลักษณะการย่อยค่อนข้างสมบูรณ์กว่าบ่อหมักที่ไม่มีช่องระบายอากาศตรงกลางบ่อ ถึงแม้ว่าปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานมากกว่าก็ตาม ปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยหมักที่ได้จากบ่อที่ไม่มีช่องถ่ายเทอากาศตรงกลางบ่อและบ่อที่มีช่องถ่ายเทอากาศตรงกลางบ่อจะให้ปริมาณ N : P_2O_5 : K_2O เป็น 0.699 : 0.293 : 0.638 และ 0.209 : 0.180 : 0.351 ตามลำดับ ค่าความเป็น กรด-ด่าง(pH) ของทั้ง 6 บ่อ อยู่ในช่วงระหว่าง 6.0-7.0 จากการศึกษาพบว่าหากต้องการลดระยะเวลาในการหมักควรที่จะทำให้การถ่ายเทอากาศให้กับชั้นมูลฝอยที่ทำการหมัก ส่วนวัสดุ

รองบ่อที่ใช้ไม่ส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารหลักที่ได้ และหากนำขั้นตอนและวิธีในการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ในการหมักทำปุ๋ย ต้องใช้เวลาในการหมักนานกว่า 90 วัน เพื่อให้เกิดการย่อยที่สมบูรณ์

รุ่งนภา และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์แบบเปิดและแบบไม่เปิดเครื่องเป่าอากาศในถังหมักชีวภาพ (BiobiN) ขนาด 7 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้ส่วนผสมที่เป็นเศษอาหาร (ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก) เศษกิ่งไม้ใบไม้บดย่อย (ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก) วัตถุดิบในท้องถิ่น (ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก) และดินหัวเชื้อในท้องถิ่น (ร้อยละ 10โดยน้ำหนัก) พบว่าปุ๋ยหมักทั้งสองแบบมีสภาพคงตัวหลังจาก 45 วันของการหมัก สังเกตจากลักษณะทางกายภาพ คือ กลิ่นหอมคล้ายดิน สีน้ำตาลเข้มถึงดำโดยไม่มีฝ้าและผงสีขาว ส่วนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีดังนี้ ช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูงมากกว่า 55°C เกิดขึ้นในช่วง 8-10 วันแรกเป็นระยะเวลา 34 วัน และ 24 วัน ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดทั้ง 5 จุดในกองปุ๋ยคือ 60.8°C และ 59.5°C ตามลำดับ จากนั้นอุณหภูมิเริ่มลดลงและคงที่ในช่วง 42-48°C จากวันที่ 45 ตลอดการศึกษา ค่า pH อยู่ในช่วง 5.5–6.5 ตลอดการศึกษา และค่าความชื้นเฉลี่ย (น้ำหนักเปียก) ลดลงจากร้อยละ 80 เป็น 20 ในช่วง 2 สัปดาห์แรกและมีค่าคงที่ตลอดการศึกษา เมื่อหมักปุ๋ยครบ 100 วัน ปุ๋ยหมักทั้งสองแบบมีลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี 2548 โดยมีค่าความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 35 ค่า C/N Ratio ต่ำกว่า 20:1 และค่า EC น้อยกว่า 350 mS/cm จำนวนจุลินทรีย์และแบคทีเรียที่ก่อโรคทุกตัวที่ศึกษามีค่าลดลงและถูกทำลายจากค่าเริ่มต้น อย่างไรก็ตามในระหว่างการหมักปุ๋ยยังไม่สามารถรักษาระดับอุณหภูมิสูงมากกว่า 60°C ไว้ได้นานเกิน 3 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดต่อการผลิตและการใช้ปุ๋ยหมัก จึงควรศึกษาหาแนวทางการควบคุมระยะเวลาและระดับอุณหภูมิที่ต้องการต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งเพื่อจะนำมาทำปุ๋ยหมัก

1.3.2 เพื่อศึกษาระยะเวลาในการหมักปุ๋ยที่เหมาะสม สำหรับของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง ร่วมกับผักตบชวาและตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชน

1.3.3 เพื่อศึกษาการย่อยสลายของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง โดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารเร่ง พด.1 และไม่เติมสารเร่ง พด.1

1.3.4 เพื่อศึกษาการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งร่วมกับวัสดุหมักร่วมโดยเปรียบเทียบระหว่างการไม่เติมสารเร่ง พด.1 และเติมสารเร่ง พด.1

1.3.5 เพื่อหาวัสดุหมักร่วมที่เหมาะสมสำหรับการหมักร่วมกับของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ลดปริมาณของเสียที่เกิดจากโรงงานผลิตยางแท่ง ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน, ผักตบชวา และของเสียอินทรีย์ชนิดอื่น

1.4.2 สามารถใช้ประโยชน์จากของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ผักตบชวา และของเสียอินทรีย์ชนิดอื่น

1.4.3 สามารถใช้ปุ๋ยที่ผลิตได้ในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 วิธีการดำเนินการ

2.1.1 ระบบที่ใช้ในการทดลอง

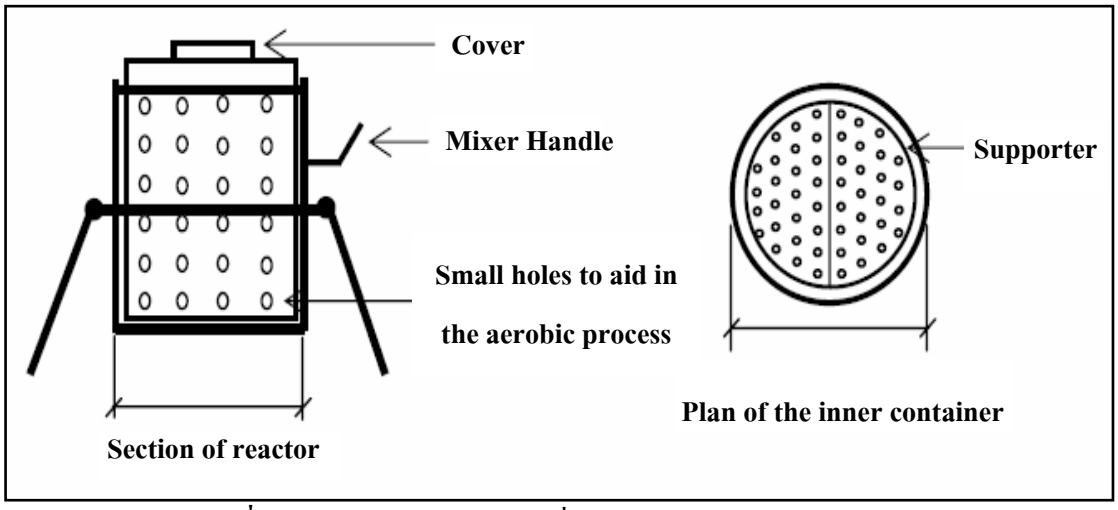
ระบบที่ใช้ในการหมักปุ๋ยในการทดลองนี้ เป็นระบบการหมักแบบใช้อากาศมีแบบจำลอง ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งระบบนี้จะเป็นระบบที่ไม่มีกลิ่น เนื่องจากแอมโมเนียที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นนั้น เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอากาศจะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิคเคชัน ซึ่งจะเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตร์ท และไนเตรท ตามลำดับ และการที่อุณหภูมิในถังหมักเพิ่มสูงขึ้นจะช่วยฆ่าจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อก่อโรคได้อีกด้วย โดยทำการทดลองในถังหมัก ซึ่งตัวถังเป็นพลาสติกขนาดของถังหมักปริมาตร 60 ลิตร บริเวณรอบๆ ถังหมักจะมีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จำนวน 77 รู พื้นที่ประมาณ 61 ตารางเซนติเมตร เป็นช่องระบายอากาศ ด้านในจะบุด้วยตาข่ายเพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุหมักหกออกมาภายนอก ด้านล่างของถังจะมีวาล์วเปิดปิด หากการหมักมีน้ำชะขยะเกิดขึ้น ภายในถังหมักจะมีแผ่นเหล็กกั้นระหว่างชั้นของวัสดุหมักและน้ำชะขยะ และตัวถังมีโครงเหล็กเป็นฐานยึดตัวถังหมักเพื่อเป็นขาตั้ง ดังรูปที่ 2.2

การเก็บตัวอย่าง ได้ทำการคลุกเคล้าตัวอย่างให้ผสมกันอย่างทั่วถึง และช่วงเริ่มต้นในถังหมักที่มีการหมักร่วมกับผักตบชวา ก่อนที่จะนำตัวอย่างมาหมักใช้เครื่องปั่นเพื่อปั่นตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลงก่อน จากนั้นนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ อย่างละ 3 ซ้ำ และความถี่ในการกลับกองคือ 4 วันต่อครั้ง โดยการนำวัสดุหมักเทออกมากลับกองภายนอกถังหมัก เพื่อให้วัสดุหมักนั้นได้สัมผัสกับอากาศอย่างทั่วถึง จากนั้นจึงนำกลับเข้าไปในถังหมักตามเดิม

2.1.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง และวัสดุหมักร่วม

วัสดุหมักที่จะนำมาหมักปุ๋ยนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น เพื่อจะกำหนดสัดส่วนในการผสมวัสดุหมัก พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งคือ ธาตุคาร์บอน, ไนโตรเจน และ ไฮโดรเจน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS-O Analyzer ซึ่งส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ (Walkley & Black method), ไนโตรเจน (Kjeldahl method), ความชื้น, ขนาด, ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ส่วนวัสดุหมักร่วมอื่นๆ คือ ผักตบชวา, ตะกอนน้ำเสียชุมชน, ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล, มูลวัว และเปลือกผลไม้ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์คือ ความชื้น, ค่า

ความเป็นกรด-ด่าง, อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ (Walkley & Black method), ไนโตรเจน (Kjeldahl method) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน



รูปที่ 2.1 ถังหมักแบบใช้อากาศที่ใช้ในการทดลอง (แบบจำลอง)

รูปที่ 2.2 ถังหมักแบบใช้อากาศที่ใช้ในการทดลอง (รูปจริง)

2.1.3 ชุดการทดลอง

การทดลองนี้จะนำของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาใช้ประโยชน์โดยการหมักปุ๋ย ซึ่งจะทำการหมักโดยใช้ตัวของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งเพียงอย่างเดียว และหมักร่วมกับวัสดุอื่น ซึ่งจะเป็นการหมักแบบใช้อากาศ แบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง คือ

1) ชุดการทดลองที่ 1

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง ร่วมกับผักตบชวา และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

โดยการทดลองจะใช้ถังหมัก 3 ถัง โดยวัสดุหมักที่ใช้คือ ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง ผักตบชวา และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้อัตราส่วน 2:1:1 ซึ่งถังหมักที่ 1, 2 และ 3 จะใช้ระยะเวลาในการหมัก 30, 45 และ 60 วันตามลำดับ

2) ชุดการทดลองที่ 2

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการย่อยสลายของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง โดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารเร่ง พด.1 และไม่เติมสารเร่ง พด.1

โดยการทดลองจะใช้ถังหมัก 2 ถัง ซึ่งแต่ละถังจะใช้ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง 20 กิโลกรัม โดยน้ำหนัก ถังหมักที่ 1 ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 ซึ่งการย่อยสลายจะเป็นไปตามธรรมชาติ ส่วนถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 ลงไป ซึ่งสารเร่ง พด.1 จะมีจุลินทรีย์คัดเฉพาะที่ช่วยในการย่อยสลาย โดยระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 วัน

สารเร่ง พด.1 จำนวน 1 ซอง มีปริมาณ 150 กรัม ใช้กับวัสดุหมัก 20 ตัน ผสมน้ำ 20 ลิตร ซึ่งในการทดลองใช้วัสดุหมัก 20 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียก ดังนั้นจึงใช้สารเร่ง พด.1 ปริมาณ 0.15 กรัม และนำไปผสมน้ำปริมาตร 0.02 ลิตร แล้วนำไปผสมกับวัสดุหมัก

3) ชุดการทดลองที่ 3

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งร่วมกับวัสดุหมักร่วม โดยเปรียบเทียบระหว่างการไม่เติมสารเร่ง พด.1 และเติมสารเร่ง พด.1

โดยการทดลองจะใช้ถังหมัก 2 ถัง โดยวัสดุหมักที่ใช้คือ ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง ผักตบชวา และตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล โดยใช้อัตราส่วน 1:1:2 ซึ่งถังหมักที่ 1 ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 ลงไปในถังหมัก โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน ปริมาณการเติมสารเร่ง พด.1 เช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 2

4) ชุดการทดลองที่ 4

วัตถุประสงค์ เพื่อหาวัสดุหมักร่วมที่เหมาะสมสำหรับการหมักร่วมกับของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง

โดยการทดลองจะใช้ถังหมัก 6 ถัง โดยวัสดุที่ใช้ในการหมักร่วมกับของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง ดังตารางที่ 2.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 60

ตารางที่ 2.1 วัสดุหมักร่วมและอัตราส่วนที่ใช้หมักร่วมกับของของเสียโรงงานผลิตยางแท่งในชุดการทดลองที่ 4

ถังหมักที่	วัสดุหมัก	อัตราส่วน (ตามลำดับ)
1	ของเสียโรงงานยางแท่ง + เปลือกผลไม้	1:1
2	ของเสียโรงงานยางแท่ง + ตะกอนน้ำเสียชุมชน	1:1
3	ของเสียโรงงานยางแท่ง + มูลวัว	1:1
4	ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + มูลวัว	0.5:1:1
5	ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + ตะกอนน้ำเสียชุมชน	2:1:1
6	ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล	1:1:2

2.1.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์การหมักปุ๋ยจะแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงแรกจะเป็นการวิเคราะห์วัสดุหมักผสมเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง ช่วงที่ 2 คือ การวิเคราะห์ขณะทำการหมัก และช่วงที่ 3 วิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 3 ช่วงของการหมักได้ดังนี้

ช่วงที่ 1 การวิเคราะห์วัสดุหมักผสมเริ่มต้น		
พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**	**เอกสารอ้างอิง**
1. ความชื้น	Gravimetric Method	เทคนิคการวิเคราะห์น้ำเสียและขยะมูลฝอย (อุดมผล, 2546)
2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
3. อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ (OC และ OM)	Walkley & Black Method	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 3 ช่วงของการหมักได้ดังนี้ (ต่อ)

ช่วงที่ 1 การวิเคราะห์วัสดุหมักผสมเริ่มต้น		
พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**	**เอกสารอ้างอิง**
4. ไนโตรเจน (TKN)	Kjeldahl Method	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
5. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	การคำนวณ	-
6. การนำไฟฟ้า	Electrical Conductivity	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
7. ธาตุอาหาร		
- แคลเซียม (Ca)		AOAC, 1998
- แมกนีเซียม (Mg)	AAS	ส่งวิเคราะห์ที่ Central Lab
- โปแทสเซียม (K_2O)		คณะทรัพยากรธรรมชาติ
- ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5)	Spectrophotometric Method	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
8. เชื้อโรค		
- Fecal Coliforms	Most probable number Method	U.S. FDA/BAM, 2001
- *E. coli*		
- *Salmonella* sp.		

ช่วงที่ 2 วิเคราะห์ขณะทำการหมัก		
พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**	**เอกสารอ้างอิง**
1. ความชื้น	Gravimetric Method	เทคนิคการวิเคราะห์น้ำเสียและขยะมูลฝอย (อุดมผล, 2546)
2. อุณหภูมิ	Thermometer	ประโสด (2540)
3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
4. อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ (OC และ OM)	Walkley & Black Method	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
5. ไนโตรเจน	Kjeldahl Method	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
6. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	การคำนวณ	-

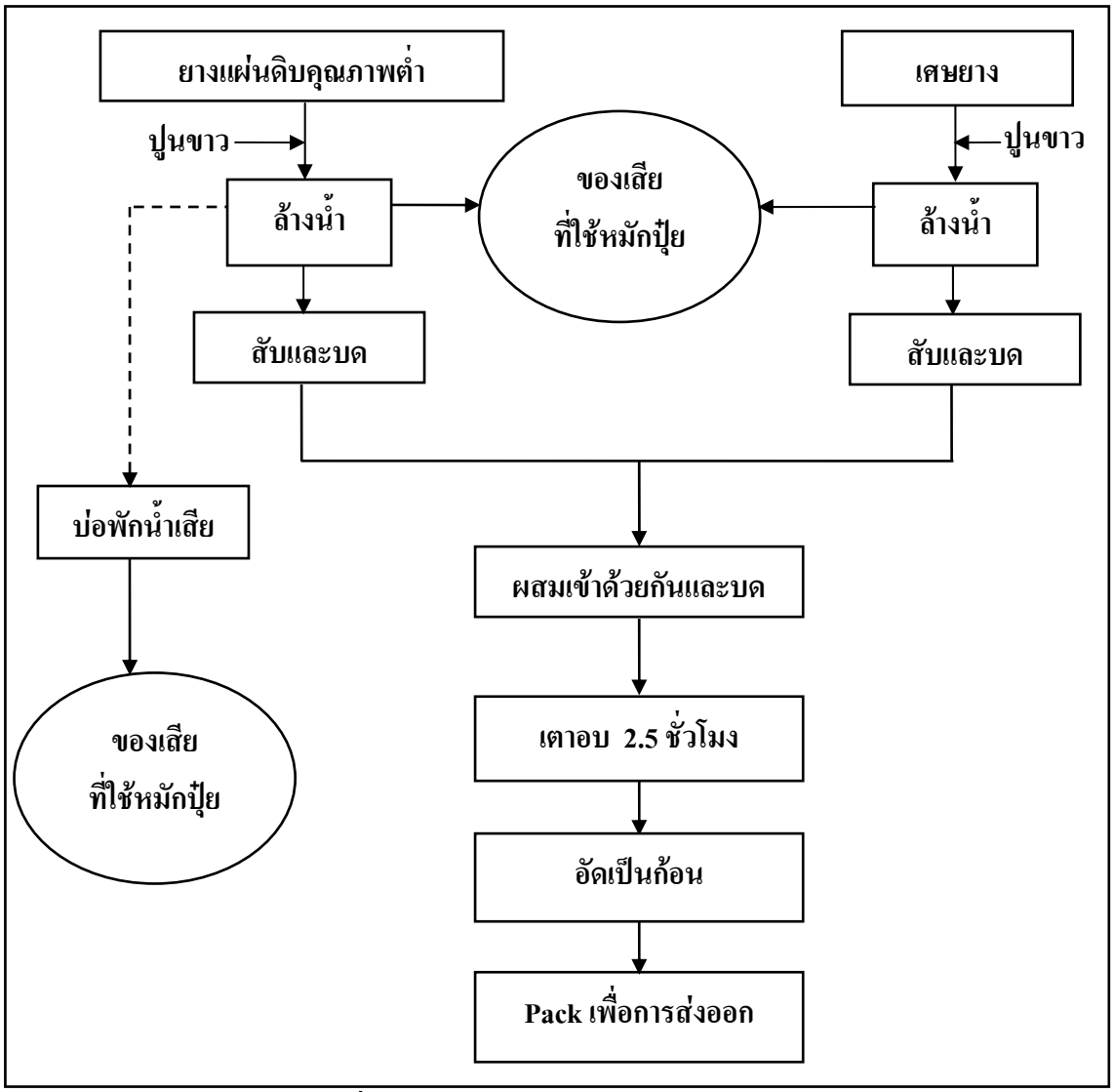
ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 3 ช่วงของการหมักได้ดังนี้ (ต่อ)

ช่วงที่ 2 วิเคราะห์ขณะทำการหมัก		
พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**	**เอกสารอ้างอิง**
7. การนำไฟฟ้า	Electrical Conductivity	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
ช่วงที่ 3 วิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก		
พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**	**เอกสารอ้างอิง**
1. ความชื้น	Gravimetric Method	เทคนิคการวิเคราะห์น้ำเสียและขยะมูลฝอย (อุดมผล, 2546)
2. อุณหภูมิ	Thermometer	ประโสด (2540)
3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
4. อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ (OC และ OM)	Walkley & Black Method	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
5. ไนโตรเจน	Kjeldahl Method	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
6. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	การคำนวณ	-
7. การนำไฟฟ้า	Electrical Conductivity	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
8. ธาตุอาหาร		
- แคลเซียม (Ca)		AOAC, 1998
- แมกนีเซียม (Mg)	AAS	ส่งวิเคราะห์ที่ Central Lab
- โปแทสเซียม (K_2O)		คณะทรัพยากรธรรมชาติ
- ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5)	Spectrophotometric Method	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
9. เชื้อโรค		
- Fecal Coliforms	Most probable number Method	U.S. FDA/BAM, 2001
- *E. coli*		
- *Salmonella* sp.		

2.1.5 วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง

1) ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง

ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งแห่งหนึ่งในจังหวัดพัทลุง โดยผลิตภัณฑ์ที่ทางโรงงานได้ผลิตนั้นจะเป็นส่วนของยางแท่ง STR20 (Standard Thai Rubber 20) และ STR10 เพื่อการส่งออกในการเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางรถยนต์ แต่โดยส่วนใหญ่จะผลิต STR20 เป็นหลัก โดยที่โรงงานจะรับวัตถุดิบประมาณ 200 ตันต่อวัน และส่วนที่เป็นของเสียที่เกิดจากขั้นตอนการล้างและบ่อพักประมาณ 5-10 ตันต่อวัน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตยางแท่ง STR20

(1) ขั้นตอนการผลิตยางแท่ง

1.1) เมื่อรับซื้อยางแผ่นดิบ และเศษยางแล้ว จะเติมปูนขาวลงไปเพื่อให้ยางร่วน จากนั้นนำเข้าพักในบ่อแช่เพื่อทำความสะอาดและลดสิ่งสกปรกที่ติดมากับยางลง (ของเสียที่เกิดขึ้นจากการล้าง และอีกส่วนหนึ่งจะมาจากการตกตะกอนของของเสียที่บ่อพักน้ำเสียจะนำมาใช้ในการหมัก)

1.2) จากนั้นจะเข้าสู่ระบบสายพาน เพื่อบดและสับวัตถุดิบดังกล่าวให้เล็กลงไปเรื่อยๆ โดยสัดส่วนของการผลิต STR 20 จะใช้เศษยางและยางแผ่น ในอัตรา 70:30

1.3) เมื่อผ่านเครื่องจักรที่สับบดจนละเอียดแล้ว จะถูกส่งเข้าสู่เตาอบ ซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นพลังงานให้ความร้อน ที่ประมาณ 120˚C ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที เพื่อทำให้ยางแห้ง

1.4) เมื่อยางออกจากเตาอบ จะถูกนำมาอัดให้เป็นก้อนหนัก 33.33-35 กิโลกรัม ห่อด้วยพลาสติกเพื่อเตรียมจัดจำหน่ายต่อไป โดยจะมีการสุ่มตัวอย่างเพื่อจะนำไปออก CERTIFICATE ควบคู่กับสินค้าด้วย

2) ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

ตะกอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลตำบลกะรน จังหวัดภูเก็ต (http://www.reo15.net/phuket.aspx) ระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบลานกรองจุลินทรีย์ร่วมกับระบบตะกอนเร่ง (Biofilter-Activated Sludge Process) จากผลการตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพระบบรวบรวม และระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลตำบลกะรน ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเปรียบเทียบปริมาณก่อนเข้าระบบและหลังจากการบำบัดพบว่าสามารถลดค่า BOD และค่า Suspended Solids ได้มากกว่าร้อยละ 90 และกำจัดแบคทีเรียเกือบได้ประมาณร้อยละ 100 หากเปรียบเทียบกับค่าการออกแบบพบว่าค่า BOD และค่า Suspended Solids ที่เข้าสู่ระบบมีค่าเกินจากค่าการออกแบบคือร้อยละ 256.10 และ 33.75 ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่เกิดปัญหาต่อระบบแต่อย่างใด เนื่องจากน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดมีค่า BOD และค่า Suspended Solids เฉลี่ยหรือเพียง 4.3 และ 7.7 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ตะกอนน้ำเสียชุมชนที่นำมาใช้มีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 70-80 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 2.3-4 โดยที่ค่าอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 4.5-6.0 ส่วนค่าไนโตรเจนประมาณร้อยละ 1.5-2.0 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าประมาณ 6.5-7.2

3) ผักตบชวา

ผักตบชวาที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มาจากบึงศรีตรัง ซึ่งอยู่ภายในบริเวณคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งในปัจจุบันไม่ได้มีการกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์ ผักตบชวาจึงมีปริมาณมากทำให้น้ำในบึงเกิดการเน่าเสีย เนื่องจากขาดออกซิเจน เมื่อพิจารณาถึงความเสียหายที่เกิดจากผักตบชวา หากต้องการกำจัดจะต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก ดังนั้นวิธีการกำจัดผักตบชวาโดยการนำผักตบชวาเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ด้วยการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการแปรสภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เป็นทรัพยากรที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในรูปปุ๋ยอินทรีย์ ผักตบชวาที่นำมาใช้มีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 92 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 18 โดยที่ค่าอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 46 ส่วนค่าไนโตรเจนประมาณร้อยละ 2.6 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าประมาณ 5.6

4) มูลวัว

มูลวัวที่ใช้นำมาจากฟาร์มของชาวบ้านอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าประมาณ 19 โดยที่อินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 27 และไนโตรเจนประมาณร้อยละ 1.4 และมีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 34

5) เปลือกผลไม้

เปลือกผลไม้ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้นำมาจากร้านขายผลไม้บริเวณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เปลือกผลไม้มีปริมาณความชื้นสูงคือประมาณร้อยละ 85-90 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 25-60 โดยที่ค่าอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 20-25 ส่วนค่าไนโตรเจนประมาณร้อยละ 0.4-0.8 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกรดถึงกลาง

6) ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล

ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลที่ใช้ในการทดลองนี้มาจากขั้นตอนสุดท้ายคือผ่านการรีดน้ำแล้ว ซึ่งนำมาจากโรงงานผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารทะเลและปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 65 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 5-7 โดยที่ค่าอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 2-5 ส่วนค่าไนโตรเจนประมาณร้อยละ 0.3-0.9 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกลาง

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 คุณสมบัติของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง

จากการศึกษาของเสียที่เป็นของแข็งจากโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 (Standard Thai Rubber 20) แห่งหนึ่งในจังหวัดพัทลุงพบว่าประกอบด้วย เศษไม้, เศษยาง, ดิน, หิน, ใบไม้ และเปลือกไม้ เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้ติดมากับวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณของเสียประมาณ 5-10 ตันต่อวัน โดยวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิตประมาณ 200 ตันต่อวัน ซึ่งทางโรงงานไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ แต่จะนำไปกองไว้บริเวณรอบๆโรงงาน (รูปที่ 3.1)

รูปที่ 3.1 ของเสียจากโรงงานงานผลิตยางแท่ง (STR20)

3.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง

(1) ความชื้น (Moisture)

จากผลการทดลองพบว่า ความชื้นของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 24-58 และมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 40 ซึ่งโดยทั่วไปค่าความชื้นที่เหมาะสมในของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการหมักปุ๋ยควรมีค่าประมาณร้อยละ 50-70 (Rabbani และคณะ, 1983; Snell, 1957) และปริมาณความชื้นจะกลายเป็นปัจจัยจำกัดในการหมักปุ๋ย เมื่อความชื้นลดต่ำลงประมาณร้อยละ 45 หรือ 50 (Rabbani และคณะ, 1983) กระบวนการในการหมักปุ๋ยของวัสดุจะเข้าสู่สภาวะสิ้นสุดการหมัก และพบว่ากระบวนการหมักปุ๋ยจะไม่เกิดการหมักต่อไปเมื่อความชื้นมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 11.2 (Gray และคณะ, 1971[a]) แต่อย่างไรก็ตามหากต้องการเพิ่มความชื้นให้แก่ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง เพียงแต่เติมน้ำลงไปหรือใช้วัสดุหมักร่วมที่มีความชื้นสูง เช่น ตะกอนน้ำเสีย และผักตบชวา เป็นต้น

(2) ขนาด (Particle Size)

ผลการวิเคราะห์ขนาดของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง โดยวิธีการ Sieve analysis (สราวุธ, 2548) พบว่าตัวอย่างมีขนาดค่อนข้างเล็ก ซึ่งส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 80 ของตัวอย่างจะมีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 0.3-5 มิลลิเมตร ซึ่งจากงานวิจัยของ Lobe และ Novak (1964) แสดงให้เห็นว่า ขนาดของวัสดุที่ใช้ในการหมักปุ๋ยมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ย ซึ่งถ้าวัสดุที่ใช้หมักมีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นได้ง่าย แต่ในขณะเดียวกันหากวัสดุที่ใช้หมักมีขนาดใหญ่เกินไป จะไม่เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจน-คาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างบรรยากาศและอากาศในถังหมัก และส่งผลให้กระบวนการทางชีววิทยาเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร

ดังนั้นขนาดของวัสดุที่เหมาะสมในการหมักปุ๋ยควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1.3-5.0 เซนติเมตร (Gray และคณะ, 1971[b]) และหลังจากกระบวนการหมักปุ๋ยสิ้นสุดแล้ว วัสดุอินทรีย์ทั้งหมดจะย่อยสลายและลดขนาดลง ซึ่งขนาดที่เหมาะสำหรับมาใช้ทำเป็นปุ๋ยนั้น ควรนำมาร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดเล็กกว่า 2.5 เซนติเมตร (Rabbani และคณะ, 1983)

3.1.2 ลักษณะทางเคมีของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง

(1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมีค่าอยู่ในช่วง 6.1-7.0 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.7 ซึ่งมีค่าเป็นกรดเล็กน้อย และใกล้เป็นกลาง ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างมีผลต่อการหมักปุ๋ย เนื่องจากขณะหมักปุ๋ยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5.5-9.0 (Peter และ Brain, 2001) ซึ่งหากตัวอย่างมีค่าไม่ใกล้เคียงค่าที่

เหมาะสม อาจมีความเป็นกรดหรือเป็นด่างสูง ซึ่งจะไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งถ้าหากจุลินทรีย์ตายก็จะไม่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นปุ๋ย

(2) คาร์บอน, ไนโตรเจน และไฮโดรเจน (วิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS-O Analyzer)

จากผลการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ด้วยเครื่อง CHNS-O Analyzer พบว่า ตัวอย่างของเสียที่ได้จากโรงงานผลิตยางแท่งที่เป็นตัวอย่างรวม และตัวอย่างที่มีการแยกขนาดของของเสีย โดยผ่านเลือกของเสียที่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 4 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 มิลลิเมตร) และเบอร์ 8 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.36 มิลลิเมตร) แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบของของเสียโรงงานผลิตยางแท่งทั้งคาร์บอน, ไนโตรเจน และไฮโดรเจนที่นำมาวิเคราะห์ ทั้งแบบตัวอย่างรวม และแยกขนาดของของเสียโดยวิธีการ Sieve analysis นั้นไม่มีผลต่อองค์ประกอบของของเสีย เนื่องจากผลการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งมีองค์ประกอบโดยรวมของคาร์บอนประมาณร้อยละ 27-39 โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ไนโตรเจนมีประมาณร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 3.1 ธาตุคาร์บอน, ไนโตรเจน และไฮโดรเจนของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS-O Analyzer

ชื่อตัวอย่าง	ธาตุ (ร้อยละ)		
	คาร์บอน (C)	ไนโตรเจน (N)	ไฮโดรเจน (H)
ตัวอย่างรวม	34.50	0.04	3.90
# 4	27.30	< LOQ*	3.18
# 8	38.92	0.09	4.62

หมายเหตุ: * LOQ (Limit of Quantification) = 0.01%

(3) อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) วิธี Walkley and Black Method และไนโตรเจน (Nitrogen) วิธี Digested Method

จากการวิเคราะห์ค่าอินทรีย์คาร์บอนของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการหมักปุ๋ย อินทรีย์คาร์บอนเป็นสารอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต จากการทดลองพบว่าค่าอินทรีย์คาร์บอนมีค่าประมาณร้อยละ 26-35 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนไนโตรเจนซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกพารามิเตอร์หนึ่ง มีค่าประมาณร้อยละ 0.04-0.10 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งถือว่ามีปริมาณค่อนข้างน้อย

(4) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ค่อนข้างสูงมาก อยู่ที่ค่าประมาณ 273:1 ถึง 350:1 ซึ่งพบว่าปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการหมักปุ๋ยอีกปัจจัยหนึ่งนอกจากความชื้นของวัสดุแล้ว ยังมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนด้วย ซึ่งปกติถ้าวัสดุที่นำมาใช้หมักมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 25-50 จะไม่จำเป็นต้องนำวัสดุอื่นมาผสมอีก เพื่อร่วมกันเป็นวัสดุที่จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยดีขึ้น (Rabbani และคณะ, 1983) แต่โดยทั่วไปอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุดคือ 30-40:1 ซึ่งวัสดุที่จะนำมาใช้หมักปุ๋ยโดยทั่วไปควรมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการหมักปุ๋ยคือ ความชื้นมีค่าร้อยละ 24-58 ซึ่งถือว่ามีค่าค่อนข้างน้อยสำหรับการหมักปุ๋ย ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกลาง ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ อินทรีย์คาร์บอนมีค่าร้อยละ 26-35 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนปริมาณไนโตรเจนมีค่าน้อยมากคือ ร้อยละ 0.04-0.10 โดยน้ำหนักแห้ง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนพบว่ามีค่าสูงมาก คือ 260-350 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับจะใช้ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งในการหมักเพียงอย่างเดียว มีค่าดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง (STR20)

ลักษณะสมบัติ	ผลการทดลอง
ความชื้น (ร้อยละ)	24-58
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.0-7.8
อินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	26-35
ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	0.04-0.10
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)	260-350

จากผลการศึกษาพบว่าของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก โดยในตัวอย่างมีองค์ประกอบของไนโตรเจนต่ำ อีกทั้งตัวอย่างมีลักษณะและคุณสมบัติเหมือนกับขี้เลื่อย (Golueke, 1977) ดังนั้นหากต้องการนำของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งนี้มาหมักปุ๋ย จำเป็นต้องหาวัสดุที่จะมาหมักร่วม โดยเลือกวัสดุหมักร่วมที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ และจะต้องมีปริมาณไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่ค่อนข้างสูงอีกด้วย จากการศึกษารายงานวิจัยอื่นๆพบว่า ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย พืชผักสีเขียว และมูลสัตว์จะมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ

3.2 ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 (ศึกษาระยะเวลาการหมักที่เหมาะสม)

ชุดการทดลองที่ 1 ทำการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งซึ่งมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูง ร่วมกับของเสียที่เป็นแหล่งไนโตรเจนคือ ผักตบชวาและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน อัตราส่วน 2:1:1 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.3) ผักตบชวาก่อนจะทำการหมักจะต้องตัดให้มีความยาวประมาณ 3-5 เซนติเมตร (Naylor, 1996) เนื่องจากขนาดของวัสดุหมักมีผลต่อการแพร่ของออกซิเจน โดยใช้ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง 10 กิโลกรัม ส่วนผักตบชวาและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนอย่างละ 5 กิโลกรัม น้ำหนักเปียกของของเสียทั้งหมดที่ใช้ในการหมักคือ 20 กิโลกรัม ทำการหมักแบบใช้อากาศภายในถังหมักขนาด 60 ลิตร ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 60 วัน โดยจะเก็บผลเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์สิ้นสุดกระบวนการหมัก ในวันที่ 30, 45 และ 60 วัน ซึ่งจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ 3 วันต่อครั้ง ส่วนอุณหภูมิจะทำการวัดทุกวัน

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของวัสดุหมัก ชุดการทดลองที่ 1

ถังหมักที่	% องค์ประกอบของวัสดุหมัก	ระยะเวลา (วัน)
1	50% ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง + 25% ตะกอนน้ำเสียชุมชน + 25% ผักตบชวา	30
2	50% ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง + 25% ตะกอนน้ำเสียชุมชน + 25% ผักตบชวา	45
3	50% ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง + 25% ตะกอนน้ำเสียชุมชน + 25% ผักตบชวา	60

3.2.1 ลักษณะของวัสดุหมัก ชุดการทดลองที่ 1

การหมักปุ๋ยในการทดลองนี้เป็นการนำของเสีย 3 ชนิดมาหมักร่วมกันคือ ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และผักตบชวา โดยที่ของเสียที่นำมาใช้มีลักษณะทางกายภาพและเคมีดังตารางที่ 3.4 ซึ่งได้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง อินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พารามิเตอร์ดังกล่าว เป็นพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการหมักปุ๋ย

ตารางที่ 3.4 ลักษณะของวัสดุหมักเริ่มต้นในการทดลองชุดที่ 1

วัสดุหมัก	ความชื้น (%)	pH	อินทรีย์คาร์บอน (% น้ำหนักแห้ง)	ไนโตรเจน (% น้ำหนักแห้ง)	C/N Ratio
ของเสียโรงงานยาง	43.7	7.8	26-35	0.05-0.10	260
ตะกอนน้ำเสียชุมชน	77.0	7.0	4.5-6.0	1.5-2.0	2.3-4.0
ผักตบชวา	91.1	5.8	46.3	2.6	17.8

3.2.2 คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น ชุดการทดลองที่ 1

คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมคือ ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง, ตะกอนน้ำเสียชุมชน และผักตบชวาในการทดลองหมักปุ๋ยครั้งนี้จะแสดงในตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ที่สำคัญคืออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน จากรายงานการวิจัยหลายๆ งานวิจัยพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ยอยู่ที่ประมาณ 25-35:1 (Brunt, 1961; Carlyle และ Norman, 1941; Haug, 1980; Sanderson และ Martin, 1974) ซึ่งวัสดุหมักผสมในถังหมักที่ 1, 2 และ 3 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนคือ 30.70, 34.99 และ 36.75 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้ในถังหมักที่ 1 และ 2 นั้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ส่วนในถังหมักที่ 3 มีค่าสูงกว่าเกณฑ์เล็กน้อย

ส่วนค่าความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองหมัก ซึ่งมีความจำเป็นต่อการดูดซึมอาหารและกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ หากปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีปริมาณมากกว่าน้ำที่สูญเสียไปจากกองหมักเนื่องจากการระบายอากาศและการระเหยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะมีผลให้การระบายอากาศถูกขัดขวางและทำให้เกิดสภาพไร้อากาศขึ้น (Gray และคณะ, 1971[b]) ซึ่งค่าที่เหมาะสมของความชื้นอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 55-65 ซึ่งค่าความชื้นของวัสดุหมักในถังหมักที่ 1, 2 และ 3 มีค่าร้อยละ 66.3, 64.7 และ 65.9 ตามลำดับ ซึ่งค่าใกล้เคียงค่าที่เหมาะสม

ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองพบว่าในวัสดุหมักเริ่มต้นนั้นมีปริมาณธาตุอาหารอยู่เดิม แต่ยังมีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ธาตุอาหารหลักที่ได้ทำการวิเคราะห์คือ ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 และโปแทสเซียมในรูป K_2O ซึ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ส่วนธาตุอาหารรอง ถึงแม้ว่าพืชจะต้องการในปริมาณน้อย แต่ก็ขาดไม่ได้ ธาตุอาหารรองที่ทำการวิเคราะห์คือ แคลเซียมและแมกนีเซียม ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของทั้ง 3 ถังหมัก มีค่าเป็นกลาง

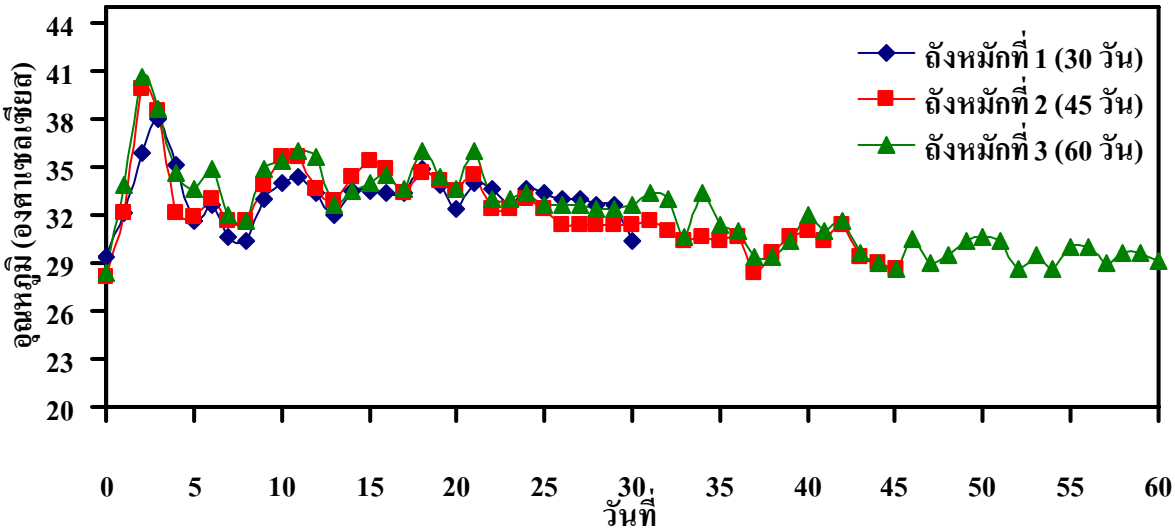
ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้นสำหรับการทำปุ๋ยหมักในชุดการทดลองที่ 1

ลักษณะสมบัติ	วัสดุหมักเริ่มต้น		
	ถังหมักที่ 1 (30 วัน)	ถังหมักที่ 2 (45 วัน)	ถังหมักที่ 3 (60 วัน)
- ความชื้น (ร้อยละ)	66.3	64.7	65.9
- ค่าความเป็นกรดด่าง	7.3	7.2	7.2
- อินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	24.56	25.54	27.6
- อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	42.34	44.03	47.51
- ไนโตรเจน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	0.80	0.73	0.75
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	30.70	34.99	36.75
- ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	0.38	0.35	0.30
- ธาตุอาหาร (ร้อยละ)			
แคลเซียม (Ca)	2.5	2.5	2.5
แมกนีเซียม (Mg)	0.2	0.2	0.2
โปแทสเซียม (K_2O)	0.2	0.2	0.2
ฟอสฟอรัส (P_2O_5)	0.3	0.3	0.3

3.2.3 ปัจจัยในการควบคุมระบบ ชุดการทดลองที่ 1

(1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการประเมินคุณภาพและควบคุมการผลิตปุ๋ยหมัก (Liao, P.H. และคณะ, 1995) จากรูปที่ 3.2 พบว่าในช่วงระยะแรกของการหมัก อุณหภูมิในถังหมักจะเปลี่ยนแปลงโดยเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากประมาณ 29°C ถึงประมาณ 38°C ในถังหมักที่ 1, จากประมาณ 28 °C ถึงประมาณ 40 °C ในถังหมักที่ 2 และประมาณ 28°C ถึงประมาณ 41°C ในถังหมักที่ 3 เนื่องจากการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในวัสดุหมัก แต่ค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้ยังไม่เข้าสู่ช่วงเทอร์โมฟิลิค ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 45-75°C เนื่องจากความชื้นในถังหมักมากเกินไป ทำให้อุณหภูมิสูงที่สุดเกิดขึ้นได้เพียง 41°C ในถังหมักที่ 3 และขนาดของถังหมักมีผลต่ออุณหภูมิ จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงจนถึงวันที่ 30 จะเหลือประมาณ 30°C ในถังหมักที่ 1, ในวันที่ 45 ลดลงเหลือประมาณ 29°C ในถังหมักที่ 2 และ ในวันที่ 60 ลดลงเหลือประมาณ 29°C ในถังหมักที่ 3 เมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่

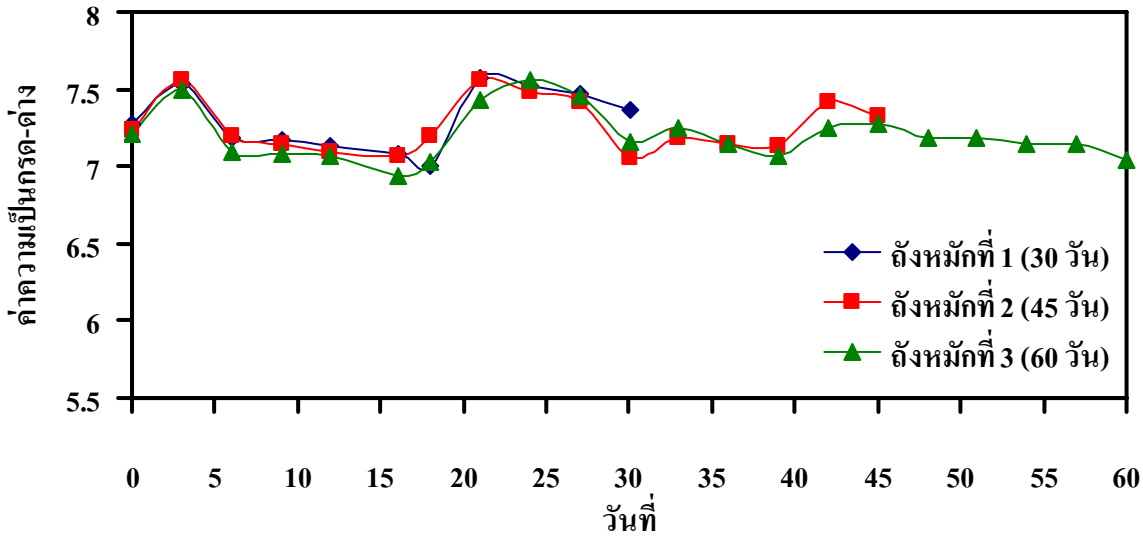


รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1

(2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อกระบวนการหมัก ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียมีค่าอยู่ที่ประมาณ 6.0-7.5 ในขณะที่ราจะเจริญเติบโตในค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 5.5-8.0 จากรูปที่ 3.3 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างในกระบวนการหมักของชุดการทดลองที่ 1 โดยปกติแล้วการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศค่าความเป็นกรด-ด่างจะมีค่าค่อนข้างเป็นกลาง และจะไม่ค่อยพบค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงหรือต่ำเกินไป (Polprasert, 1996)

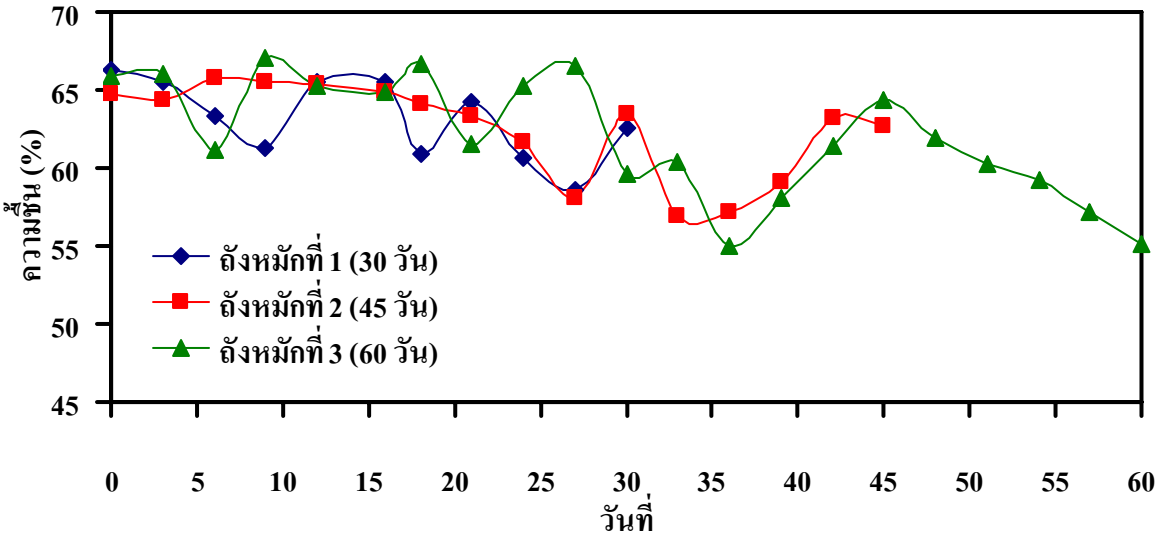
ค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุหมักร่วมเริ่มต้นมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกๆ ซึ่งระหว่างนั้นจะมีการสร้างสารอินทรีย์ที่เป็นกรด (Hagerty และคณะ, 1973) จากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเป็นกลางอีกครั้งและความเป็นกรดนี้จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ และเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างจะคงที่



รูปที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1

(3) ความชื้น (Moisture)

ระหว่างการหมักพบว่า ความชื้นมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมความชื้นให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลาย ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ยควรมีค่าประมาณร้อยละ 55-65 ถ้าความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ถ้าความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 จะทำให้เกิดสภาพการหมักแบบไร้อากาศได้ จากรูปที่ 3.4 พบว่า ความชื้นในถังหมักทั้ง 3 ถัง ถูกควบคุมให้อยู่ระหว่างร้อยละ 55-67 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสม และความชื้นจะค่อยๆ มีค่าลดลง เนื่องจากเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์



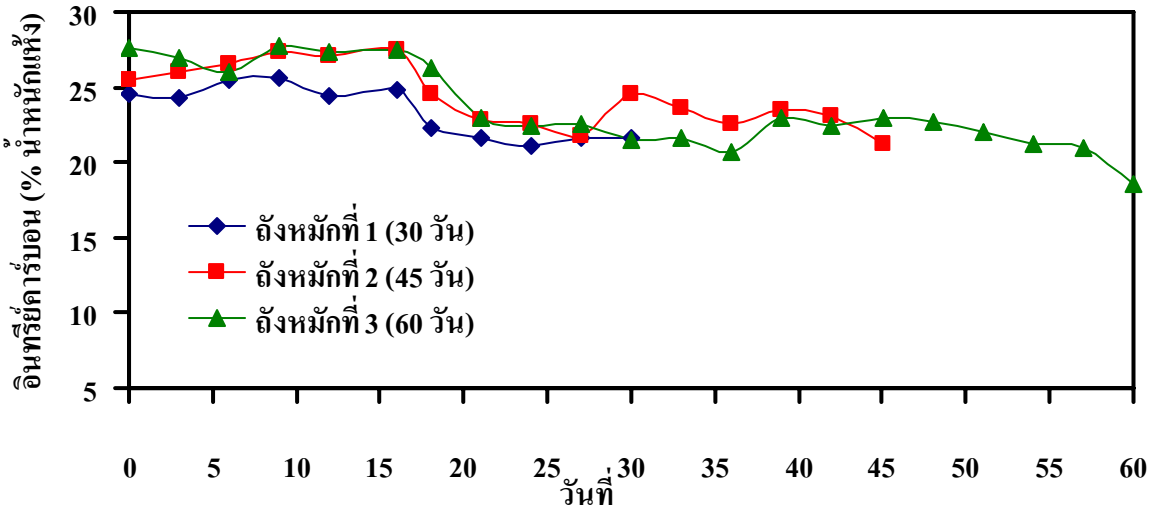
รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1

3.2.4 ลักษณะทางเคมี ชุดการทดลองที่ 1

(1) อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)

ระหว่างการหมัก อินทรีย์คาร์บอนจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีอิทธิพลมาจากอุณหภูมิ (Said-Pullicino และคณะ, 2007) คาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียจะย่อยสลายคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ จนกระทั่งได้โมเลกุลเล็ก แล้วจึงนำเข้าไปในเซลล์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ แล้วจึงปลดปล่อยพลังงานในรูปของความร้อนออกมาทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

อินทรีย์คาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงโดยเริ่มต้นมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 25, 26 และ 28 ในถังหมักที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (รูปที่ 3.5) จากนั้นในถังหมักที่ 1 (30 วัน) อินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 22, ถังหมักที่ 2 (45 วัน) ร้อยละ 21 และในถังหมักที่ 3 (60 วัน) ร้อยละ 19 โดยน้ำหนักแห้ง

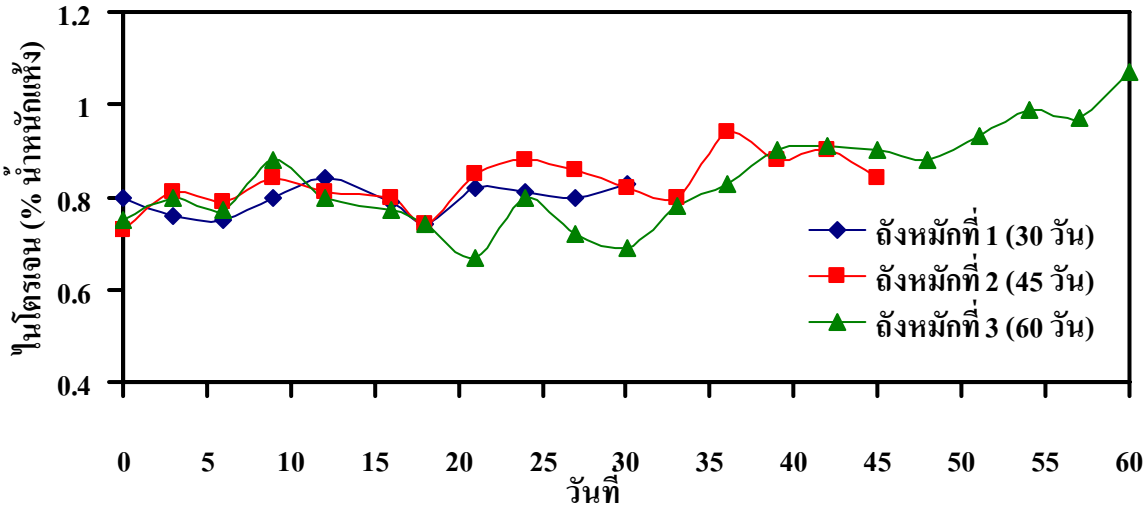


รูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1

(2) ไนโตรเจนทั้งหมด (Nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่แบคทีเรียใช้เพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ร่วมกับคาร์บอน ถ้าไนโตรเจนน้อยเกินไปจะทำให้การย่อยสลายช้าลง แต่ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดการระเหยของไนโตรเจนสู่บรรยากาศได้ (Kapetanios และคณะ, 1993)

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นว่าปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นในวัสดุหมักผสมในถังหมักที่ 1, 2 และ 3 ที่ได้ทำการทดลอง มีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นอยู่ที่ร้อยละ 0.8, 0.7 และ 0.8 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาหมักของทั้ง 3 ถังหมักพบว่า ในถังหมักที่ 1 มีไนโตรเจนร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนในถังหมักที่ 2 มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนักแห้งและในถังหมักที่ 3 มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 1.1 โดยน้ำหนักแห้ง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณไนโตรเจนในถังหมักที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้น กรมพัฒนาที่ดิน (2548) กำหนดปริมาณธาตุไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่ดี ควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 1.0 ซึ่งถังหมักที่ 3 ใช้ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนถังหมักที่ 1 และ 2 ไม่ผ่านเกณฑ์



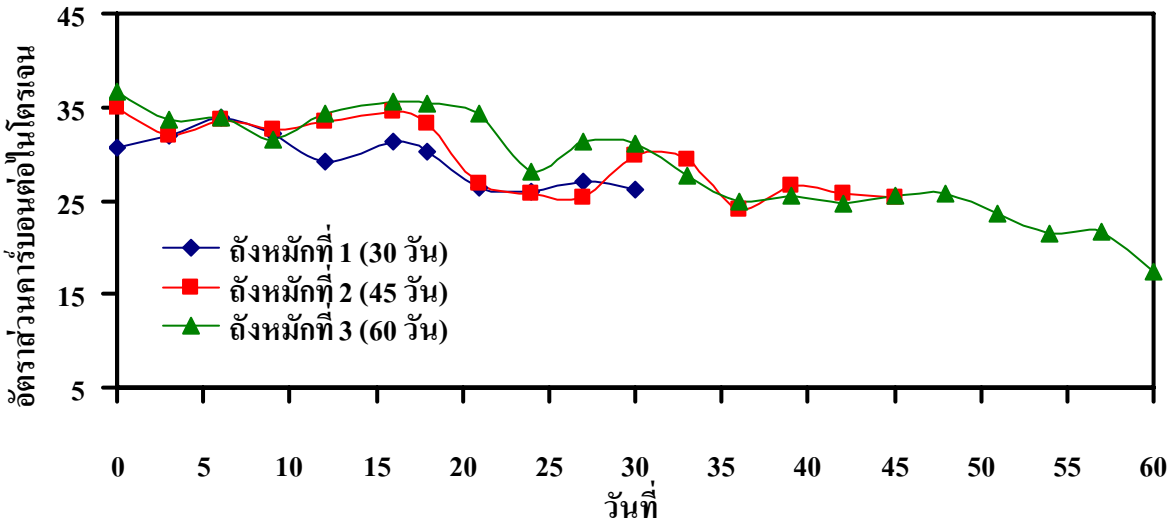
รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1

(3) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นดัชนีที่สำคัญสำหรับการทำปุ๋ยหมัก โดยจะนำไปใช้ในการพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมัก และช่วยควบคุมอัตราการย่อยสลายระหว่างการหมัก กรมพัฒนาที่ดิน (2548) กล่าวว่า ปกติแบคทีเรียจะดูดซับคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์เข้าไปในเซลล์ 10-15 หน่วย ต่อสารประกอบไนโตรเจน 1 หน่วย ขณะที่ Haug (1993) ได้กล่าวว่า จุลินทรีย์ต้องการอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15-30:1 เพื่อให้เกิดความสมดุลของสารประกอบในเซลล์ ดังนั้นจึงควรควบคุมให้สารประกอบทั้ง 2 ของวัตถุดิบมีค่าใกล้เคียงต่อความต้องการของแบคทีเรียเพื่อให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.7 พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของวัสดุหมักในถังที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 30.70, 34.99 และ 36.75 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าค่อนข้างเหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ย และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก พบว่า ในถังหมักที่ 1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 26.10 ส่วนในถังหมักที่ 2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 25.25 และในถังหมักที่ 3 มีค่า 17.37 ซึ่งจากมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน ได้แนะนำค่าอัตราส่วนคาร์บอนที่เหมาะสมไว้ว่า ปุ๋ยหมักที่ดีควรจะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20 ซึ่งจากการทดลองถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าสูงกว่า 20 คือ 26.10 และ 25.25 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการหมักปุ๋ยอาจเกิดจากการย่อยสลายที่ยังไม่สมบูรณ์ แต่ในถังหมักที่ 3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 17.37 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การลดลงของค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสามารถอธิบายได้ เนื่องจากจุลินทรีย์จะดึงเอาคาร์บอนที่เป็น

องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในวัสดุที่นำมาหมักมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้คาร์บอนส่วนหนึ่งจะสูญเสียในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง, ผักตบชวา และตะกอนน้ำเสียชุมชนควรใช้ระยะเวลาประมาณ 60 วัน



รูปที่ 3.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 1

3.2.5 ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ชุดการทดลองที่ 1

โดยทั่วไปแล้วเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาความเสถียรของกระบวนการหมักนั้นคือปุ๋ยหมักที่ได้ควรจะมีค่าสารอินทรีย์ในปริมาณที่ต่ำ คือจะต้องไม่เกิดการย่อยสลายอีกต่อไป เมื่อนำไปใช้และจะต้องไม่มีจุลินทรีย์ก่อโรค

Haug (1980) กล่าวว่า การวัดความเหมาะสมของปุ๋ยหมักเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักนั้นจะต้องพิจารณาพารามิเตอร์ ดังนี้คือ อุณหภูมิจะต้องลดลงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก, การลดลงของสารอินทรีย์ ซึ่งจะพิจารณาจากค่าอินทรีย์คาร์บอน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และจะต้องไม่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์

ลักษณะของปุ๋ยหมักที่ได้จะต้องมีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลดำ และมีลักษณะคล้ายดินเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน การย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนโดยจุลินทรีย์นั้น จุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและใช้ไนโตรเจนเพื่อเป็นสร้างเซลล์ใหม่ จากการทดลองเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในการหมักของเสียโรงงานผลิตยางแท่งร่วมกับผักตบชวาและตะกอนน้ำเสียชุมชนได้วิเคราะห์พารามิเตอร์และให้ค่าที่ได้ ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในชุดการทดลองที่ 1

ลักษณะสมบัติ	ปุ๋ยหมักวันที่		
	ถังหมักที่ 1 (30 วัน)	ถังหมักที่ 2 (45วัน)	ถังหมักที่ 3 (60วัน)
- ความชื้น (ร้อยละ)	62.6	62.7	55.2
- ค่าความเป็นกรดด่าง	7.4	7.3	7.0
- อินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	21.66	21.21	18.6
- อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	37.34	36.57	32.05
- ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	0.83	0.84	1.07
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	26.10	25.25	17.37
- ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	1.09	1.07	1.50
- ธาตุอาหาร (ร้อยละ)			
แคลเซียม (Ca)	3.0	2.4	2.0
แมกนีเซียม (Mg)	0.2	0.2	0.1
โปแทสเซียม (K_2O)	0.5	0.7	0.7
ฟอสฟอรัส (P_2O_5)	0.5	0.4	0.5
- เชื้อโรค (MPN/g)			
E. coli	-	-	ไม่พบ

หมายเหตุ: - คือ ไม่ได้วิเคราะห์

(1) ธาตุอาหาร (Nutrient)

กรมพัฒนาที่ดิน (2548) ได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมักไว้ว่า ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีไม่ควรมีธาตุอาหารหลักต่ำกว่า 1.0-0.5-0.5 (ร้อยละของ N-P_2O_5-K_2O) ซึ่งจากการทดลอง ได้วิเคราะห์ธาตุอาหารในถังหมักที่ 3 ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 60 วัน ซึ่งได้วิเคราะห์ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองดังนี้

1.1) ธาตุอาหารหลัก

- ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโปแทสเซียม (K_2O)

กรมพัฒนาที่ดิน (2548) ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานของฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ของปุ๋ยหมักที่เหมาะสมไว้อย่างน้อยร้อยละ 0.5 จากผลการทดลองวัสดุหมักเริ่มต้นมีค่าประมาณร้อยละ 0.3 ถังหมักที่ 1 ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน P_2O_5 มีค่าร้อยละ 0.5 ถังหมักที่ 2 ระยะเวลาใน

การหมัก 45 วัน P_2O_5 มีค่าร้อยละ 0.4 และถังหมักที่ 3 ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน P_2O_5 มีค่าร้อยละ 0.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถังหมักที่ 1 และ 3 ผ่านมาตรฐาน ส่วนถังหมักที่ 2 มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย แต่ถือได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ดังรูปที่ 3.8

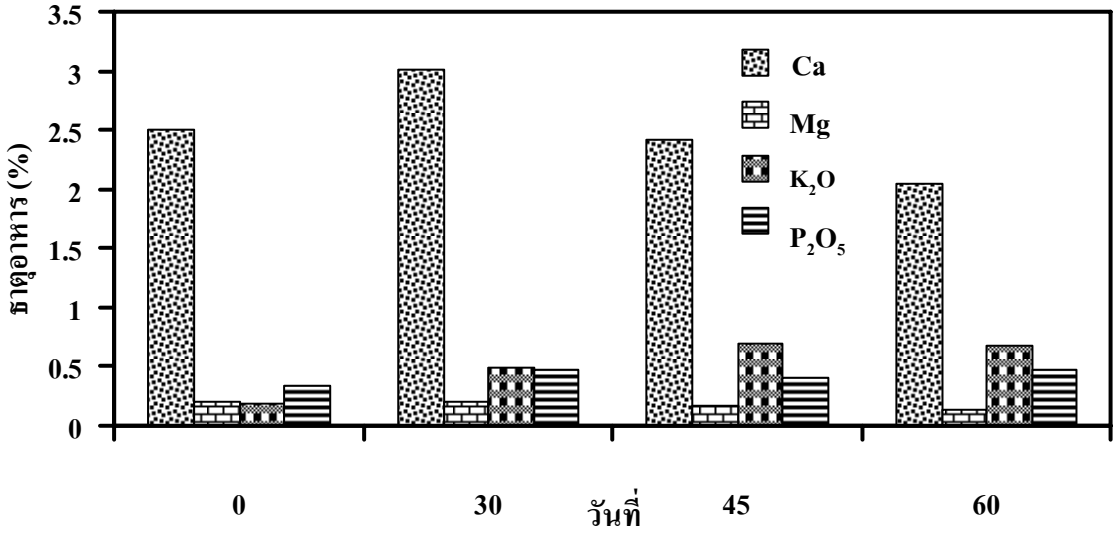
ส่วนมาตรฐานของโปแทสเซียมในรูป K_2O กรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดไว้ที่ร้อยละ 0.5 จากผลการทดลองวัสดุหมักเริ่มต้นมีค่าร้อยละ 0.2 ถังหมักที่ 1 ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน K_2O มีค่าร้อยละ 0.5 ถังหมักที่ 2 ระยะเวลาในการหมัก 45 วัน มีค่าร้อยละ 0.7 และถังหมักที่ 3 ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน มีค่าร้อยละ 0.7 ซึ่งมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังรูปที่ 3.8

1.2) ธาตุอาหารรอง

- แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg)

ธาตุอาหารรองที่ได้ทำการวิเคราะห์ได้แก่ แคลเซียมและแมกนีเซียม พบว่าปริมาณแคลเซียมในวัสดุหมักเริ่มต้นมีค่าประมาณร้อยละ 2.5 โดยถังหมักที่ 1 ใช้ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน จะมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มจากเริ่มต้นเล็กน้อยเป็นร้อยละ 3.0 ถังหมักที่ 2 ใช้ระยะเวลา 45 วัน มีค่าร้อยละ 2.4 และถังหมักที่ 3 ใช้ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน มีค่าร้อยละ 2.0 ซึ่งค่าที่ได้ลดลง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3.8

แมกนีเซียมในวัสดุหมักเริ่มต้นมีค่าประมาณร้อยละ 0.2 โดยถังหมักที่ 1 ใช้ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน จะมีปริมาณแมกนีเซียมร้อยละ 0.2 ถังหมักที่ 2 ใช้ระยะเวลา 45 วัน มีค่าร้อยละ 0.2 และถังหมักที่ 3 ใช้ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน มีค่าร้อยละ 0.1 ซึ่งค่าที่ได้จะคงที่และลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในชุดการทดลองที่ 1

(2) เชื้อโรค

U.S. EPA (1999) ได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมักเพื่อการขายหรือการบรรจุโดยต้องมีปริมาณ Fecal Coliforms น้อยกว่า 1000 MPN/g (น้ำหนักแห้ง) จากการทดลองเชื้อโรคที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้คือ *E. coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่อยู่ในกลุ่ม Fecal Coliforms จากผลการทดลองไม่พบเชื้อ *E. coli* ในถังหมักที่ 3 (ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ในวันที่ 0, 30 และ 45)

3.2.6 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 1 เทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)

ชุดการทดลองที่ 1 ทำการหมักเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ของของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง ซึ่งหมักร่วมกับตะกอนน้ำเสียชุมชน และผักตบชวา ทำการทดลอง 3 ถังหมัก โดยถังหมักที่ 1, 2 และ 3 ใช้ระยะเวลาในการหมัก 30, 45 และ 60 วัน ตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการหมักนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น, ขนาดของวัสดุหมัก, ความเพียงพอของอากาศในการย่อยสลาย และความชื้น (Rabbani และคณะ, 1983)

จากผลการทดลอง ถังหมักที่ 3 ใช้เวลาในการทดลอง 60 วันนั้นมีความเป็นปุ๋ยหมักมากกว่าถังที่ 1 และ 2 คือค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20 คือ มีค่า 17.4 และมีธาตุอาหารที่เพียงพอในการเป็นปุ๋ยหมักที่ดี และลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้นั้นพบว่า ถังหมักที่ 3 ผักตบชวามีการย่อยสลายค่อนข้างสมบูรณ์ ไม่มีลักษณะเป็นชิ้นๆ เหมือนวัสดุหมักเริ่มต้น สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีดำซึ่งเป็นสีของอินทรียวัตถุ และไม่มีกลิ่นเหม็น เมื่อนำปุ๋ยหมักจากของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง, ผักตบชวา และตะกอนน้ำเสียชุมชนนั้นมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) แสดงในตารางที่ 3.7

พารามิเตอร์หลักที่ทำการเปรียบเทียบคือ ความชื้นซึ่งไม่ผ่านมาตรฐาน เนื่องจากมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่สามารถที่จะกำจัดความชื้นโดยการนำไปบ่มได้ ส่วนการนำไฟฟ้า, อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง), อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน, ปริมาณธาตุไนโตรเจน, โปแทสเซียม (K_2O) และ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนพลาสติก แก้ว และโลหะไม่พบสิ่งเหล่านี้ในผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.7 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติระหว่างผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของชุดการทดลองที่ 1 (60 วัน) และเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)

ลักษณะสมบัติ	มาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดี	ถังหมักที่ 3 (60 วัน)
- ความชื้น (ร้อยละ)	ไม่เกิน 35	55.2
- การนำไฟฟ้า (dS/m)	ไม่เกิน 6	1.5
- พลาสติก แก้ว และโลหะ	ไม่มี	ไม่มี
- อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 30	32.1
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20	17.4
- ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 1.0	1.1
- ฟอสฟอรัส (P_2O_5 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.5
- โปแทสเซียม (K_2O ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.7
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.5-8.5	7.0

3.3 ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 2 (ศึกษาการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งเปรียบเทียบระหว่างการไม่เติมและเติมสารเร่ง พด.1)

ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ถังหมัก 2 ถัง ซึ่งแต่ละถังใช้ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง 20 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียก ถังหมักที่ 1 ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 ซึ่งการย่อยสลายเป็นไปตามธรรมชาติ ส่วนถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 (ตารางที่ 3.8) ชุดการทดลองนี้เป็นการศึกษาการย่อยสลายของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการย่อยสลายโดยธรรมชาติจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง และมีการเติมสารเร่ง พด.1 ซึ่งสารเร่ง พด.1 มีจุลินทรีย์คัดเฉพาะที่ช่วยในการย่อยสลาย โดยระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 วัน ซึ่งทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ 4 วันต่อครั้ง ส่วนอุณหภูมิทำการวัดทุกวัน

คุณสมบัติทั่วไปของสารเร่ง พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโต ประกอบด้วยเชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีส อยู่ในลักษณะแห้ง ซึ่งสะดวกแก่การเก็บรักษา สามารถย่อยสลายเศษพืชให้เป็นปุ๋ยได้ในระยะเวลารวดเร็วเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ช่วยประหยัดเวลาในการทำปุ๋ยหมัก และให้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดี

ตารางที่ 3.8 องค์ประกอบของวัสดุหมักในชุดการทดลองที่ 2

ถังหมักที่	% องค์ประกอบของวัสดุหมัก	สารเร่ง พด.1
1	100% ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง	ไม่เติม
2	100% ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง	เติม

3.3.1 ลักษณะของวัสดุหมัก ชุดการทดลองที่ 2

จากการศึกษาคุณสมบัติของของเสียจากโรงงานยางแท่ง (ตารางที่ 3.9) พบว่า มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมากมีค่าประมาณ 280 เนื่องจากมีไนโตรเจนต่ำประมาณร้อยละ 0.1 ซึ่งหากวัสดุที่ใช้มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงจะทำให้ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนาน แต่เนื่องจากชุดการทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการย่อยสลายของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งโดยจุลินทรีย์ธรรมชาติที่อยู่ในของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง และเติมสารเร่ง พด.1 ที่มีจุลินทรีย์คัดเฉพาะ เพื่อเปรียบเทียบการย่อยสลาย

ตารางที่ 3.9 ลักษณะของวัสดุหมักในการทดลองชุดที่ 2

วัสดุ	ความชื้น (ร้อยละ)	pH	อินทรีย์คาร์บอน (% น้ำหนักแห้ง)	ไนโตรเจน (% น้ำหนักแห้ง)	C/N Ratio
- ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง	48-53	7.2-8.2	34-39	0.12-0.20	280-350

3.3.2 คุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้น ชุดการทดลองที่ 2

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างหนึ่งในการหมักปุ๋ย ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความยากง่ายต่อการย่อยสลายและใช้เป็นตัวกำหนดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ กล่าวคือ ถ้าวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก อัตราการย่อยสลายจะเกิดช้า เนื่องจากความไม่สมดุลกันของสารประกอบคาร์บอนกับไนโตรเจน ซึ่งของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักที่ 1 และ 2 คือประมาณ 226 และ 235 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูง แต่ในการทดลองนี้ต้องการศึกษาการย่อยสลายของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง

อินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเจริญเติบโต วัสดุหมักเริ่มต้นมีค่าอินทรีย์คาร์บอนในถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 และ ถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีค่าใกล้เคียงกันคือร้อยละ 36 และ 35 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ส่วนธาตุไนโตรเจน ซึ่งเป็น

ธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์เช่นกัน แต่ธาตุไนโตรเจนในของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมีปริมาณน้อย วัสดุหมักเริ่มต้นมีค่าไนโตรเจนในถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 และ ถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีค่าร้อยละ 0.16 และ 0.15 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูงดังที่กล่าวมาข้างต้น

ส่วนความชื้นของของเสียโรงงานผลิตยางแท่งมีค่าร้อยละ 48-53 ซึ่งค่อนข้างต่ำ ดังนั้นในการเตรียมวัสดุหมักนั้นจะต้องมีการเพิ่มความชื้นให้แก่ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งโดยการเติมน้ำ โดยปกติแล้วค่าความชื้นจะถูกควบคุมให้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 55-65 ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักที่ทำการวิเคราะห์คือ ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 และโปแทสเซียมในรูป K_2O และธาตุอาหารรองที่ทำการวิเคราะห์คือ แคลเซียมและแมกนีเซียม พบว่าในของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งนั้นมีปริมาณธาตุอาหารอยู่เดิม แต่ยังมีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานอยู่มาก ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของทั้ง 2 ถังหมัก มีค่าเป็นกลาง (ตารางที่ 3.10)

ตารางที่ 3.10 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นในชุดการทดลองที่ 2

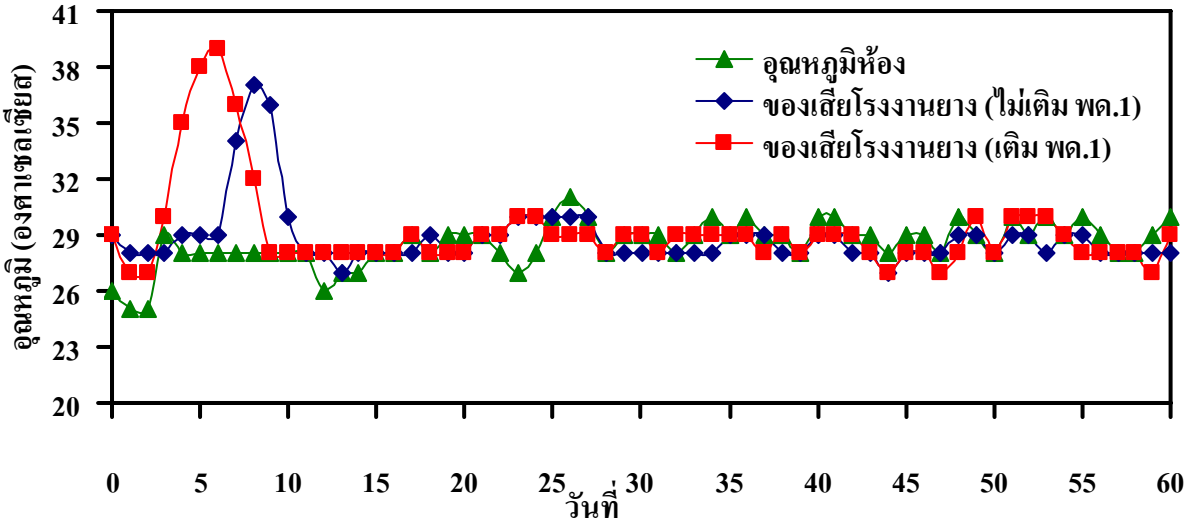
ลักษณะสมบัติ	วัสดุหมักเริ่มต้น	
	ไม่เติม	เติม
- ความชื้น (ร้อยละ)	54.5	55.1
- ค่าความเป็นกรดด่าง	7.82	7.48
- อินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	36.1	35.3
- อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	62.2	60.9
- ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	0.16	0.15
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	225.6	235.3
- ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	0.08	0.08
- ธาตุอาหาร (ร้อยละ)		
แคลเซียม (Ca)	1.2	1.1
แมกนีเซียม (Mg)	0.1	0.1
โปแทสเซียม (K_2O)	0.02	0.02
ฟอสฟอรัส (P_2O_5)	0.21	0.18
- เชื้อโรค (MPN/g)		
Fecal Coliforms	460	1,100
E. coli	ไม่พบ	ไม่พบ

3.3.3 ปัจจัยในการควบคุมระบบ ชุดการทดลองที่ 2

(1) อุณหภูมิ (Temperature)

ระยะเริ่มต้นจะเป็นระยะของสิ่งมีชีวิตกลุ่ม Mesophiles ซึ่งกลุ่มสิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้จะทำให้เกิดความร้อน และพลังงาน ซึ่งรวมไปถึงธาตุอาหารต่างๆ แต่ก็ยังมีในปริมาณน้อย แต่จากระยะนี้จะเป็นการเตรียมเพื่อเข้าสู่ระยะ Thermophiles เมื่อแหล่งอาหารลดลง กิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์จะลดลงตามไปด้วย จากนั้นอุณหภูมิก็จะลดลงเข้าใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อม เมื่ออุณหภูมิลดลง กลุ่มจุลินทรีย์พวก Mesophiles จะกลับมาทำงานอีกครั้งหนึ่ง แต่การเจริญเติบโตจะช้าลงและใช้แหล่งอาหารที่มีอยู่จนหมด ในระยะสุดท้าย วัสดุที่ใช้ในการหมักจะเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ซึ่งอาจจะต้องใช้ระยะเวลาเป็นเดือน (Chiu-Chung Young, 2005)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมักนั้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพในกระบวนการหมัก ความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อมีการย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์ จากการทดลองพบว่าของเสียโรงงานผลิตยางแท่งในถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 นั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 8 คือจะมีค่าสูงสุดที่ 37°C และในถังหมักที่ 2 ที่มีการเติมสารเร่ง พด.1 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 6 คือจะมีค่าสูงสุดที่ 39°C ในขณะที่อุณหภูมิห้องมีค่าประมาณ 28°C การที่อุณหภูมิสูงสุดไม่อยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิค เนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศที่มีฝนตก แต่อย่างไรก็ตามมีการย่อยสลายเกิดขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าลดลง จากนั้นอุณหภูมิในถังหมักทั้ง 2 ถังค่อยๆ ลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก (รูปที่ 3.9)

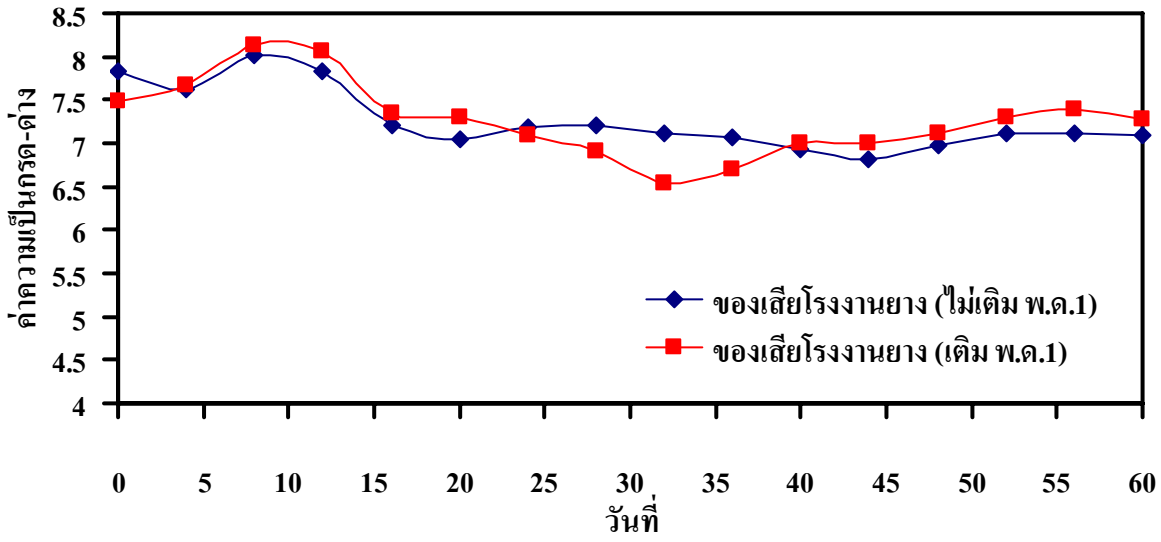


รูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2

(2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การย่อยสลายแบบการหมัก จะมีช่วงของค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 ส่วนในกระบวนการหมักปุ๋ย จะมีช่วงที่กว้างกว่า โดยปกติจะมีค่าลดลงในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมักปุ๋ย (ค่าความเป็นกรดด่างจะลดลงเหลือ 5.0) เนื่องจากเป็นช่วงการหมักกรดอินทรีย์ สภาพความเป็นกรดนี้ จะทำให้การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ลดลง หลังจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับ 8.5

จากผลการทดลองในช่วงเริ่มต้นการหมักค่า pH ในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่า 7.8 และ 7.5 ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่า pH ในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่า 7.1 และ 7.3 ตามลำดับ (รูปที่ 3.10) ในช่วงเริ่มต้นกระบวนการหมัก pH เพิ่มขึ้นเป็นด่าง เป็นผลมาจากการย่อยสลายโปรตีนจึงทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้น หลังจากนั้น pH จะลดลงเนื่องจากจุลินทรีย์ผลิตกรดในกระบวนการย่อยสลาย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักค่า pH ของทั้ง 2 ถังหมักค่อนข้างคงที่ เนื่องจากกรดถูกใช้โดยจุลินทรีย์ในวัสดุหมัก



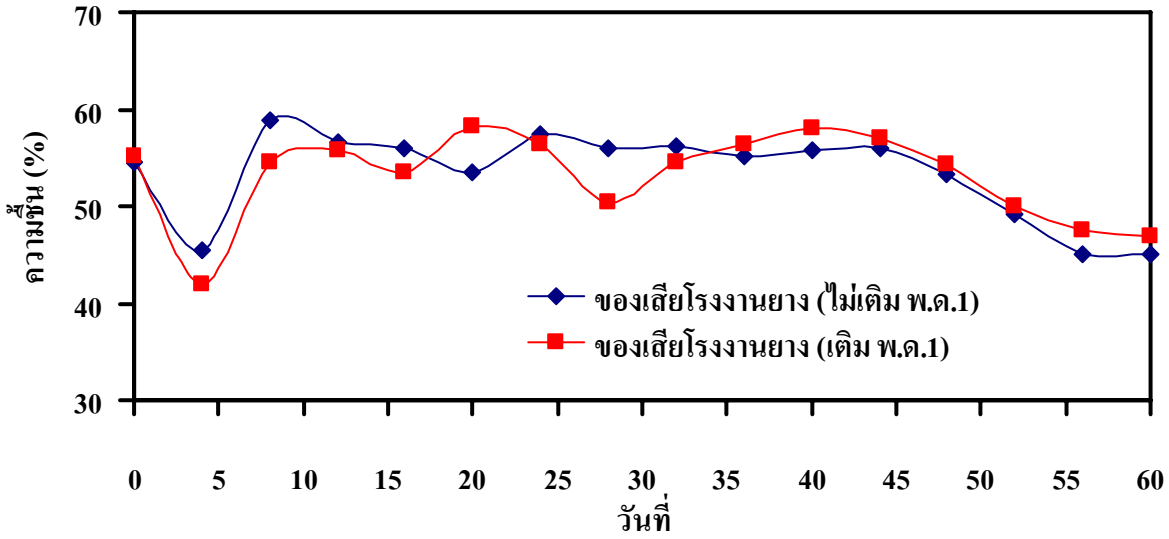
รูปที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2

(3) ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมระบบ เพราะว่าเป็นสิ่งที่อยู่ในโครงสร้างและเป็นคุณสมบัติของวัสดุหมัก ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมีความชื้นค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงมีการเพิ่มความชื้นโดยการพรมน้ำให้กับวัสดุหมัก เนื่องจากอัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับความชื้นด้วย ค่าความชื้นที่จุลินทรีย์ต้องการในการทำกิจกรรมนั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 55-65

(Stentiford, 1996) จากผลการทดลองความชื้นในถังหมักที่ 1 และ 2 มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 52 และในวันที่ 4 ความชื้นของถังหมักที่ 1 และ 2 ลดลงเหลือร้อยละ 45 และ 42 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อความชื้นมีค่าลดลงต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม ดังนั้นจึงเพิ่มความชื้นให้กับวัสดุหมักโดยการเติมน้ำ ทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้น และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักร้อยละของความชื้นอยู่ที่ 45 และ 47 ในถังหมักที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (รูปที่ 3.11)

Wilson (1977) กล่าวว่า ความชื้นที่ต่ำที่สุดซึ่งแบคทีเรียยังคงสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 12-15 ดังนั้นความชื้นต่ำสุดดังกล่าวนี้จึงเป็นตัวกำหนดที่สำคัญของปัจจัยในกระบวนการหมักได้



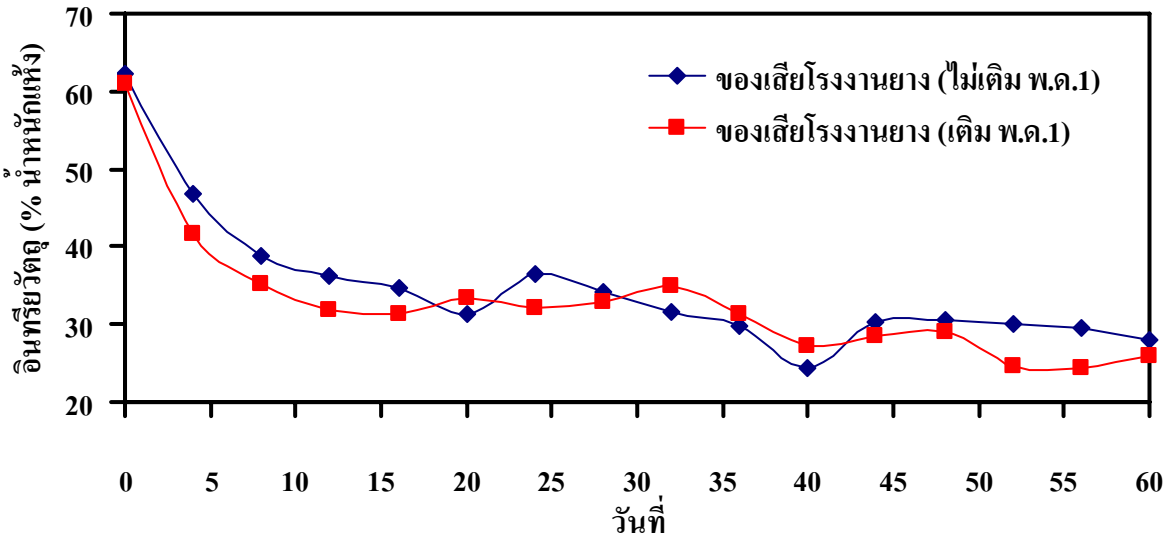
รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2

3.3.4 ลักษณะทางเคมี ชุดการทดลองที่ 2

(1) อินทรียวัตถุ (Organic Matter)

ระหว่างกระบวนการหมัก อินทรียวัตถุถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ผลผลิตที่ได้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เมื่อจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนได้สูงสุดในสภาวะที่เหมาะสม อินทรียวัตถุ เช่น โปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ก็จะถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ (Chefetz และคณะ, 1998) จุลินทรีย์มีหลากหลาย ดังนั้นจึงต้องคัดเลือกจุลินทรีย์คัดเฉพาะ เช่น สารเร่ง พด.1 เพื่อใช้ในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ จากการทดลองอินทรียวัตถุมีการย่อยสลายอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และเมื่อระยะเวลาผ่านไปการย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้าลง (รูปที่ 3.12) ซึ่งทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเกิดความสมดุล ในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าอินทรียวัตถุเริ่มต้นร้อย

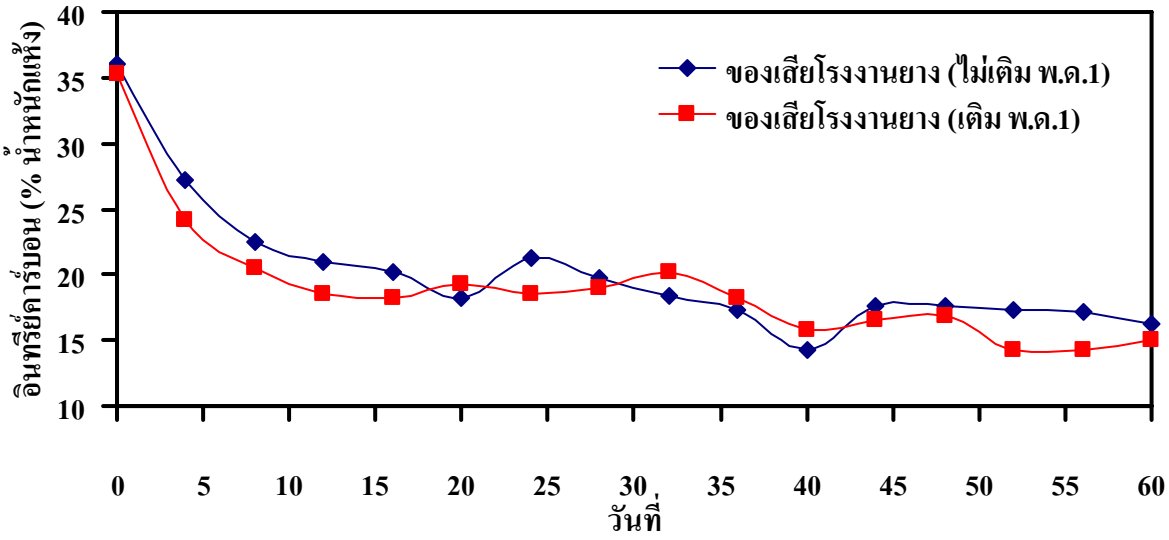
ละ 62.2 และ 60.9 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับและเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักวันที่ 60 มีค่าลดลงในถังหมักที่ 1 และ 2 ร้อยละ 28.1 และ 26.0 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งจากคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักควรมีค่าอินทรียวัตถุควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม



รูปที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2

(2) อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)

โดยทั่วไปแล้วอินทรีย์คาร์บอนจัดเป็นแหล่งพลังงานขั้นต้นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และฟังไจ ซึ่งต้องการทั้งอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนในการเจริญเติบโต อินทรีย์คาร์บอนจะลดลงเมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรียวัตถุ ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยสู่บรรยากาศ (Pace และคณะ, 1995) จากการทดลองอินทรีย์คาร์บอนเริ่มต้นในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 36.1 และ 35.3 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป เมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักอินทรีย์คาร์บอนมีค่าค่อนข้างคงที่คือ ในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าลดลงเหลือร้อยละ 16.3 และ 15.1 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ (รูปที่ 3.13)

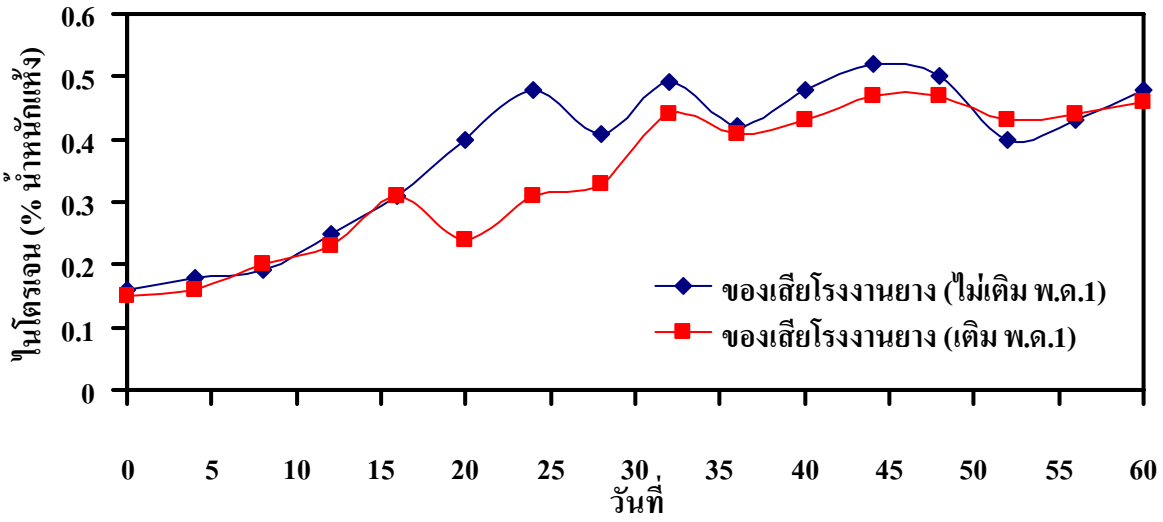


รูปที่ 3.13 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2

(3) ไนโตรเจนทั้งหมด (Nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารสำคัญสำหรับกระบวนการหมักปุ๋ย ปริมาณของไนโตรเจนบ่งบอกถึงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในระหว่างกระบวนการหมักจุลินทรีย์จะออกซิไดซ์อินทรียวัตถุ และปลดปล่อยแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชออกมา ดังนั้นผลรวมของไนโตรเจนจึงเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ส่วนอนินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ

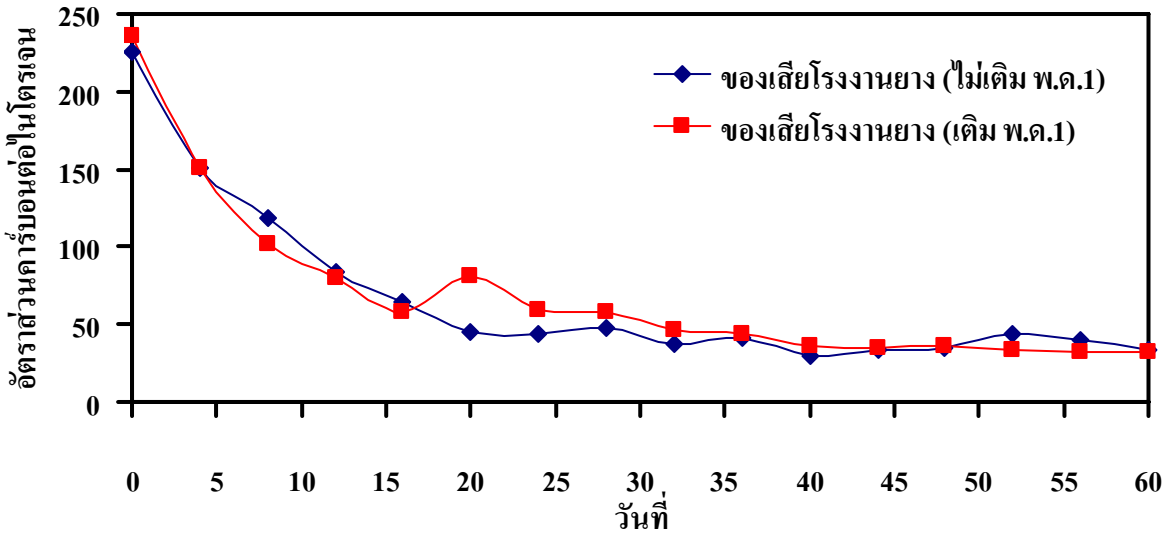
ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูง ก๊าซไนโตรเจนจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนจากธรรมชาติเพื่อที่จะผลิตก๊าซแอมโมเนีย กระบวนการตรึงไนโตรเจนจะเกิดขึ้นโดยเอนไซม์ Nitrogenase จากกระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนในบรรยากาศที่พืชไม่สามารถใช้ได้ ให้อยู่ในรูปแอมโมเนียที่พืชสามารถใช้ได้ กระบวนการตรึงไนโตรเจนจะสมบูรณ์ได้ต้องมีจุลินทรีย์ในระบบนิเวศธรรมชาติ จากการทดลองพบว่า วัสดุหมักผสมเริ่มต้นมีไนโตรเจนร้อยละ 0.16 และ 0.15 โดยน้ำหนักแห้ง ในถังหมักที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ระหว่างกระบวนการหมักไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.48 และ 0.46 โดยน้ำหนักแห้ง ในถังหมักที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (รูปที่ 3.14) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กรมพัฒนาที่ดิน (2548) แนะนำร้อยละ 1.0 ผลที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วย



รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2

(4) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

จากหลายงานวิจัยแนะนำอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของวัสดุหมักควรอยู่ระหว่าง 20-40 (Huag, 1980; Hagerty และคณะ, 1973; Finstein และคณะ, 1986) แต่จากการทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นในถังหมักที่ 1 และ 2 คือ 225.6 และ 235.3 ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก แต่ในชุดการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการย่อยสลายของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง และเปรียบเทียบระหว่างของเสียโรงงานผลิตยางแท่งในถังหมักที่ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และมีการเติมสารเร่ง พด.1 จากรูปที่ 3.15 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนระหว่างถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกันคือ 34.0 และ 32.8 ตามลำดับ เนื่องจากสารเร่ง พด.1 เป็นจุลินทรีย์คัดเฉพาะสำหรับช่วยในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จึงไม่มีผลต่อการย่อยสลายของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมากนัก และจากผลการทดลองพบว่า ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งสามารถย่อยสลายได้



รูปที่ 3.15 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 2

3.3.5 ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ชุดการทดลองที่ 2

ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักปุ๋ยขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น ขนาดของอนุภาค การย่อยสลายโดยการใช้อากาศและความชื้น เป็นต้น ดังนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุหมัก เพื่อพิจารณาถึงระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักวันที่ 60 ของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งในถังหมักที่ 1 ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 ผลจากการทดลองพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าลดลงคือ เริ่มต้นในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่า 226 และ 235 ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 34.0 และ 32.8 ตามลำดับ โดยค่าอินทรีย์คาร์บอนจากค่าเริ่มต้นในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าลดลงเหลือร้อยละ 16.3 และ 15.1 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และค่าไนโตรเจนในถังหมักที่ 1 และ 2 ในวันที่ 60 มีค่าร้อยละ 0.48 และ 0.46 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นกระบวนการหมัก แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กรมพัฒนาที่ดินกำหนดคือ ร้อยละ 1.0 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างนั้น ในวันที่ 60 มีค่าเป็นกลาง โดยผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 5.5-8.0

ธาตุอาหารหลักที่ทำการวิเคราะห์คือ ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม ส่วนธาตุอาหารรองที่ทำการวิเคราะห์คือ แคลเซียมและแมกนีเซียม จากการทดลองพบว่า ปริมาณของธาตุอาหารมีความแตกต่างกันน้อยมากระหว่างเริ่มต้นการหมักและเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ทั้งในถังหมักที่ 1 ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 ไม่ผ่านมาตรฐานที่กรมพัฒนาที่ดิน (2548) กำหนด และเชื้อโรคที่ทำการวิเคราะห์ในชุดการทดลองนี้คือ Fecal Coliforms, *E. coli* และ *Salmonella* sp. เชื้อ Fecal Coliforms และ *E. coli* โดยปกติแล้วแบคทีเรียเหล่านี้อาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์เลือดอุ่น โดย *E. coli* เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Fecal Coliforms ถ้าตรวจพบแบคทีเรียกลุ่มนี้ แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นมีการปนเปื้อนจากอุจจาระคนและสัตว์เลือดอุ่น *E. coli* เป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคท้องร่วง ซึ่งหากมีการนำปุ๋ยหมักนี้ไปใช้ และเชื้อ *E. coli* ติดไปกับพืชผัก ซึ่งหากมนุษย์และสัตว์ได้รับเข้าไปในปริมาณมากทำให้เกิดโรค มาตรฐานของ U.S. EPA (1999) กำหนดมาตรฐานของ Fecal Coliforms ต้องน้อยกว่า 1,000 MPN/g เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักพบว่า ถังหมักที่ 1 ไม่พบเชื้อ Fecal Coliforms และถังหมักที่ 2 มีค่า 460 MPN/g ส่วนเชื้อ *Salmonella* sp. มาตรฐานคือ ต้องน้อยกว่า 3 MPN/4g ซึ่งทั้ง 2 ถังหมักไม่พบ ซึ่งผลการวิเคราะห์เชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ได้ผ่านมาตรฐาน และไม่พบเชื้อ *E. coli* ทั้ง 2 ถังหมัก

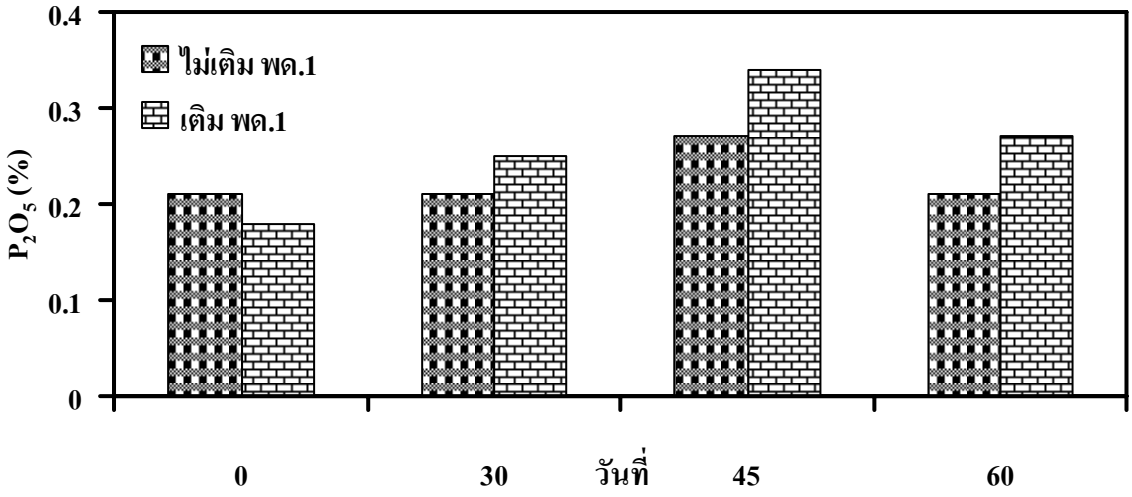
ในชุดการทดลองที่ 2 ได้ทำการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งโดยที่มีการเปรียบเทียบระหว่างไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และมีการเติม ผลจากการทดลองพบว่า สารเร่ง พด.1 ไม่มีผลต่อการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง เนื่องจากค่อนข้างไม่มีความแตกต่างกันระหว่างถังหมักที่ 1 และ 2 เนื่องจากสารเร่ง พด.1 เป็นจุลินทรีย์คัดเฉพาะสำหรับใช้ในการย่อยสลายวัสดุทางการเกษตร จึงไม่มีผลต่อการย่อยสลายของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง

(1) ธาตุอาหาร (Nutrient)

1.1) ธาตุอาหารหลัก

- ฟอสฟอรัส (P_2O_5)

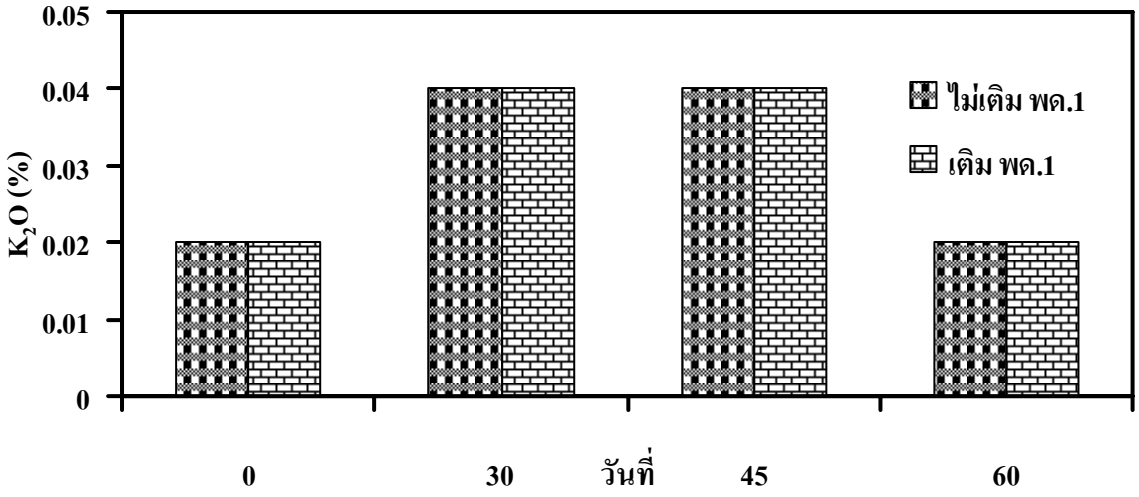
ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สำคัญมากมายหลายชนิดทั้งนี้เนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารได้หลายลักษณะ พืชต้องการฟอสฟอรัสร้อยละ 0.3-0.5 (โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อให้การเจริญเติบโตของพืชเป็นไปตามปกติ จากการทดลองพบว่า ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 ให้มีการย่อยสลายตามธรรมชาติ มีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.2, 0.2, 0.3 และ 0.2 ตามลำดับ และในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.2, 0.3, 0.3 และ 0.3 ตามลำดับ (รูปที่ 3.16) ซึ่งพบว่าค่าของฟอสฟอรัสหลังสิ้นสุดการหมักมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กรมพัฒนาที่ดินกำหนดคือร้อยละ 0.5



รูปที่ 3.16 การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัส (% P_2O_5) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 2

- โปแทสเซียม (K_2O)

กรมพัฒนาที่ดินแนะนำเกณฑ์มาตรฐานของโปแทสเซียมในปุ๋ยหมักที่ดีควรจะมีปริมาณร้อยละ 0.5 แต่จากการทดลองพบว่า ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 ให้มีการย่อยสลายตามธรรมชาติ มีปริมาณโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 0.02, 0.04, 0.04 และ 0.02 ตามลำดับ และในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 0.02, 0.04, 0.04 และ 0.02 ตามลำดับ (รูปที่ 3.17) ผลการทดลองที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่าการหมักของเสียโรงงานผลิตยางแท่งทั้งในถังหมักที่ไม่เติม และเติมสารเร่ง พด.1 นั้นมีค่าเท่ากัน และค่าที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก



รูปที่ 3.17 การเปลี่ยนแปลงของโปแทสเซียม (% K_2O) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 2

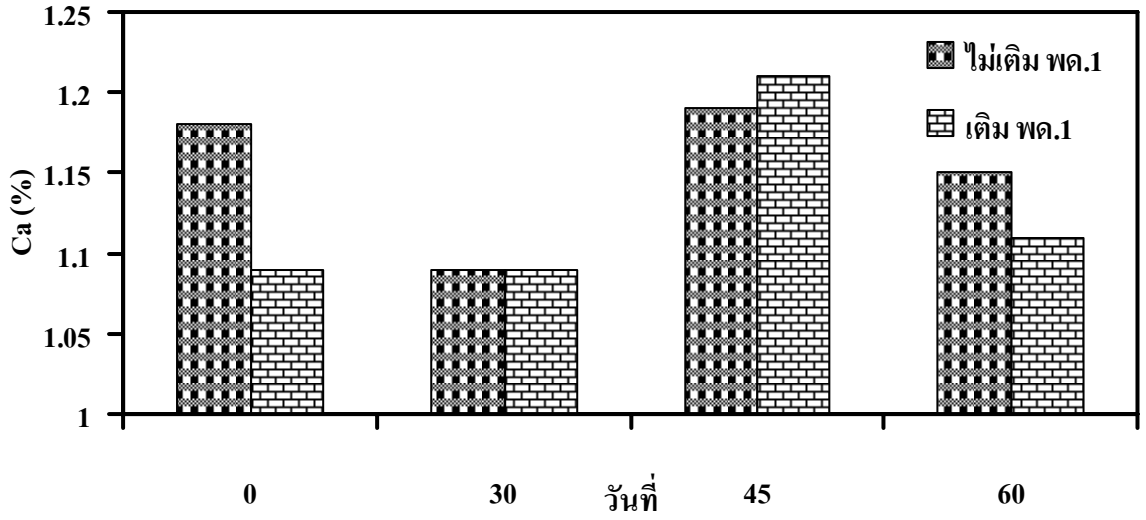
1.2) ธาตุอาหารรอง

- แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg)

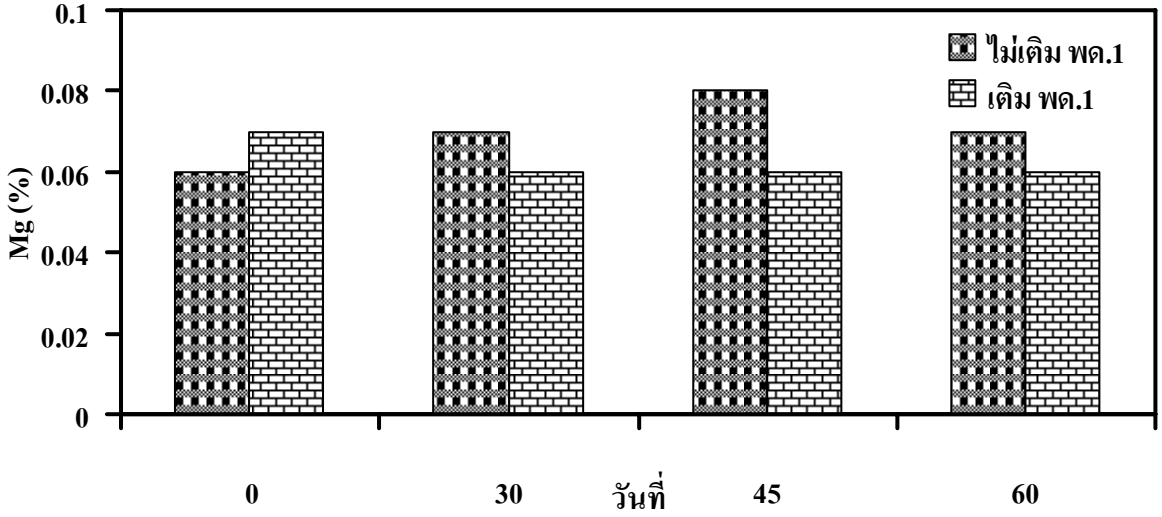
ธาตุอาหารรอง ซึ่งแม้ว่าพืชไม่ได้ต้องการในปริมาณมาก เหมือนกันธาตุอาหารหลัก แต่พืชก็จำเป็นต้องใช้ และขาดไม่ได้เช่นกัน ในการทดลองนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารรองคือ แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg)

สำหรับธาตุแคลเซียม จากการทดลองพบว่า ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 ให้มีการย่อยสลายตามธรรมชาติ มีปริมาณแคลเซียม (Ca) ร้อยละ 1.2, 1.1, 1.2 และ 1.2 ตามลำดับ และในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณแคลเซียม (Ca) ร้อยละ 1.1, 1.1, 1.2 และ 1.1 ตามลำดับ (รูปที่ 3.18)

ส่วนธาตุแมกนีเซียม (Mg) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 ให้มีการย่อยสลายตามธรรมชาติ มีปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.06, 0.07, 0.08 และ 0.07 ตามลำดับ และในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.07, 0.06, 0.06 และ 0.06 ตามลำดับ (รูปที่ 3.19)



รูปที่ 3.18 การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียม (% Ca) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 2



รูปที่ 3.19 การเปลี่ยนแปลงของแมกนีเซียม (% Mg) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 2

(2) เชื้อโรค

U.S. EPA (1999) ได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมักเพื่อการขายหรือการบรรจุโดยต้องมีปริมาณ Fecal Coliforms น้อยกว่า 1000 MPN/g (น้ำหนักแห้ง) หรือต้องมีแบคทีเรีย *Salmonella* sp. น้อยกว่า 3 MPN/4g (น้ำหนักแห้ง) จากการทดลองในชุดการทดลองที่ 2 ได้ทำการ

วิเคราะห์เชื้อ 2 สายพันธุ์ด้วยกันคือ Fecal Coliforms และ *Salmonella* sp. โดยที่ Fecal Coliforms ในวัสดุหมักผสมถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่า 460 และ 1,100 MPN/g และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณเชื้อมีค่าลดลง โดยถังหมักที่ 1 ไม่พบเชื้อ Fecal Coliforms และถังหมักที่ 2 มีค่า 460 MPN/g ผลที่ได้ผ่านมาตรฐานทั้ง 2 ถังหมัก (ตารางที่ 3.11) ส่วนเชื้อ *Salmonella* sp. วิเคราะห์ในวันที่ 60 ถังหมักที่ 1 และ 2 ไม่พบเชื้อ *Salmonella* sp. ซึ่งถือว่าผ่านตามมาตรฐานของปุ๋ยหมักเพื่อการขายหรือการบรรจุ และจากการวิเคราะห์เชื้อ *E. coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สำคัญในกลุ่ม Fecal Coliforms ได้ทำการวิเคราะห์ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในถังหมักที่ 1 และ 2 ผลการทดลองที่ได้คือ ไม่พบ *E. coli* ในทุกช่วงเวลาที่ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ Fecal Coliforms และ *E. coli* ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของชุดการทดลองที่ 2

วันที่	ถังหมักที่ 1 (ไม่เติมสารเร่ง พด.1)		ถังหมักที่ 2 (เติมสารเร่ง พด.1)	
	Fecal Coliforms (MPN/g)	***E. coli* (MPN/g)**	**Fecal Coliforms (MPN/g)**	***E. coli* (MPN/g)**
0	460	ไม่พบ	1,100	ไม่พบ
30	3.6	ไม่พบ	1,100	ไม่พบ
45	ไม่พบ	ไม่พบ	> 1,100	ไม่พบ
60	ไม่พบ	ไม่พบ	460	ไม่พบ

3.3.6 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 2 เทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)

ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาการย่อยสลายของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง ทำการทดลอง 2 ถังหมัก โดยเปรียบเทียบระหว่างถังหมักที่ 1 หมักของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง แต่ไม่ผ่านมาตรฐาน เนื่องจากมีค่าสูงในตอนเริ่มต้น คือ 225.6 และ 294.2 ในถังหมักที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนนี้จะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการหมักคือ ถ้ามีค่าสูงจะใช้ระยะเวลาในการหมักนาน และถ้าค่าต่ำจะใช้เวลาสั้น เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาหมักอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 34.0 และ 32.8 ในถังหมักที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน แสดงว่าสารเร่ง พด.1 นั้นไม่มีผลต่อการย่อยสลายของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง แต่หากใช้ระยะเวลามากกว่า 60 วัน อาจมีค่าต่ำกว่า 20 และผ่านมาตรฐาน

แต่อย่างไรก็ตามจะต้องพิจารณาจากพารามิเตอร์อื่นๆ ด้วย เช่น ปริมาณธาตุอาหารพบว่าปริมาณธาตุอาหารหลัก ในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน และปริมาณธาตุอาหารมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอยู่มาก ดังนั้นจึงควรนำของเสียโรงงานผลิตยางแท่งหมักร่วมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร หรือมีการเพิ่มธาตุอาหารสังเคราะห์เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช

ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้นั้นพบว่า ถังหมักที่ 1 และ 2 สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีน้ำตาล และไม่มีกลิ่นเหม็น เมื่อนำถังหมักที่ 1 และ 2 ในชุดการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของปุ๋ยหมัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) พารามิเตอร์หลักที่ทำการเปรียบเทียบคือ ความชื้นในถังหมักที่ 1, ค่าความเป็นกรด-ด่าง และการนำไฟฟ้าผ่านมาตรฐาน ส่วนอินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง), อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน, ธาตุไนโตรเจน, โปแทสเซียม (K_2O) และฟอสฟอรัส (P_2O_5) (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนพลาสติก แก้ว และโลหะไม่พบสิ่งเหล่านี้ในผลิตภัณฑ์ ส่วนเชื้อโรคทั้ง 2 สายพันธุ์ ผ่านมาตรฐานของ U.S. EPA (1999) (ตารางที่ 3.12)

ตารางที่ 3.12 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติระหว่างผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของชุดการทดลองที่ 2 และเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)

ลักษณะสมบัติ	มาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดี	ถังหมักที่ 1 (ไม่เติม)	ถังหมักที่ 2 (เติม)
- ความชื้น (ร้อยละ)	ไม่เกิน 35	45.1	47.0
- การนำไฟฟ้า (dS/m)	ไม่เกิน 6	0.09	0.14
- พลาสติก แก้ว และโลหะ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
- อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 30	28.1	26.0
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20	34.0	32.8
- ไนโตรเจน (ร้อยละโดย น้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 1.0	0.5	0.5
- ฟอสฟอรัส (P_2O_5 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.2	0.3
- โปแทสเซียม (K_2O ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.02	0.02
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.5-8.5	7.1	7.3
- เชื้อโรค*			
Fecal Coliforms (MPN/g)	ไม่เกิน 1,000	ไม่พบ	460
Salmonella sp. (MPN/4g)	ไม่เกิน 3	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ: * มาตรฐานจาก U.S. EPA (1999)

3.4 ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 3

ชุดการทดลองที่ 3 จะใช้ถังหมักแบบใช้อากาศขนาด 60 ลิตร จำนวน 2 ถัง โดยวัสดุหมักที่ใช้คือ ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง ผักตบชวา และตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล โดยใช้ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง 5 กิโลกรัม, ผักตบชวา 5 กิโลกรัม และตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล 10 กิโลกรัม โดยมีอัตราส่วน 1:1:2 ตามลำดับ และน้ำหนักรวมของแต่ละถัง 20 กิโลกรัม ซึ่งถังหมักที่ 1 ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 ลงไปในถังหมัก (ตารางที่ 3.13) โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน ในการเตรียมผักตบชวาต้องมีการตัดให้มีขนาดประมาณ 3-5 เซนติเมตร เพราะขนาดของวัสดุหมักเล็กช่วยให้ออกซิเจนสามารถแพร่กระจายได้ดี และทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ 4 วันต่อครั้ง ส่วนอุณหภูมิทำการวัดทุกวัน

ตารางที่ 3.13 องค์ประกอบของวัสดุหมักในชุดการทดลองที่ 3

ถังหมักที่	% องค์ประกอบของวัสดุหมัก	สารเร่ง พด.1
1	25% ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง + 25% ผักตบชวา + 50% ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล	ไม่เติม
2	25% ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง + 25% ผักตบชวา + 50% ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล + สารเร่ง พด.1	เติม

3.4.1 คุณสมบัติของวัสดุหมัก ชุดการทดลองที่ 3

ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง (STR20) จากโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดพัทลุง, ตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลในจังหวัดสงขลา และผักตบชวาจากบ่อของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ การหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งเพียงอย่างเดียวนั้นให้ปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องใช้วัสดุหมักร่วมดังที่กล่าวมา เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเบื้องต้นในการหมักปุ๋ย โดยที่ผักตบชวามีค่าความชื้นสูงร้อยละ 92, ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกรดประมาณ 5.6 ซึ่งมีค่าเป็นกรด, อินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 46 โดยน้ำหนักแห้ง, ไนโตรเจนร้อยละ 2.6 โดยน้ำหนักแห้ง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าประมาณ 18 ส่วนตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลมีค่าความชื้นร้อยละ 65, ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกลาง, อินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 1.6 โดยน้ำหนักแห้ง, ไนโตรเจนร้อยละ 0.3-0.7 โดยน้ำหนักแห้ง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าประมาณ 5 ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุหมักร่วมทั้ง 2 ชนิด ที่จะนำมาผสมกับของเสียจากโรงงานผิตยางแท่งเหมาะสมที่จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุหมักร่วมเริ่มต้น (ตารางที่ 3.14)

สารเร่ง พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อย่อยสลายเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักในเศษพืชได้ดี สามารถเจริญได้ดีในสภาพดินที่มีอินทรียวัตถุสูง มีความสามารถในการใช้อาหารจากอินทรียวัตถุ และเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ในดินได้ดีกว่า ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นโทษต่อพืชซึ่งมีอยู่ในดิน ไม่สามารถเจริญแข่งขันได้

ตารางที่ 3.14 คุณสมบัติของวัสดุหมัก ในการทดลองชุดที่ 3

วัสดุ	ความชื้น (%)	pH	อินทรีย์คาร์บอน (% น้ำหนักแห้ง)	ไนโตรเจน (% น้ำหนักแห้ง)	C/N Ratio
- ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง	48.13	7.7	26-35	0.1	260
- ผักตบชวา	92.01	5.6	46.3	2.6	17.8
- ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล	64.78	7.2	1.6	0.3-0.7	5.3

3.4.2 คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น ชุดการทดลองที่ 3

วัสดุหมักผสมที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง, ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล และผักตบชวา ในอัตราส่วน 1:2:1 ลักษณะสมบัติของวัสดุผสมจะแสดงในตารางที่ 3.13 การหมักปุ๋ยที่จะให้ได้คุณภาพปุ๋ยที่ดีนั้น เมื่อมีการผสมวัสดุหมักแล้วควรจะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 20-40:1 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอัตราส่วนที่เกินกว่า 30 จะทำให้อัตราการหมักปุ๋ยลดลง (Pace และคณะ, 1995) ซึ่งในถังหมักที่ 1 ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และ ถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 38.2 และ 36.1 ตามลำดับ แต่อัตราการหมักอาจจะลดลงเนื่องจากมีค่ามากกว่า 30

อินทรีย์คาร์บอนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์นั้นในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 27.9 และ 28.9 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ส่วนไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญอีกธาตุหนึ่งนอกจากฟอสฟอรัสและโปแทสเซียมแล้ว ในวัสดุผสมเริ่มต้นในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 0.73 และ 0.80 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ

ธาตุอาหารหลักที่ทำการวิเคราะห์คือ ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 และโปแทสเซียมในรูป K_2O ซึ่งในวัสดุหมักเริ่มต้นนั้นมีปริมาณธาตุอาหารอยู่บางส่วนคือ ในถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 และถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีค่า P_2O_5 ร้อยละ 0.37 และ 0.32 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ส่วน K_2O เริ่มต้นในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละเท่ากันทั้ง 2 ถังคือ 0.14 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วน

ธาตุอาหารรองที่ทำการวิเคราะห์คือ แคลเซียมและแมกนีเซียม แคลเซียมที่มีอยู่ในวัสดุหมักผสมเริ่มต้นมีค่าร้อยละ 0.71 และ 0.51 ในถังหมักที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนธาตุแมกนีเซียมมีค่าเริ่มต้นเท่ากันทั้ง 2 ถังหมักคือ ร้อยละ 0.14 และปริมาณ Fecal Coliforms และ *E. coli* เริ่มต้นมีค่ามากกว่า 1,100 MPN/g ทั้ง 2 ถังหมัก (ตารางที่ 3.15) ซึ่งพบว่ามีค่าสูง เนื่องจากหมักร่วมกับตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล

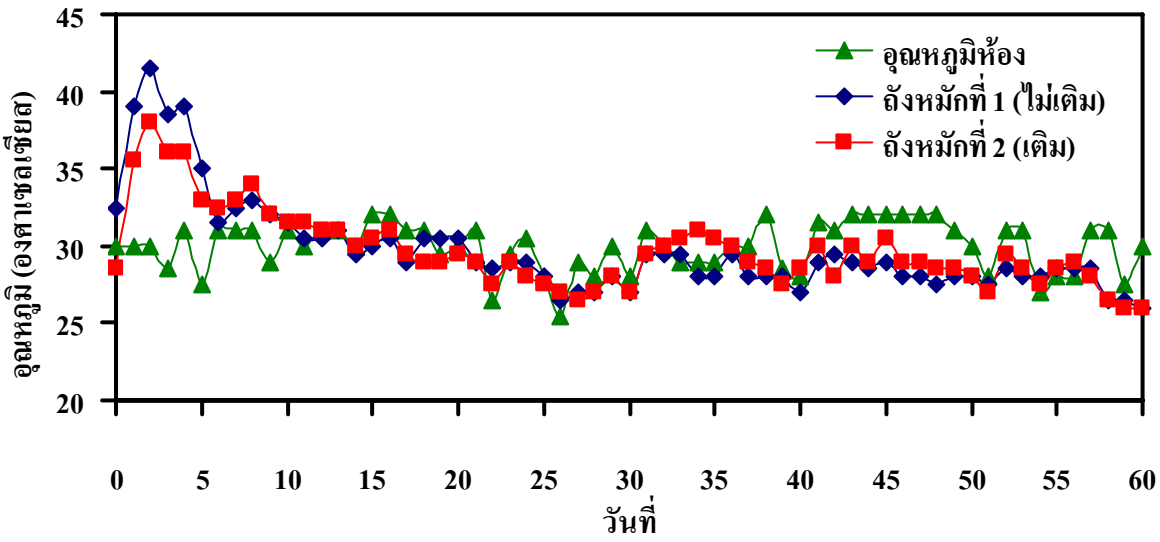
ตารางที่ 3.15 คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น ในชุดการทดลองที่ 3

ลักษณะสมบัติ	วัสดุหมักเริ่มต้น	
	ไม่เติมสารเร่ง พด.1	**เติมสารเร่ง พด.1**
- ความชื้น (ร้อยละ)	65.8	76.9
- ค่าความเป็นกรดด่าง	7.2	7.1
- อินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	27.89	28.90
- อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	48.08	49.82
- ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	0.7	0.8
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	38.21	36.13
- ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	1.1	0.9
- ธาตุอาหาร (ร้อยละ)		
แคลเซียม (Ca)	0.7	0.5
แมกนีเซียม (Mg)	0.04	0.04
โปแทสเซียม (K_2O)	0.1	0.1
ฟอสฟอรัส (P_2O_5)	0.4	0.3
- เชื้อโรค (MPN/g)		
Fecal Coliforms	>1,100	>1,100
E. coli	>1,100	>1,100

3.4.3 ปัจจัยในการควบคุมระบบ ชุดการทดลองที่ 3

(1) อุณหภูมิ (Temperature)

ในการหมักปุ๋ยอุณหภูมิเพิ่มจากอุณหภูมิปานกลาง ไปเป็นอุณหภูมิที่สูง การที่อุณหภูมิในถังปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นนั้น ทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักเปลี่ยนแปลงไป โดยที่ชนิดของจุลินทรีย์จะเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน คือขณะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญคือ พวกที่ทนและชอบอุณหภูมิสูง และเมื่ออุณหภูมิต่ำถึงระดับหนึ่ง จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลางสามารถที่จะเจริญเติบโตได้ โดยช่วงแรกของการหมักอุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงสูงสุด โดยที่อุณหภูมิสูงสุดในถังหมักที่ 1 ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 อุณหภูมิสูงสุดคือ 41.5°C และในถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 ลงไปช่วยในการย่อยสลายอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 38°C จากนั้นจะค่อยๆลดลง และเมื่อเข้าสู่สิ้นสุดกระบวนการหมัก อุณหภูมิจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง (รูปที่ 3.20) จากผลการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิในทั้ง 2 ถังหมักไม่สูงถึงระดับเทอร์โมฟิลิค อาจเนื่องมาจากขนาดของถังหมักมีขนาดเล็ก จึงไม่สามารถทำให้เกิดความร้อนสูงได้ โดยเฉพาะในถังหมักที่ 2 สาเหตุมาจากปริมาณความชื้นที่สูงอีกด้วย

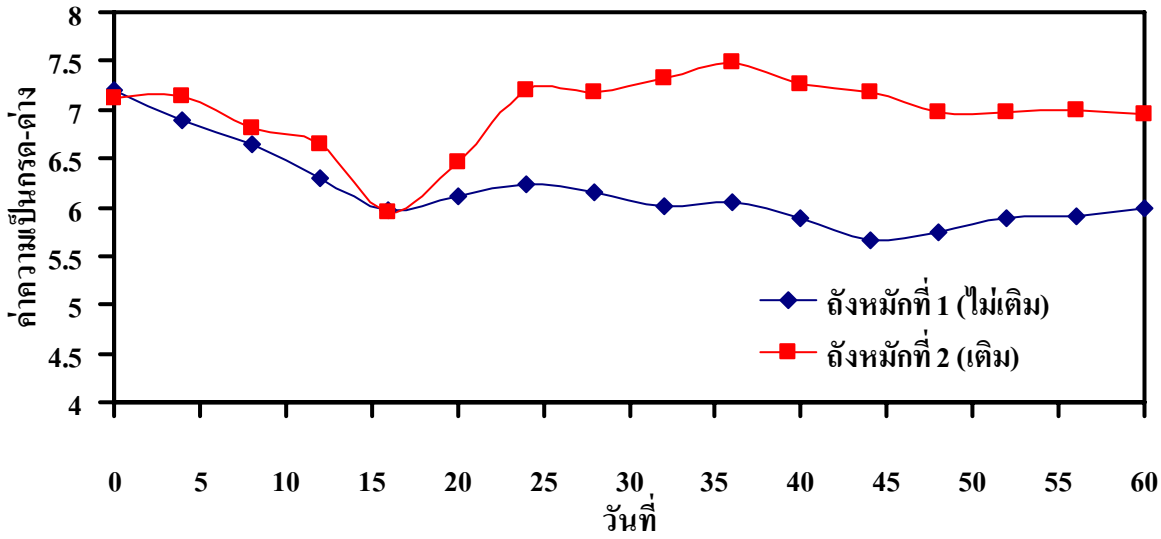


รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 3

(2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกพารามิเตอร์หนึ่ง วัสดุหมักผสมเริ่มต้นมีค่าเป็นกลาง และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย ในสัปดาห์แรก

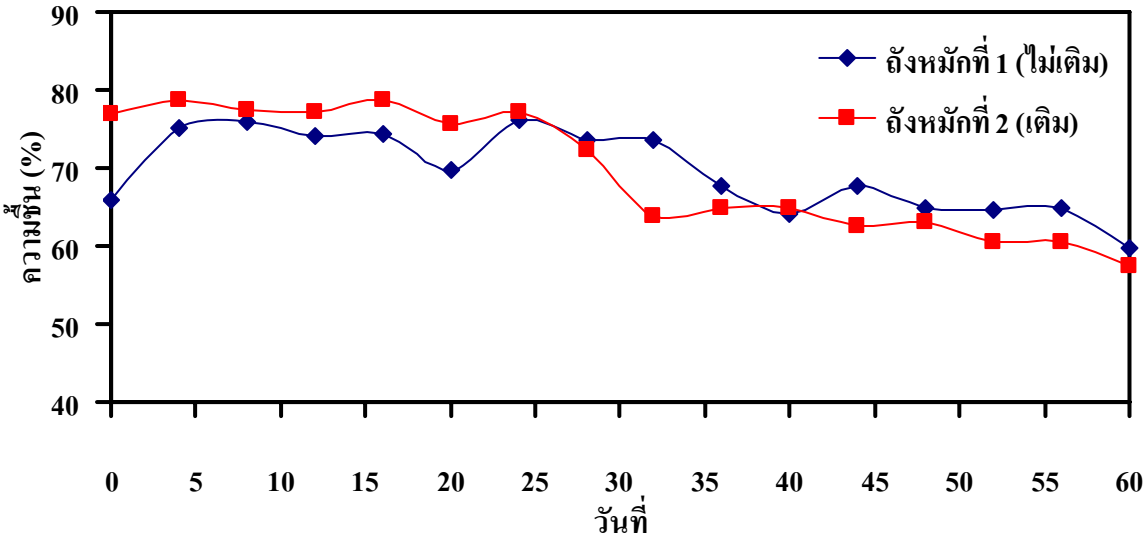
ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเนื่องจากจุลินทรีย์สร้างกรด จากนั้นค่อยๆ มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 3.21)



รูปที่ 3.21 การเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 3

(3) ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นปัจจัยควบคุม ถ้าหากความชื้นมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 45-50 จะไม่เกิดกระบวนการหมัก (Gray และคณะ, 1971[a]) ถ้ามีความชื้นในระดับที่สูง จะช่วยให้การหมักปุ๋ยมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุที่ใช้หมัก ซึ่งถ้ามีความชื้นในระดับต่ำจะทำให้เกิดการยุบตัว แต่ถ้าปริมาณความชื้นมากเกินไปจะจำกัดการแพร่ของน้ำและออกซิเจนทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ โดยน้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างนั้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น วัสดุที่เป็นของแข็งสามารถที่จะเก็บความชื้นไว้ได้นาน จนกระทั่งผนังไฟเบอร์จะถูกย่อยสลาย ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีการควบคุมค่าความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือประมาณร้อยละ 50-75 จากการทดลองความชื้นในถังหมักที่ 1 และ 2 ถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงร้อยละ 65-80 ซึ่งค่อนข้างจะอยู่ในค่าที่เหมาะสม (รูปที่ 3.22)

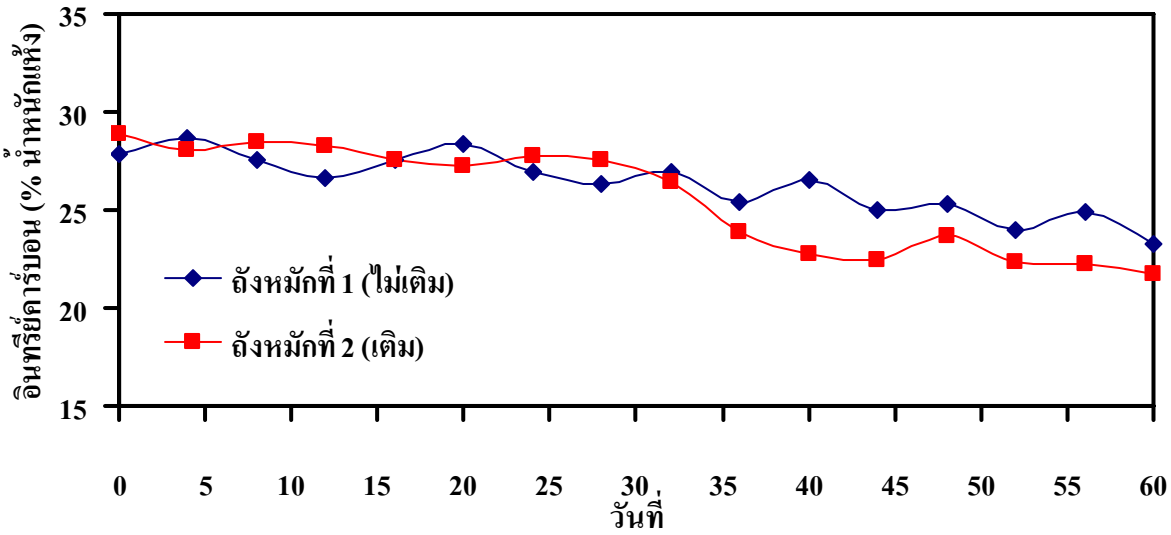


รูปที่ 3.22 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 3

3.4.4 ลักษณะทางเคมี ชุดการทดลองที่ 3

(1) อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)

จากการทดลองพบว่าอินทรีย์คาร์บอนในช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการย่อยสลายของผักตบชวา จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง ดังรูปที่ 3.23 ผลจากการทดลองในช่วงเริ่มต้นร้อยละของอินทรีย์คาร์บอนในถังหมักที่ 1 ที่ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และถังหมักที่ 2 ซึ่งมีการเติมสารเร่ง พด.1 มีค่าร้อยละ 27.9 และ 28.9 ตามลำดับ เมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักอินทรีย์คาร์บอนลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์นำไปใช้ ในวันที่ 60 อินทรีย์คาร์บอนในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 23.3 และ 21.7 ตามลำดับ

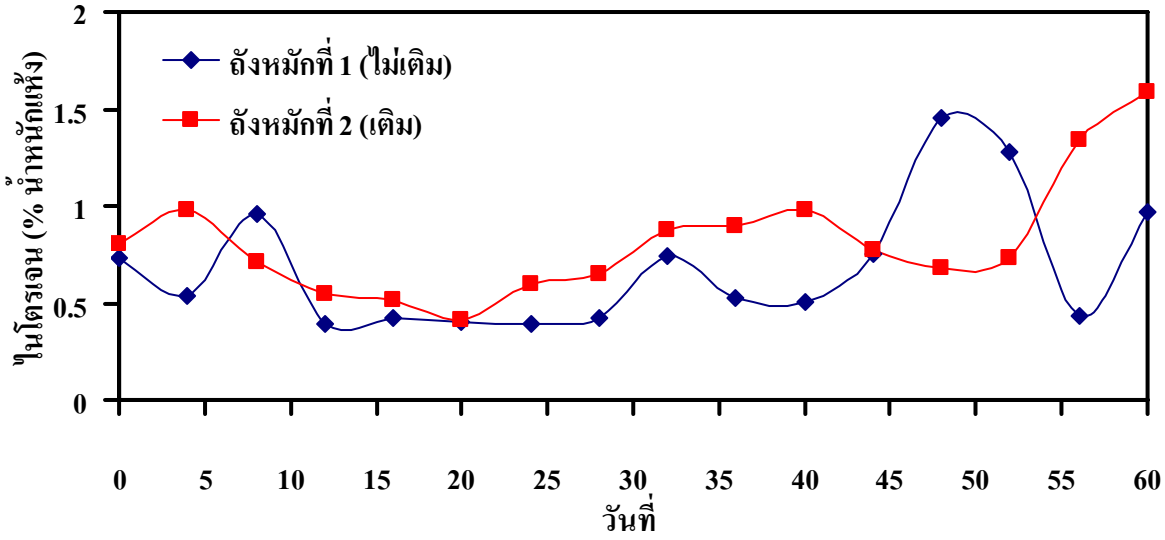


รูปที่ 3.23 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 3

(2) ไนโตรเจน (Nitrogen)

จุลินทรีย์ใช้ไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน จุลินทรีย์ต้องการใช้คาร์บอน 30 ส่วนต่อไนโตรเจน 1 ส่วน (C:N = 30:1 โดยน้ำหนักแห้ง) ถ้ากองปุ๋ยหมักมีส่วนผสมที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก (มีอินทรีย์คาร์บอนสูง) การย่อยสลายจะช้า แต่ถ้ากองปุ๋ยหมักมีส่วนผสมที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมาก (ไนโตรเจนสูง) จะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแบบของแอมโมเนียสู่บรรยากาศและจะเกิดกลิ่นเหม็น

กระบวนการหมักปุ๋ย จุลินทรีย์จะปลดปล่อยแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชออกมา จึงทำให้ไนโตรเจนมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยเริ่มต้นกระบวนการหมักมีปริมาณร้อยละของไนโตรเจนในถังหมักที่ 1 ซึ่งไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 มีค่า 0.7 และในถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 คือ 0.8 และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่าค่าไนโตรเจนในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าประมาณร้อยละ 1.0 และ 1.6 ตามลำดับ (รูปที่ 3.24) โดยเกณฑ์กำหนดของกรมพัฒนาที่ดิน (2548) ปุ๋ยหมักที่ดีควรมีค่าไนโตรเจนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 1.0 ซึ่งปริมาณไนโตรเจนของทั้ง 2 ถังหมักที่ทำการทดลองผ่านมาตรฐาน

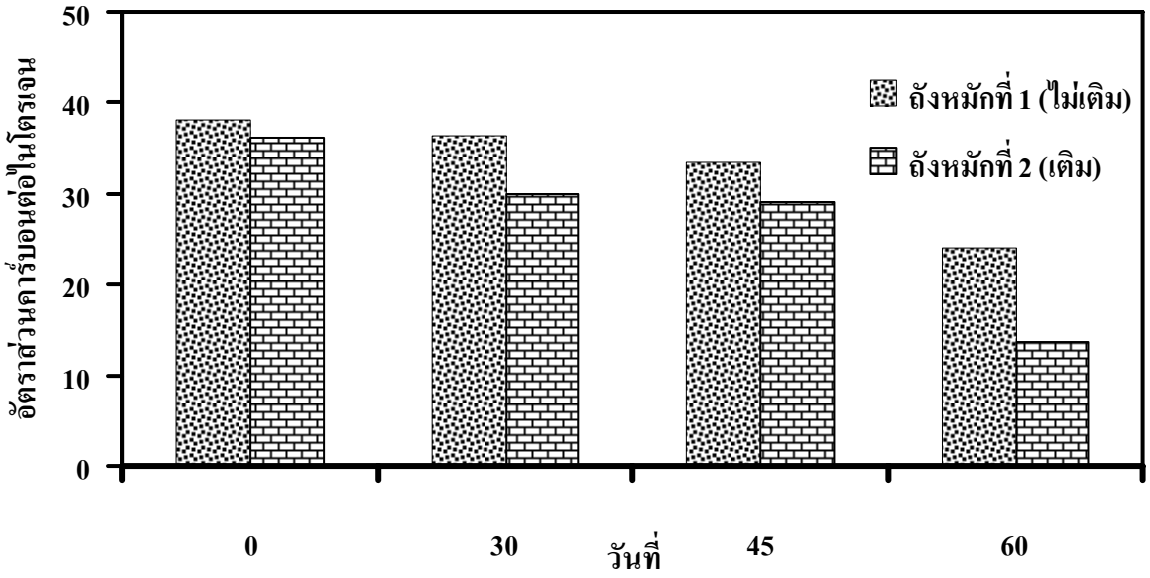


รูปที่ 3.24 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก ในการทดลองชุดที่ 3

(2) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio)

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างหนึ่งในการหมักปุ๋ย ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความยากง่ายต่อการย่อยสลายและใช้เป็นตัวกำหนดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ กล่าวคือถ้าวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก อัตราการย่อยสลายเกิดช้า เนื่องจากความไม่สมดุลกันของสารประกอบคาร์บอนกับไนโตรเจน ในสภาพเช่นนี้ จุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและการเจริญเติบโต ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ต้องใช้สารประกอบไนโตรเจนด้วย (Poincelot, 1975)

จากการทดลองอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน จากเริ่มต้นในถังหมักที่ 1 ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 38.2 เมื่อสิ้นสุดมีค่า 24.0 และในถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 36.1 และเมื่อสิ้นสุดมีค่า 13.7 (รูปที่ 3.25) ซึ่งค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักที่มีการเติมสารเร่ง พด.1 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กรมพัฒนาที่ดินแนะนำคือ ควรต่ำกว่า 20



รูปที่ 3.25 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในชุดการทดลองที่ 3

3.4.5 ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ชุดการทดลองที่ 3

คุณภาพของปุ๋ยในบางครั้ง ไม่สามารถที่จะมองจากลักษณะภายนอกได้เพียงอย่างเดียว เนื่องจากลักษณะภายนอกอาจจะเหมาะสมที่จะเป็นปุ๋ยแล้ว แต่หากว่าในปุ๋ยนั้นอาจมีความเป็นพิษได้ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบกระบวนการในการหมักและอื่นๆ เพื่อช่วยในการพิจารณา โดยดูจากการดำเนินการทั้งหมด และผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Gotaas, 1956) ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองคือ 60 วัน และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์

กรมพัฒนาที่ดิน (2548) แนะนำอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักไว้คือ ควรมีค่าต่ำกว่า 20 ซึ่งในถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักมีค่า 24.01 ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐาน ในขณะที่ถังหมักที่ 2 ที่มีการเติมสารเร่ง พด.1 ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายลงไปนั้น มีค่า 13.65 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนความชื้นภายในถังหมักเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักนั้นมีค่าร้อยละ 59.7 และ 57.3 ตามลำดับ ซึ่งยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 55-65 และค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย

ธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้นคือ ไนโตรเจน(N), ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโปแทสเซียม (K_2O) ธาตุไนโตรเจนเมื่อเริ่มต้นกระบวนการหมักในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 0.7 และ 0.8 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าร้อยละ 1.0 และ 1.6 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นในถัง 2 ถังหมัก โดยเฉพาะในถังหมักที่ 2 ซึ่งมีการ

เติมสารเร่ง พด.1 มีธาตุไนโตรเจนสูง แต่อย่างไรก็ตามค่าไนโตรเจนทั้ง 2 ถังหมักมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (2548) คือ ร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักแห้ง

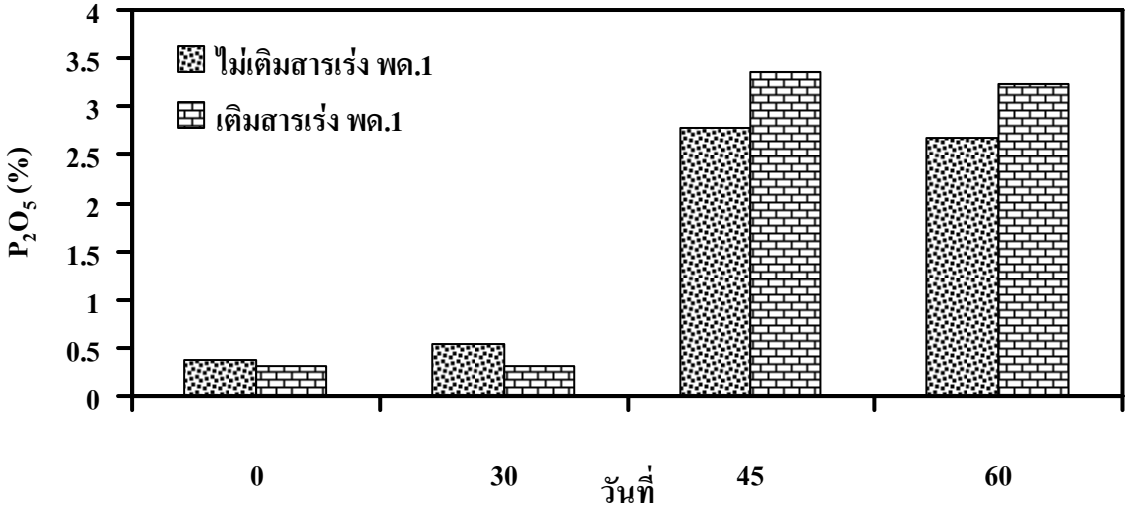
ธาตุฟอสฟอรัส (P_2O_5) มาตรฐานที่กำหนดอยู่ที่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง ฟอสฟอรัสมีค่าเริ่มต้นคือ ร้อยละ 0.4 และ 0.3 โดยน้ำหนักแห้งในถังหมักที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักฟอสฟอรัสมีค่าเพิ่มขึ้นในทั้ง 2 ถังหมักคือ ในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 2.7 และ 3.2 ซึ่งมีค่าสูง และในถังหมักที่ 2 ซึ่งมีการเติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณสูงกว่าถังหมักที่ 1 ซึ่งไม่เติมสารเร่ง พด.1 ส่วนธาตุโปแทสเซียม (K_2O) มาตรฐานกำหนดอยู่ที่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง ค่าเริ่มต้นของโปแทสเซียมในทั้ง 2 ถังหมักมีค่าเท่ากันคือ ร้อยละ 0.1 และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในถังหมักที่ 1 และ 2 คือ มีค่าร้อยละ 0.79 และ 0.82 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และในถังหมักที่มีการเติมสารเร่ง พด.1 มีค่าสูงกว่าถังที่ไม่เติมเล็กน้อย แต่อย่างไรตามปริมาณโปแทสเซียมทั้ง 2 ถังผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กรมพัฒนาที่ดินแนะนำไว้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารนั้น เนื่องจากการที่มวลลดลง จึงทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารเพิ่มสูงขึ้น ส่วนเชื้อโรคที่ทำการวิเคราะห์คือ Fecal Coliforms และ *Salmonella* sp. ผ่านมาตรฐานของ U.S. EPA (1999) ส่วน *E. coli* เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่า 21 และ 3.6 MPN/g ตามลำดับ

(1) ธาตุอาหาร (Nutrient)

1.1) ธาตุอาหารหลัก

- ฟอสฟอรัส (P_2O_5)

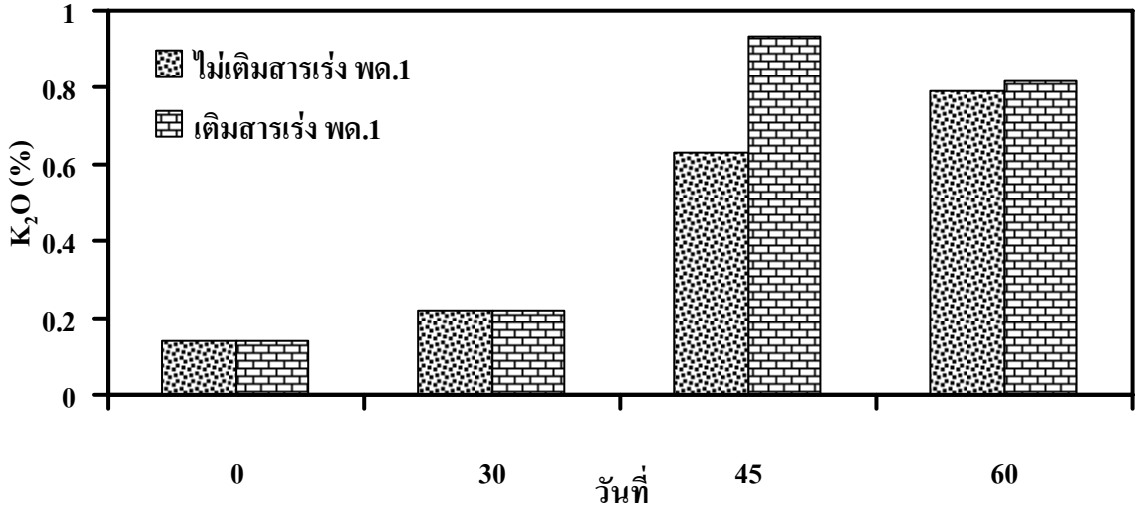
ธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม จากการทดลองพบว่า ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.4, 0.5, 2.8 และ 2.7 ตามลำดับ และในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.3, 0.3, 3.4 และ 3.2 ตามลำดับ (รูปที่ 3.26) มาตรฐานที่กรมพัฒนาที่แนะนำคือ ไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งทั้ง 2 ถังหมักมีค่าผ่านมาตรฐาน แต่ในถังหมักที่มีการเติม สารเร่ง พด.1 มีค่าสูงกว่าถังที่ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1



รูปที่ 3.26 การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัส (% P_2O_5) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 3

- โปแทสเซียม (K_2O)

จากการทดลองพบว่า ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 0.14, 0.22, 0.63 และ 0.79 ตามลำดับ และในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 0.14, 0.22, 0.93 และ 0.82 ตามลำดับ (รูปที่ 3.27) ซึ่งมาตรฐานของโปแทสเซียมที่กรมพัฒนาที่ดินแนะนำนั้นไม่ควรต่ำกว่า 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าโปแทสเซียมเพิ่มขึ้น และผ่านมาตรฐาน



รูปที่ 3.27 การเปลี่ยนแปลงของโปแทสเซียม (% K_2O) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 3

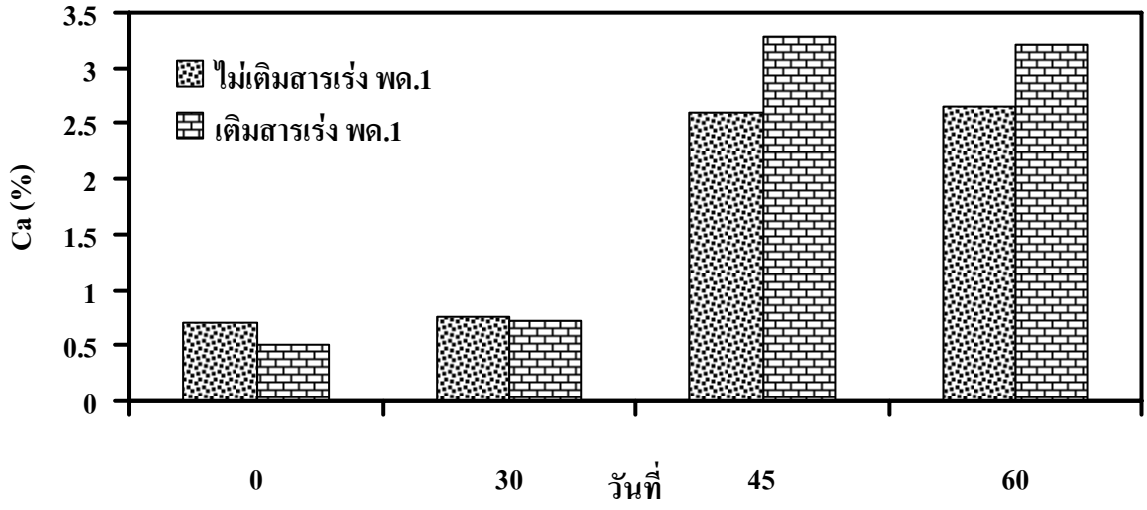
1.2) ธาตุอาหารรอง

จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักจะย่อยสลายวัสดุหมัก และปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ออกมา และจุลินทรีย์ที่เป็นพวกยีสต์ชนิดหนึ่งคือ *Saccharomyces cerevisiae* เมื่อตายลงจะเน่า จุลินทรีย์ชนิดอื่นจะย่อยสลายเป็นธาตุอาหารรองได้แก่ แคลเซียม, แมกนีเซียม, กำมะถัน เป็นต้น (http://www.pukaotong.com)

- แคลเซียม (Ca)

ธาตุอาหารรอง ซึ่งพืชมีความต้องการรองลงมาจากธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) สำหรับการเจริญเติบโตของพืช หน้าที่สำคัญของธาตุแคลเซียมในพืช เช่นช่วยเสริมสร้างเซลล์และการแบ่งเซลล์ของพืช ซึ่งพืชต้องการอย่างต่อเนื่อง และช่วยในการสร้างเซลล์และโครงสร้างของเซลล์ของพืช เป็นต้น

ผลการศึกษาแคลเซียม (Ca) พบว่าในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณแคลเซียม (Ca) ร้อยละ 0.7, 0.8, 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ และในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณแคลเซียม (Ca) ร้อยละ 0.5, 0.7, 3.3 และ 3.2 ตามลำดับ (รูปที่ 3.28) ซึ่งพบว่า ธาตุแคลเซียมนั้นเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นการหมักทั้งในถังหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 และถังหมักที่เติมสารเร่ง พด.1



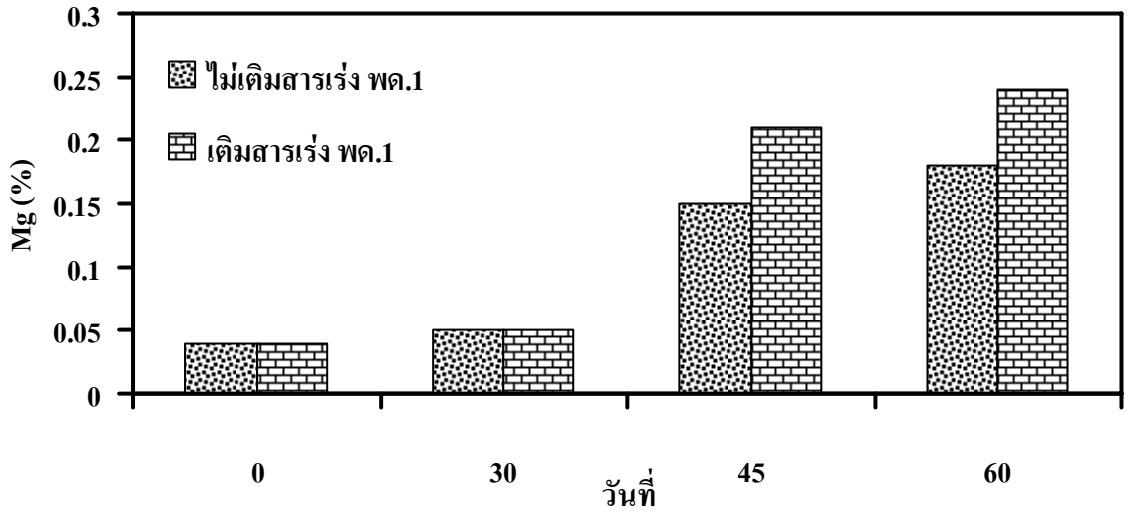
รูปที่ 3.28 การเปลี่ยนแปลงของแคลเซียม (% Ca) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 3

- แมกนีเซียม (Mg)

ธาตุแมกนีเซียม มีความสำคัญต่อพืช คน และสัตว์ หน้าที่สำคัญของธาตุแมกนีเซียมในพืช เช่น เป็นตัวสำคัญในการช่วยเสริมสร้างสารคลอโรฟิลล์ หรือความเขียวในพืช

ช่วยในการเคลื่อนย้ายธาตุฟอสฟอรัสได้ดีขึ้น มีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์แสงและช่วยเสริมสร้างให้พืชมีความต้านทานต่อโรคพืชต่างๆ เป็นต้น จุลินทรีย์จะย่อยสลายวัสดุหมักและปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ออกมา

ผลการศึกษาแมกนีเซียม (Mg) พบว่าในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.04, 0.05, 0.15 และ 0.18 ตามลำดับ และในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 0.04, 0.05, 0.21 และ 0.24 ตามลำดับ (รูปที่ 3.29) ซึ่งพบว่า ธาตุแมกนีเซียมนั้นเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นการหมักทั้งในถังหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 และถังหมักที่เติมสารเร่ง พด.1 คือ ในวันที่ 60 ถังหมักที่มีค่าแมกนีเซียมร้อยละ0.18 และ 0.24 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามในถังหมักที่ 2 ที่มีการเติมสารเร่ง พด.1 นั้นมีค่าสูงกว่าถังหมักที่ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1



รูปที่ 3.29 การเปลี่ยนแปลงของแมกนีเซียม (% Mg) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ชุดการทดลองที่ 3

(2) เชื้อโรค

เชื้อ *E. coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Fecal Coliforms เป็นจุลินทรีย์ประจำถิ่นในทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ แต่ถ้าหากมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดโรค ปริมาณ *E. coli* และ Fecal Coliforms ที่วิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 3.18 จากการทดลองพบว่า วัสดุผสมเริ่มต้นในถังหมักที่ 1 ซึ่งไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณ Fecal Coliforms ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 คือ > 1,100, > 1,100, 240 และ 240 MPN/g ตามลำดับ และถังหมักที่ 2 ซึ่งมีการเติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณ Fecal Coliforms ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 คือ > 1,100, 1,100, >1,100 และ 43 MPN/g ตามลำดับ ซึ่งจากมาตรฐานของ U.S. EPA (1999) กำหนดคือ ต้องมีปริมาณ Fecal Coliform น้อย

กว่า 1000 MPN/g ซึ่งผลที่ได้เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาหมักมีค่าผ่านมาตรฐาน และจากการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *E. coli* วันที่ 0, 30, 45 และ 60 ในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่า >1,100, 11,000, 3.6 และ 21.0 ตามลำดับ และ > 1,100, 3.0, 9.2 และ 3.6 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.16)

ตารางที่ 3.16 ผลการวิเคราะห์ Fecal Coliforms (MPN/g) และ *E. coli* (MPN/g) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของชุดการทดลองที่ 3

วันที่	ถังหมักที่ 1 (ไม่เติมสารเร่ง พด.1)		ถังหมักที่ 2 (เติมสารเร่ง พด.1)	
	Fecal Coliforms (MPN/g)	***E. coli* (MPN/g)**	**Fecal Coliforms (MPN/g)**	***E. coli* (MPN/g)**
0	>1,100	>1,100	>1,100	>1,100
30	>1,100	11,000	1,100	3.0
45	240	3.6	>1,100	9.2
60	240	21.0	43	3.6

3.4.6 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 3 เทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)

ชุดการทดลองที่ 3 หมักของเสียโรงงานผลิตยางแท่งร่วมกับตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล และผักตบชวา ทำการทดลอง 2 ถังหมัก โดยเปรียบเทียบระหว่างถังหมักที่ 1 ไม่เติมสารเร่งพด.1 และถังหมักที่ 2 การเติมสารเร่ง พด.1 โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 60 วันพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักที่ 2 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือ มีค่า 13.7 ส่วนถังหมักที่ 1 มีค่า 24.0 นอกจากนี้จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพพบว่า เนื้อวัสดุหมักในถังหมักที่ 2 ซึ่งมีการเติมสารเร่ง พด.1 พบว่า เนื้อวัสดุมีลักษณะไม่จับตัวกันเป็นก้อน เนื้อร่วนซุยไม่เหลือสภาพเดิมของวัตถุดิบที่ใช้หมักในตอนเริ่มต้น มีกลิ่นคล้ายดิน มีสีดำ และไม่มีกลิ่นเหม็น ส่วนถังหมักที่ 1 ซึ่งไม่เติมสารเร่ง พด.1 นั้นยังมีลักษณะของผักตบชวาเป็นชิ้นอย่างชัดเจน

พารามิเตอร์หลักที่ทำการเปรียบเทียบคือ ความชื้นทั้ง 2 ถังหมัก และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักที่ 1 ซึ่งไม่เติมสารเร่ง พด.1 มีค่าสูงกว่า 20 คือ มีค่า 24 ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐาน ส่วนค่าการนำไฟฟ้า, อินทรียวัตถุ, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักที่ 2 เติมสารเร่ง พด.1, และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนพลาสติก แก้ว และโลหะไม่พบสิ่งเหล่านี้ในผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ถังหมัก แม้ว่าไนโตรเจน, โปแทสเซียม และฟอสฟอรัสของทั้ง 2 ถังหมักมีค่าผ่านมาตรฐาน แต่ถังหมักที่ 2 มีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าถังหมักที่ 1 (ตารางที่ 3.17)

ตารางที่ 3.17 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติระหว่างผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของชุดการทดลองที่ 3 และเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)

ลักษณะสมบัติ	มาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดี	ถังหมักที่ 1 (ไม่เติม)	ถังหมักที่ 2 (เติม)
- ความชื้น (ร้อยละ)	ไม่เกิน 35	59.7	57.3
- การนำไฟฟ้า (dS/m)	ไม่เกิน 6	4.0	3.9
- พลาสติก แก้ว และโลหะ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
- อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 30	40.2	37.4
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20	24.0	13.7
- ไนโตรเจน (ร้อยละโดย น้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 1.0	1.0	1.6
- ฟอสฟอรัส (P_2O_5 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 0.5	2.7	3.2
- โปแทสเซียม (K_2O ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.8	0.8
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.5-8.5	6.0	7.0
- เชื้อโรค*			
Fecal Coliforms (MPN/g)	ไม่เกิน 1,000	240	43

หมายเหตุ: * มาตรฐานจาก U.S. EPA (1999)

3.5 ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 4

ชุดการทดลองที่ 4 ใช้ถังหมักแบบใช้อากาศ 6 ถัง โดยที่ถังหมักที่ 1 ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งและเปลือกผลไม้ในอัตราส่วน 1:1 ตามลำดับ, ถังหมักที่ 2 ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งและตะกอนน้ำเสียชุมชนในอัตราส่วน 1:1 ตามลำดับ, ถังหมักที่ 3 ของเสียโรงงานผลิตยางแท่งและมูลวัวในอัตราส่วน 1:1 ตามลำดับ, ถังหมักที่ 4 ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง ผักตบชวา และมูลวัวในอัตราส่วน 0.5:1:1 ตามลำดับ, ถังหมักที่ 5 ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง ผักตบชวา และตะกอนน้ำเสียชุมชนในอัตราส่วน 2:1:1 ตามลำดับ และถังหมักที่ 6 ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง ผักตบชวา และตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลในอัตราส่วน 1:1:2 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.18) ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 60 วัน จากผลการทดลองเบื้องต้นของของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูง เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนต่ำประมาณร้อยละ 0.12 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งถ้าหมักเพียงวัสดุเดียวจะทำให้ใช้ระยะเวลาในการหมักนาน และปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอสำหรับความต้องการของพืชอีกด้วย ดังนั้นจึง

ต้องหาวัสดุหมักร่วมเพื่อปรับปรุงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนซึ่งวัสดุหมักร่วมที่ใช้คือ ผักตบชวา, ตะกอนน้ำเสียชุมชน, ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล, มูลวัว และเปลือกผลไม้

ตารางที่ 3.18 วัสดุหมักร่วมและอัตราส่วนที่ใช้หมักร่วมกับของของเสียโรงงานผลิตยางแท่งในชุดการทดลองที่ 4

ถังหมักที่	วัสดุหมัก	อัตราส่วน (ตามลำดับ)
1	ของเสียโรงงานยางแท่ง + เปลือกผลไม้	1:1
2	ของเสียโรงงานยางแท่ง + ตะกอนน้ำเสียชุมชน	1:1
3	ของเสียโรงงานยางแท่ง + มูลวัว	1:1
4	ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + มูลวัว	0.5:1:1
5	ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + ตะกอนน้ำเสียชุมชน	2:1:1
6	ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล	1:1:2

3.5.1 คุณสมบัติของวัสดุหมัก ชุดการทดลองที่ 4

ของเสียโรงงานผลิตยางแท่งมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง ดังนั้นจึงต้องหาวัสดุหมักร่วมที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ ปริมาณธาตุไนโตรเจนสูง และความชื้นค่อนข้างสูง เพื่อมาช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุหมักให้มีค่าเหมาะสม (ตารางที่ 3.19) วัสดุหมักร่วมที่ใช้คือ ตะกอนน้ำเสียชุมชน ซึ่งมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 70-80, ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกรดเล็กน้อยถึงกลาง, ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 4.5-6.0 โดยน้ำหนักแห้ง และมีค่าไนโตรเจนสูงคือประมาณร้อยละ 1.5-2.0 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งได้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีค่าต่ำคือประมาณ 2.3-4.0

ผักตบชวาซึ่งเป็นพืชใบเขียวมีค่าไนโตรเจนค่อนข้างสูงคือประมาณร้อยละ 2.6 โดยน้ำหนักแห้ง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วม และมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 92 และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณร้อยละ 18 โดยน้ำหนักแห้ง และยังพบอีกว่าในผักตบชวามีปริมาณโปแทสเซียม (K_2O) ค่อนข้างสูงคือประมาณร้อยละ 2.0-3.5 ส่วนธาตุไนโตรเจนมีประมาณร้อยละ 2.8-3.5 โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณธาตุฟอสฟอรัส (P) มีค่าร้อยละ 0.4-1.0 โดยน้ำหนักแห้ง หากอยู่ในรูป (P_2O_5) มีค่าร้อยละ 0.1-0.4 โดยน้ำหนักสด อีกทั้งยังมีธาตุอาหารรองที่มีความสำคัญต่อพืช เช่น แคลเซียม (Ca) มีค่าร้อยละ 0.6-1.3 โดยน้ำหนักแห้ง, แมกนีเซียม (Mg) มีค่า

ร้อยละ 0.2-0.3 โดยน้ำหนักแห้ง และกำมะถัน (S) มีค่าร้อยละ 0.3-0.4 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณธาตุอาหารต่างๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพของแหล่งน้ำที่ผักตบชวาเจริญเติบโตด้วย (ทิพย์วัลย์, 2530; สุภาพรและปรัชญา, 2542)

เปลือกผลไม้เป็นวัสดุเหลือทิ้ง ในบริเวณใกล้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ เปลือกผลไม้ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ เช่น เปลือกแตงโม, มะม่วง, มะละกอ และสับปะรด เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 85-90, ค่าความเป็นกรด-ด่างคือค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อยถึงกลาง อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าประมาณ 25-60 โดยมีค่าอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 20-25 โดยน้ำหนักแห้ง และไนโตรเจนประมาณ 0.4-0.8

ตะกอนน้ำเสียที่มีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้วเป็นแหล่งของอินทรียวัตถุ ธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นต้น และ และธาตุอาหารรอง เช่น แคลเซียม, สังกะสี, ทองแดง และแมงกานีส เป็นต้น ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (Cecil และ Tester, 1990) จากผลการทดลองพบว่า ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลมีความชื้นประมาณร้อยละ 65, มีค่าความเป็นกรด-ด่างคือ 7.2, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 5.3 โดยมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำมากคือ ร้อยละ 1.6 โดยน้ำหนักแห้ง และไนโตรเจนร้อยละ 0.4-0.8 โดยน้ำหนักแห้ง การใช้ประโยชน์จากตะกอนน้ำเสียเป็นปุ๋ยหมักนั้น ส่วนใหญ่ยึดเอาปริมาณธาตุไนโตรเจนเป็นหลัก โดยถือว่าธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมากที่สุด Stewart และคณะ (1975) รายงานว่า ตะกอนของเสียเกือบทุกชนิดและทุกแหล่ง ถ้าเป็นของแข็งสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้ทีละน้อย และช้ากว่าตะกอนที่เป็นของเหลว

มูลวัวเป็นของเสียชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาหมักปุ๋ย เนื่องจากมีธาตุอาหารที่เหมาะสม แต่มูลวัวที่ไม่ผ่านการหมักไม่ควรนำใช้โดยตรง เพราะว่าจะทำให้เกิดความร้อน มูลวัวมีความชื้นต่ำคือ ร้อยละ 34, ค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อย, ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 27.2 โดยน้ำหนักแห้ง, ธาตุไนโตรเจนมีค่าร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนักแห้ง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 19.3 มูลวัวนั้นมีปริมาณธาตุอาหารหลักคือ ฟอสฟอรัส (P) ร้อยละ 1.47 โดยน้ำหนักแห้ง และธาตุโปแทสเซียม (K) ร้อยละ 1.62 โดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 3.19 คุณสมบัติของของเสียที่ใช้ในชุดการทดลองที่ 4

วัสดุ	ความชื้น (%)	pH	อินทรีย์คาร์บอน (% น้ำหนักแห้ง)	ไนโตรเจน (% น้ำหนักแห้ง)	C/N Ratio
- ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง	48-53	7.2-8.2	34.0-39.0	0.12	280.0
- ตะกอนน้ำเสียชุมชน	70-80	6.5-7.2	4.5-6.0	1.5-2.0	2.3-4.0
- ผักตบชวา	92	5.6	46.3	2.6	17.8
- เปลือกผลไม้	85-90	5.6-7.5	20.1-25.2	0.4-0.8	25.0-60.0
- ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล	65	7.2	1.6	0.3-0.7	5.3
- มูลวัว	34	7.9-8.2	27.2	1.4	19.3

3.5.2 คุณสมบัติของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น ชุดการทดลองที่ 4

การทดลองชุดที่ 4 ทำการทดลองทั้งหมด 6 ถังหมัก โดยแต่ละถังหมักมีการเปลี่ยนวัสดุที่นำมาหมักร่วมกับของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง (ตารางที่ 3.20) โดยถังหมักที่ 1 วัสดุหมักผสมคือ ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งและเปลือกผลไม้ในอัตราส่วน 1:1 จากการทดลองพบว่าวัสดุหมักเริ่มต้นในถังหมักที่ 1 มีค่าความชื้นร้อยละ 72.8, ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกลาง, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 36.1 ธาตุอาหารหลักเริ่มต้นในถังหมักที่ 1 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) เริ่มต้นมีค่าร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักแห้ง และโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วน Fecal Coliforms พบว่ามีค่ามากกว่า 1,100 MPN/g และไม่พบเชื้อ *E. coli* ในถังหมักที่ 1

ถังหมักที่ 2 วัสดุหมักผสมคือ ของเสียโรงงานผลิตยางแท่งและตะกอนน้ำเสียชุมชนในอัตราส่วน 1:1 จากการทดลองพบว่า วัสดุหมักผสมเริ่มต้นในถังหมักที่ 2 มีค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 56.0 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 40.2 ซึ่งค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นช้า ธาตุอาหารหลักเริ่มต้นในถังหมักที่ 2 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) เริ่มต้นมีค่าร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักแห้ง และโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนเชื้อโรคที่ทำการวิเคราะห์คือ Fecal Coliforms พบว่ามีค่า 1,100 MPN/g และ *E. coli* พบว่า มีปริมาณเริ่มต้นในถังหมักที่ 2 คือ 210 MPN/g

ถังหมักที่ 3 วัสดุหมักผสมคือ ของเสียโรงงานผลิตยางแท่งและมูลวัว ในอัตราส่วน 1:1 จากการทดลองพบว่า ถังหมักที่ 3 มีความชื้นร้อยละ 42.1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่เหมาะสม (ร้อยละ 55-65) ซึ่งได้มีการเติมน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นลงไปในวัสดุหมัก, ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าค่อนข้างเป็นกลาง ซึ่งเหมาะสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 50.1 ซึ่งมีค่าสูง ซึ่งอาจจะใช้ระยะเวลาในการหมักนาน ธาตุอาหารหลักเริ่มต้นในถังหมักที่ 3 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) เริ่มต้นมีค่าร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักแห้ง และโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 1.6 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนเชื้อโรคที่ทำการวิเคราะห์คือ Fecal Coliforms พบว่ามีค่ามากกว่า 1,100 MPN/g และได้ทำการวิเคราะห์เชื้อ *E. coli* ซึ่งเป็นเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคท้องเสีย ผลการวิเคราะห์วัสดุหมักเริ่มต้นในถังหมักที่ 3 พบว่า มีปริมาณ *E. coli* มากกว่า 1,100 MPN/g

ถังหมักที่ 4 วัสดุหมักผสมคือ ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง, ผักตบชวา และมูลวัว ในอัตราส่วน 0.5:1:1 จากการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นในถังหมักที่ 4 มีค่าร้อยละ 58.8 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสม (ร้อยละ 55-65), ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่า 7.9 และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 46.4 ส่วนธาตุอาหารหลักเริ่มต้นในถังหมักที่ 3 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) เริ่มต้นมีค่าร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักแห้ง และโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 1.1 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนเชื้อโรคที่ทำการวิเคราะห์คือ Fecal Coliforms พบว่ามีค่ามากกว่า 1,100 MPN/g และผลจากการวิเคราะห์เชื้อ *E. coli* พบว่ามีค่ามากกว่า 1,100 MPN/g

ถังหมักที่ 5 วัสดุหมักผสมคือ ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง, ผักตบชวา และตะกอนน้ำเสียชุมชน ในอัตราส่วน 2:1:1 จากการทดลองพบว่า ความชื้นมีค่าร้อยละ 66.3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงค่าที่เหมาะสม, ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกลาง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 36.7 ส่วนธาตุอาหารหลักเริ่มต้นในถังหมักที่ 3 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) เริ่มต้นมีค่าร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักแห้ง และโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักแห้ง

ถังหมักที่ 6 วัสดุหมักผสมคือ ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง, ผักตบชวา และตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล ในอัตราส่วน 1:1:2 จากการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นในถังหมักที่ 6 มีค่าร้อยละ 65.8, ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกลาง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีผลต่อระยะเวลาการย่อยสลายมีค่า 38.2 ส่วนธาตุอาหารหลักเริ่มต้นในถังหมักที่ 3 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) เริ่มต้นมีค่าร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักแห้ง และโปแทสเซียม (K_2O) ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วน Fecal Coliforms มีค่ามากกว่า 1,100 MPN/g และเชื้อ *E. coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สำคัญในกลุ่ม Fecal Coliforms ก่อให้เกิดโรคท้องเสียในมนุษย์และสัตว์มีปริมาณเริ่มต้นในถังหมักที่ 6 มากกว่า 1,100 MPN/g

ตารางที่ 3.20 ลักษณะสมบัติของวัสดุผสมเริ่มต้นในการทดลองชุดที่ 4

ลักษณะสมบัติ	วัสดุหมักเริ่มต้น					
	ถังหมักที่ 1	ถังหมักที่ 2	ถังหมักที่ 3	ถังหมักที่ 4	ถังหมักที่ 5	ถังหมักที่ 6
- ความชื้น (ร้อยละ)	72.8	56.0	42.1	58.8	66.3	65.8
- ค่าความเป็นกรดด่าง	6.9	7.1	7.9	7.9	7.2	7.2
- อินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	17.7	18.1	25.1	27.8	27.6	27.9
- อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	30.5	31.2	43.2	48.0	47.5	38.8
- ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	0.5	0.5	0.5	0.6	0.8	0.7
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	36.1	40.2	50.1	46.4	36.7	38.2
- ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	0.72	0.64	6.82	4.54	0.30	1.10
- ธาตุอาหาร (ร้อยละ)						
แคลเซียม (Ca)	0.7	0.9	1.5	0.5	2.5	0.7
แมกนีเซียม (Mg)	0.04	0.08	0.38	0.19	0.21	0.04
โปแทสเซียม (K_2O)	0.2	0.1	1.6	1.1	0.2	0.1
ฟอสฟอรัส (P_2O_5)	0.2	0.3	0.7	0.4	0.3	0.4
- เชื้อโรค (MPN/g)						
Fecal Coliforms	> 1,100	1,100	> 1,100	> 1,100	-	> 1,100
E. coli	ไม่พบ	210	> 1,100	> 1,100	-	> 1,100

หมายเหตุ: - คือ ไม่ได้วิเคราะห์

3.5.3 ปัจจัยในการควบคุมระบบ ชุดการทดลองที่ 4

ปัจจัยในการควบคุมระบบนั้น ต้องควบคุมให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม พารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยในการควบคุมระบบนั้น เช่น ความชื้น ค่าที่เหมาะสมควรอยู่ประมาณร้อยละ 55-65, อุณหภูมิ ควรมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิค ซึ่งมีค่าระหว่าง 45-59^{o}C (Richard, 1992) เพื่อให้ความร้อนที่เกิดขึ้นฆ่าจุลินทรีย์ก่อโรค ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองสูงสูดต่ำกว่าช่วงเทอร์

โมฟิลิค แต่ก็เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เช่นกัน และค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่ควรให้เป็นกรดแก่ หรือด่างแก่เกินไป เนื่องจากเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อีกทั้งอาจทำให้จุลินทรีย์ตายได้อีกด้วย เป็นต้น ชุดการทดลองที่ 4 เป็นการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งร่วมกับของเสียอินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยที่

ถังหมักที่ 1 : ของเสียโรงงานยางแท่ง + เปลือกผลไม้

ถังหมักที่ 2 : ของเสียโรงงานยางแท่ง + ตะกอนน้ำเสียชุมชน

ถังหมักที่ 3 : ของเสียโรงงานยางแท่ง + มูลวัว

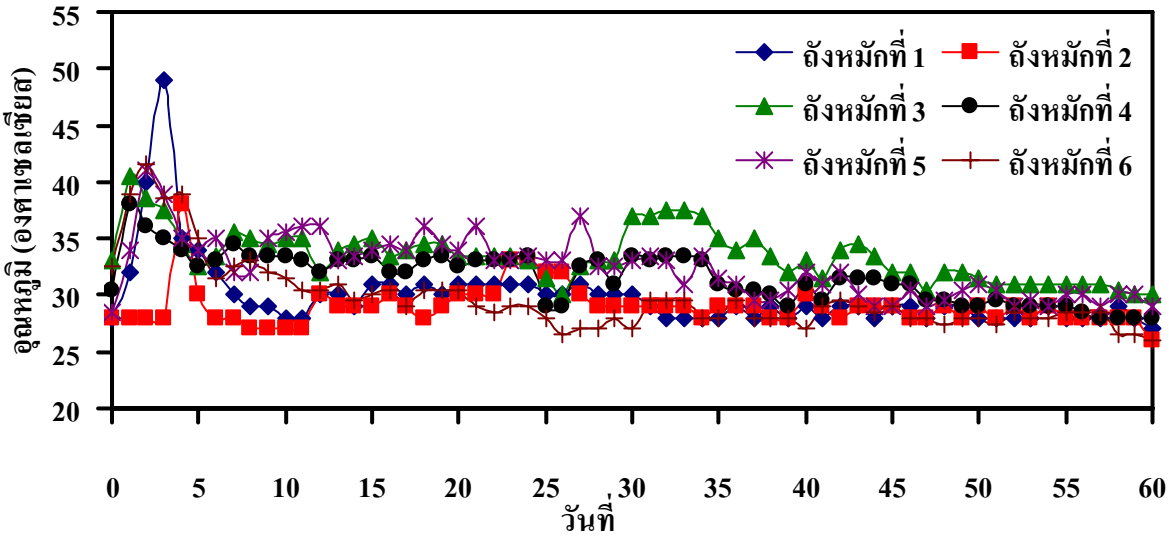
ถังหมักที่ 4 : ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + มูลวัว

ถังหมักที่ 5 : ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + ตะกอนน้ำเสียชุมชน

ถังหมักที่ 6 : ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล

(1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลให้เกิดระยะต่างๆของกระบวนการหมักปุ๋ย (Epstein, 1997; McKinley และคณะ, 1985) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของกองหมักเกิดจากความร้อนจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์และสภาพที่เป็นฉนวนของกองหมักเอง ซึ่งอุณหภูมิเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์และอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้น (Miller, 1992) โดยช่วงอุณหภูมิ 35-40^{o}C กองหมักมีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูงที่สุด อุณหภูมิ 45-55^{o}C เป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด และหากอุณหภูมิสูงกว่า 55^{o}C สามารถฆ่าเชื้อโรคในกองปุ๋ยได้ (Stentiford, 1996) จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิสูงสุดในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่าดังนี้ 49.0, 38.0, 40.5, 38.0, 41.0 และ 41.5^{o}C ตามลำดับ และเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักค่าของอุณหภูมิค่อนข้างมีค่าคงที่ การที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าไม่ถึงช่วงเทอร์โมฟิลิค เนื่องจากถังหมักมีขนาดเล็ก การที่อุณหภูมิสูงถึงช่วงเทอร์โมฟิลิคนั้นจะช่วยฆ่าเชื้อโรคในปุ๋ยหมัก ซึ่งการทดลองเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักได้ทำการวิเคราะห์เชื้อ Fecal Coliforms ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่อยู่ในทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์พบว่า ถังหมักที่ 6 มีปริมาณ Fecal Coliforms 240 MPN/g และไม่พบเชื้อดังกล่าวในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งค่าที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ U.S. EPA (1990) ซึ่งกำหนดไว้ว่า ต้องมีปริมาณ Fecal Coliforms ไม่เกิน 1,000 MPN/g จะเห็นได้ว่า แม้อุณหภูมิสูงสุดไม่ถึงช่วงเทอร์โมฟิลิค แต่ก็สามารถฆ่าเชื้อ Fecal Coliforms ได้เช่นกัน



รูปที่ 3.30 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 4

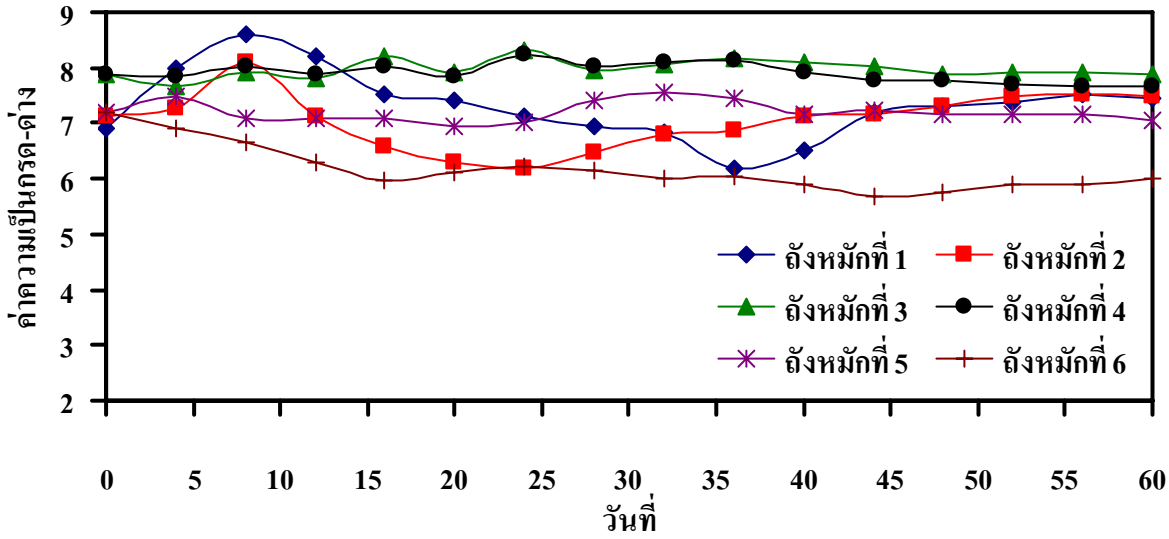
(2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เนื่องจากกระบวนการหมักเป็นกระบวนการที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซแอมโมเนียเกิดขึ้น จึงสามารถปรับค่า pH ที่สูงหรือต่ำของวัสดุหมักให้มีค่าเป็นกลางได้ ด้วยเหตุนี้การปรับค่า pH เริ่มต้นของวัสดุหมักจึงไม่มีความจำเป็น ยกเว้นกรณีที่วัสดุหมักมีค่า pH ที่สูงหรือต่ำเกินไปจนทำให้การหมักเกิดขึ้นช้ามาก จึงจำเป็นต้องปรับให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลางก่อนทำการหมัก (Haug, 1993) จากการทดลองในถังหมักที่ 1 และ 2 เริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างคือ 6.9 และ 7.1 ตามลำดับ จากนั้นค่าจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการย่อยสลายสารจำพวกโปรตีน และมีค่าลดลงเป็นกรดเล็กน้อยเมื่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่สร้างกรดมีบทบาทในการย่อยสลาย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าเป็นกลางและค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในวันที่ 60 ความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ที่ประมาณ 7.5 ทั้ง 2 ถังหมัก (รูปที่ 3.31)

ถังหมักที่ 3 และ 4 เริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างคือ 7.9 เท่ากันทั้ง 2 ถังหมัก จากนั้นค่าจะเพิ่มขึ้นเป็นด่าง และเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าเป็นกลางและค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 60 มีค่า 7.9 และ 7.7 ในถังหมักที่ 3 และ 4 ตามลำดับ (รูปที่ 3.31)

และในถังหมักที่ 5 และ 6 เริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างคือ 7.2 เท่ากันทั้ง 2 ถังหมัก จากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเป็นกรดเล็กน้อย ในถังหมักที่ 5 เมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักค่าจะเพิ่มขึ้นเป็นกลาง และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในวันที่ 60 มีค่า 7.7 ส่วน

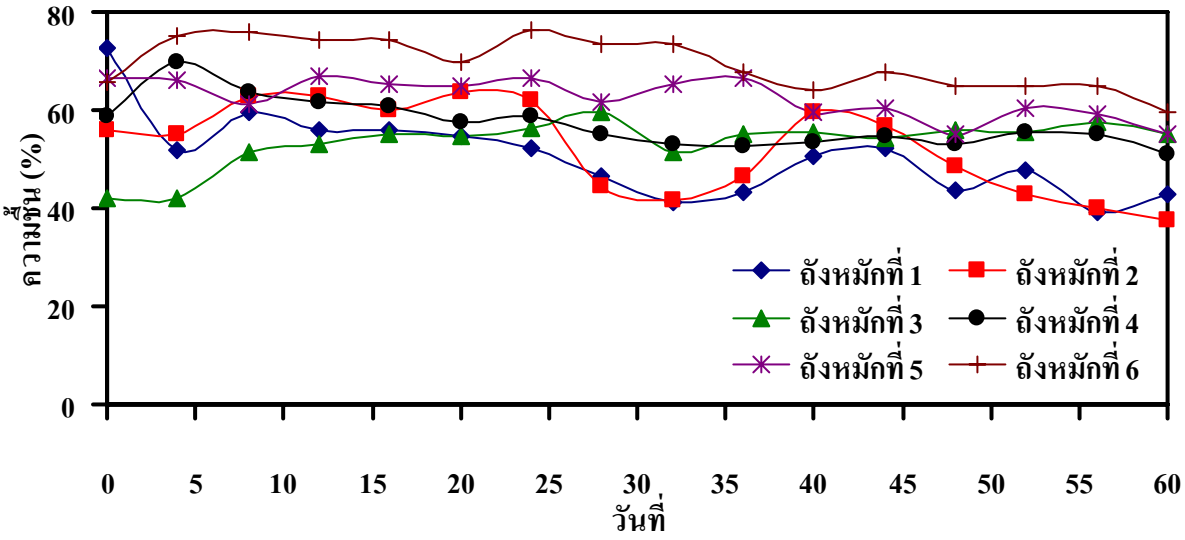
ในถังหมักที่ 6 เริ่มต้นมีค่าเป็นกลาง จากนั้นมีค่าลดลงเป็นกรด จนสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าประมาณ 6.0 (รูปที่ 3.31)



รูปที่ 3.31 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 4

(3) ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองหมัก ซึ่งมีความจำเป็นต่อการดูดซึมอาหารและกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ หากปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีปริมาณมากกว่าน้ำที่สูญเสียไปจากกองหมักเนื่องจากการระบายอากาศและการระเหยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มีผลให้การระบายอากาศถูกขัดขวางและทำให้เกิดสภาพไร้อากาศขึ้น (Gray และคณะ, 1971[b]) จากการทดลองค่าความชื้นถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงร้อยละ 50-75 (รูปที่ 3.32)



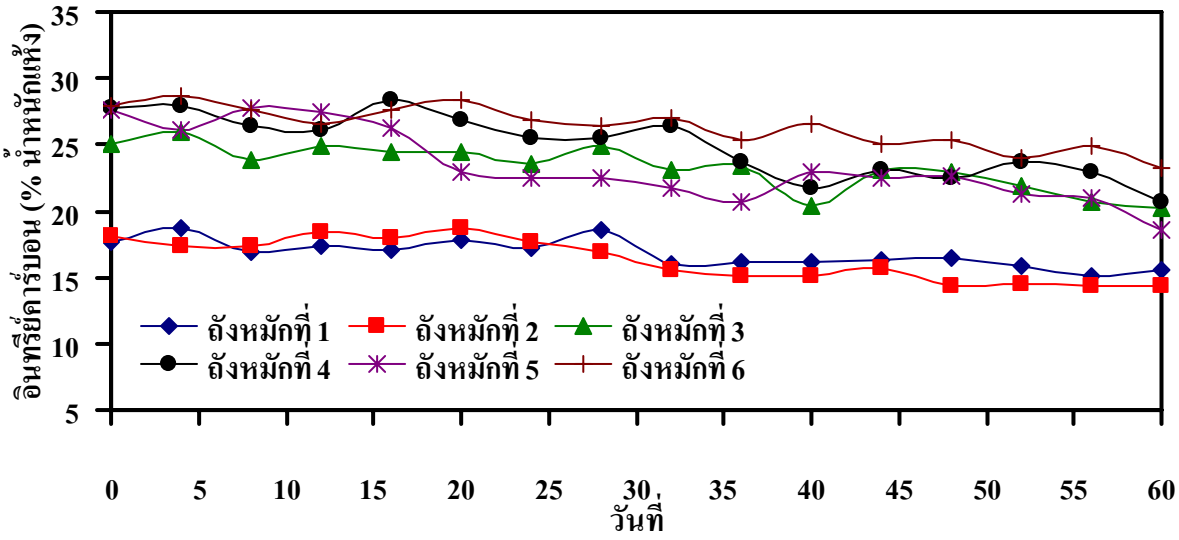
รูปที่ 3.32 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 4

3.5.4 ลักษณะทางเคมี ชุดการทดลองที่ 4

(1) อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)

แหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายคืออินทรีย์คาร์บอน ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึม จากผลการทดลองพบว่า ในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่าอินทรีย์คาร์บอนเริ่มต้นร้อยละ 17.7, 18.1, 25.1, 27.8, 27.6 และ 27.9 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักวันที่ 60 ในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ร้อยละของอินทรีย์คาร์บอนมี 15.6, 14.3, 20.2, 20.7, 18.6 และ 23.3 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ การลดลงของอินทรีย์คาร์บอนในทุกถังหมักนั้น เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้อินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และได้ปลดปล่อยแร่ธาตุต่างๆ ออกมา

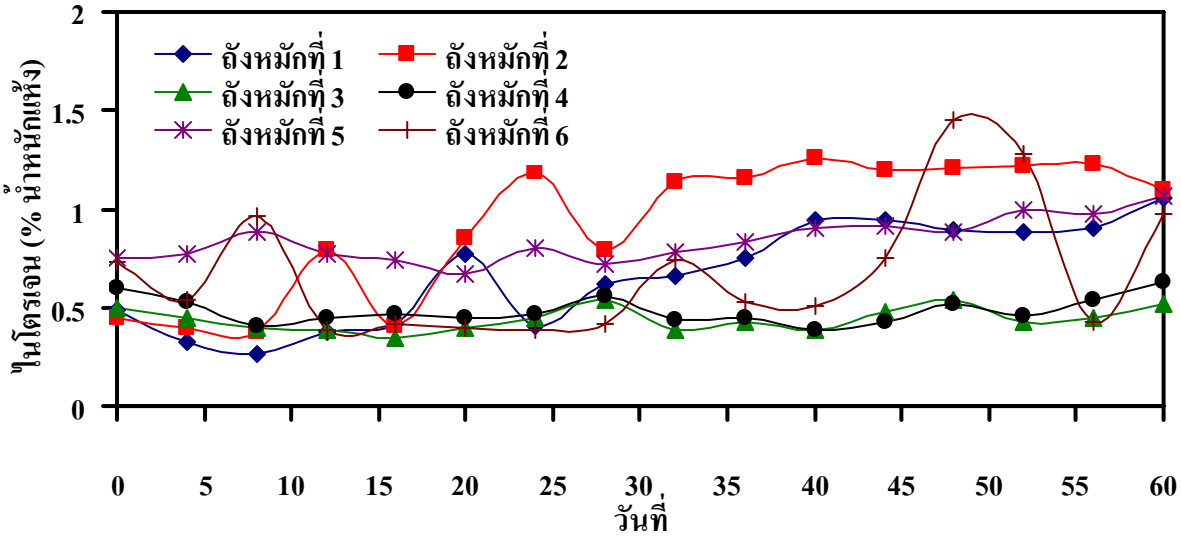
ในขณะที่ Alexander (1961) รายงานว่า อินทรีย์คาร์บอนที่ใช้เป็นสารตั้งต้นนั้นควรมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 20-40 ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้ในการเพิ่มจำนวนเซลล์ ส่วนคาร์บอนที่เหลือจะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 3.33 การเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 4

(2) ไนโตรเจนทั้งหมด (Nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นผลที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีนของแบคทีเรียและอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ไนโตรเจนสูญเสียสู่บรรยากาศ (Zucconi และ Bbetroldi, 1998) ธาตุไนโตรเจนปกติจะมีอยู่ในอากาศในรูปของก๊าซไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก แต่ไนโตรเจนในอากาศในรูปของก๊าซนั้น พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ (ยกเว้นพืชตระกูลถั่วเท่านั้นที่มีระบบรากพิเศษสามารถแปรรูปก๊าซไนโตรเจนจากอากาศเอามาใช้ประโยชน์ได้) ธาตุไนโตรเจนที่พืชทั่วไปดึงมาใช้ประโยชน์ได้นั้น ต้องอยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น แอมโมเนียมไอออนและไนเตรทไอออน ธาตุไนโตรเจนในดินที่อยู่ในรูปเหล่านี้จะมาจากการสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งปลดปล่อยโดยจุลินทรีย์ จากผลการทดลองพบว่า ร้อยละของไนโตรเจนเริ่มต้นในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่า 0.5, 0.5, 0.5, 0.6, 0.8 และ 0.7 ตามลำดับ จากนั้นระหว่างกระบวนการหมักไนโตรเจนก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น และเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักในวันที่ 60 ไนโตรเจนมีค่าร้อยละ 1.1, 1.1, 0.5, 0.6, 1.1 และ 1.0 ตามลำดับ (รูปที่ 3.34) ซึ่งมาตรฐานของธาตุไนโตรเจนที่กรมพัฒนาที่ดิน (2548) แนะนำคือไม่ต่ำกว่าร้อยละ 1.0 พบว่าในถังหมักที่ 1, 2, 5 และ 6 มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่สำหรับถังหมักที่ 3 และ 4 ไม่ผ่านมาตรฐาน



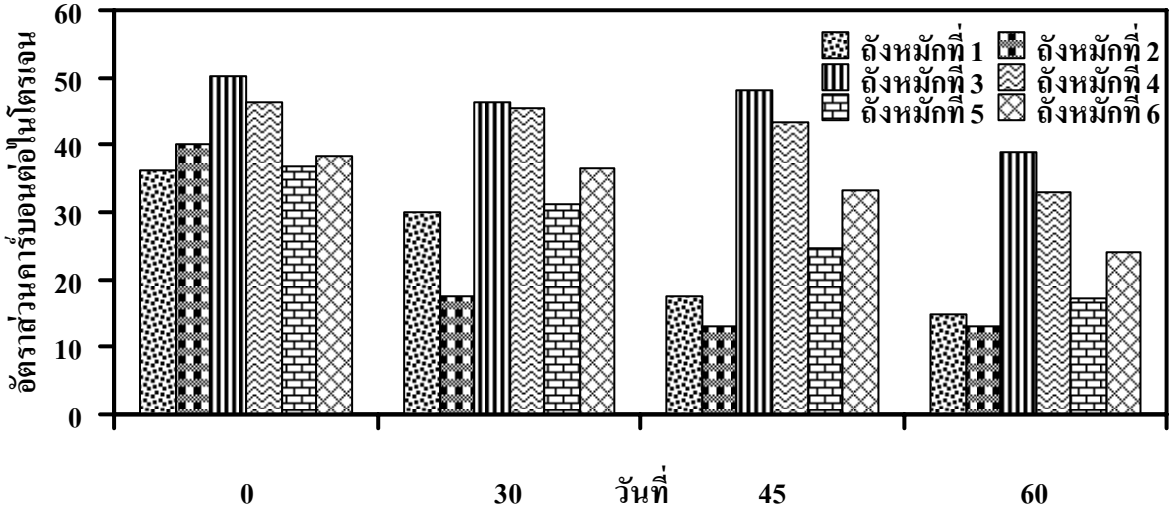
รูปที่ 3.34 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก ในชุดการทดลองที่ 4

(3) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญสำหรับการทำปุ๋ยหมัก โดยจะนำไปใช้ในการพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมัก และช่วยควบคุมอัตราการย่อยสลายระหว่างการหมัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) กล่าวว่า ปกติแบคทีเรียจะดูดซับคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์เข้าไปในเซลล์ 10-15 หน่วย ต่อสารประกอบไนโตรเจน 1 หน่วย ขณะที่ Haug (1980) ได้กล่าวว่า จุลินทรีย์ต้องการอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15-30:1 เพื่อให้เกิดความสมดุลของสารประกอบในเซลล์ ดังนั้นจึงควรควบคุมให้สารประกอบทั้ง 2 ของวัตถุดิบมีค่าใกล้เคียงต่อความต้องการของแบคทีเรีย เพื่อให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี

จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของถังหมักที่ 1 มีค่า 36.1, 30.1, 17.4 และ 14.8 ตามลำดับ ถังหมักที่ 2 มีค่า 40.2, 17.6, 13.1 และ 13.0 ตามลำดับ ถังหมักที่ 3 มีค่า 50.1, 46.2, 48.2 และ 38.8 ตามลำดับ ถังหมักที่ 4 มีค่า 46.4, 45.6, 43.3 และ 32.9 ตามลำดับ ถังหมักที่ 5 มีค่า 36.8, 31.3, 24.7 และ 17.4 ตามลำดับ และถังหมักที่ 6 มีค่า 38.2, 36.5, 33.4 และ 24.0 ตามลำดับ (รูปที่ 3.35) พบว่า ทั้ง 6 ถังหมักค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าลดลง เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนถูกใช้เพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ และปลดปล่อยให้ธาตุอาหารออกมา เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นต้น ทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง และมาตรฐานจากคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (2548) ควรมีค่าต่ำ

กว่า 20 ซึ่งพบว่าถังหมักที่ 1, 2 และ 5 ผ่านมาตรฐาน ส่วนในถังหมักที่ 3, 4 และ 6 อาจจะต้องใช้ระยะเวลานานกว่า 60 วัน



รูปที่ 3.35 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวันที่ 0, 30, 45 และ 60

3.5.5 ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก ชุดการทดลองที่ 4

หลักการที่ใช้พิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมักคือ ข้อกำหนดที่บ่งบอกว่าปุ๋ยหมักได้ที่ได้ผ่านกระบวนการหมักอย่างเสร็จสมบูรณ์ เมื่อนำไปใส่ในดินแล้วไม่มีผลเสียต่อดินและพืช เมื่อถึงระยะสิ้นสุดกระบวนการหมักในวันที่ 60 ปริมาณความชื้นในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่าร้อยละ 42.7, 37.6, 54.9, 51.0, 55.2 และ 59.7 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่กรมพัฒนาที่ดิน (2548) แนะนำนั้นต้องมีปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ไม่เกินร้อยละ 35 ซึ่งจากการทดลองพบว่า ทั้ง 6 ถังหมักนั้นมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน แต่ค่าที่ได้จากการทดลองนี้ยังไม่ผ่านขั้นตอนการบ่ม ซึ่งมีการสูญเสียความชื้นในขั้นตอนนี้อีกครั้งหนึ่ง

ค่าความเป็นกรด-ด่างนั้น กรมพัฒนาที่ดิน (2548) กำหนดให้อยู่ในช่วง 5.5-8.5 ผลจากการทดลองพบว่า ทุกถังหมักผ่านมาตรฐานโดยมีค่าในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 คือ 7.5, 7.5, 7.9, 7.7, 7.0 และ 6.0 ตามลำดับ และปริมาณอินทรียวัตถุ กำหนดให้มีค่าไม่น้อยว่าร้อยละ 30 จากผลการทดลองพบว่า ในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่าร้อยละ 26.9, 24.7, 34.8, 35.7, 32.1 และ 40.2 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ถังหมักที่ 3, 4, 5 และ 6 ผ่านมาตรฐาน ส่วนถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน

อัตราส่วนคาร์บอนเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการหมักควรมีค่าต่ำกว่า 20:1 ตามลำดับ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่า 14.8, 13.0, 38.8, 32.9, 17.4 และ 24.0 ตามลำดับ ในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 โดยถังหมักที่ผ่านมาตรฐานคือ ถังหมักที่ 1, 2 และ 5

ธาตุอาหารมีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช กรมพัฒนาที่ดิน (2548) กำหนดให้มีค่า ไนโตรเจน (N)-ฟอสฟอรัส (P_2O_5)-โปแทสเซียม (K_2O) ในปุ๋ยหมักร้อยละ 1.0-0.5-0.5 ตามลำดับ จึงได้วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักที่สำคัญคือ ธาตุไนโตรเจน ควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 1 จากการทดลองพบว่า ถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่าร้อยละ 1.1, 1.1, 0.5, 0.6, 1.1 และ 1.0 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งถังที่ผ่านมาตรฐานคือ ถังหมักที่ 1, 2, 5 และ 6 ส่วนธาตุฟอสฟอรัส (P_2O_5) ควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 0.5 จากการทดลองพบว่า ถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่าร้อยละ 0.3, 0.8, 2.2, 2.1, 0.5 และ 2.7 ตามลำดับ ซึ่งถังหมักที่ผ่านมาตรฐานคือ ถังหมักที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ยกเว้นถังหมักที่ 1 และธาตุโปแทสเซียม (K_2O) ควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 0.5 จากการทดลองพบว่า ถังหมักที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่าร้อยละ 0.3, 0.1, 2.0, 2.4, 0.7 และ 0.8 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งถังหมักที่ 1 และ 2 ไม่ผ่านมาตรฐาน ส่วนถังหมักที่ 3, 4, 5 และ 6 ผ่านมาตรฐาน

U.S. EPA (1999) ได้กำหนดมาตรฐานของเชื้อโรค 2 สายพันธุ์ ในปุ๋ยหมักเพื่อการขายหรือการบรรจุต้องมีปริมาณ Fecal Coliforms ไม่เกิน 1,000 MPN/g และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และในถังหมักที่ 5 ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ ส่วนเชื้อ *Salmonella* sp. มาตรฐานกำหนดไว้ว่า จะต้องไม่พบเชื้อ *Salmonella* sp. ในผลิตภัณฑ์ที่ได้ ผลการวิเคราะห์ในถังหมักที่ 1 และ 2 ผ่านมาตรฐาน ส่วนถังหมักที่ 3, 4, 5 และ 6 ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

(1) ธาตุอาหาร (Nutrient)

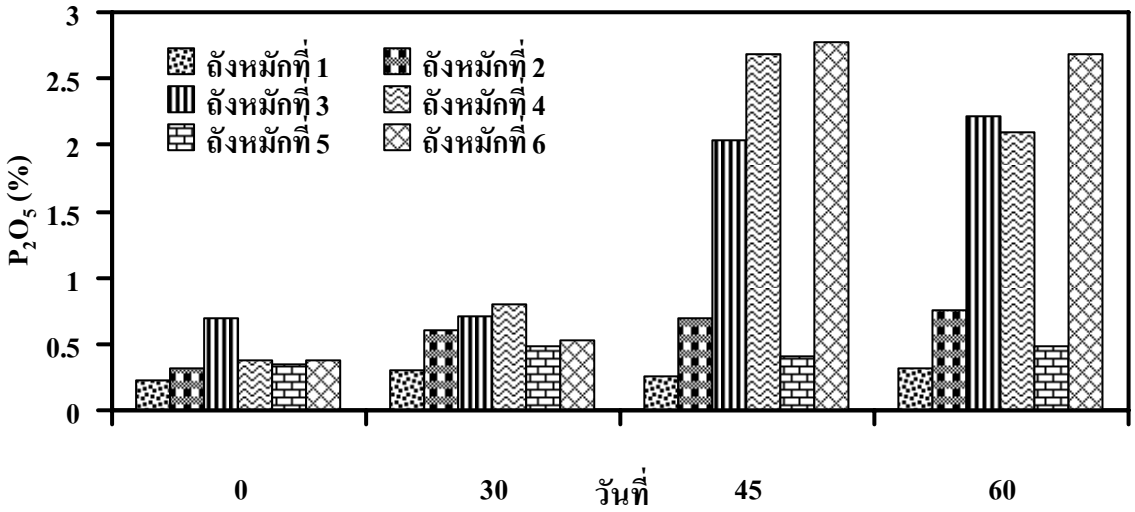
เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์สารจะปลดปล่อยธาตุอาหารของพืชออกมาโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง อีกทั้งพืชยังสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ได้อย่างต่อเนื่อง และค่อยๆ ปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ในระยะยาว (ศุภมาศ, 2529)

1.1) ธาตุอาหารหลัก

- ฟอสฟอรัส (P_2O_5)

จากการทดลองพบว่าฟอสฟอรัส (P_2O_5) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของถังหมักที่ 1 มีค่า 0.2, 0.3, 0.3 และ 0.3 ตามลำดับ, ถังหมักที่ 2 มีค่า 0.3, 0.6, 0.7 และ 0.8 ตามลำดับ, ถังหมักที่ 3 มีค่า 0.7, 0.7, 2.0 และ 2.2 ตามลำดับ, ถังหมักที่ 4 มีค่า 0.4, 0.8, 2.7 และ 2.1 ตามลำดับ, ถังหมักที่ 5 มีค่า 0.3, 0.5, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ และถังหมักที่ 6 มีค่า 0.4, 0.5, 2.8 และ 2.7 ตามลำดับ (รูปที่

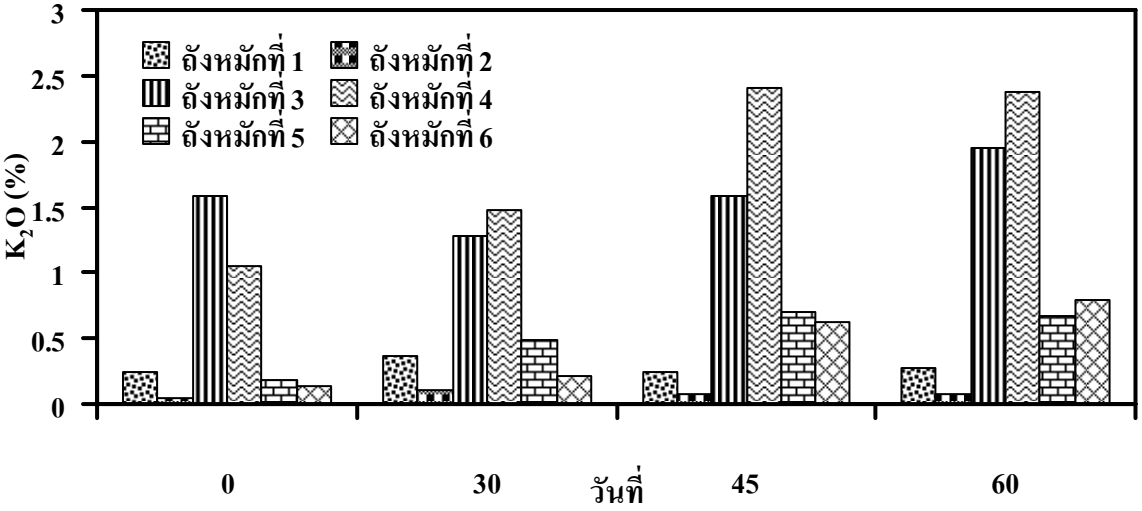
3.36) ซึ่งมาตรฐานของปุ๋ยหมักที่ดีที่กรมพัฒนาที่ดิน (2548) กำหนดคือ ฟอสฟอรัสควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 0.5 เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักในวันที่ 60 พบว่าถังหมักที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ผ่านมาตรฐาน



รูปที่ 3.36 การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัส (% P_2O_5) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60

- โปแทสเซียม (K_2O)

จากการทดลองพบว่า ธาตุโปแทสเซียม (K_2O) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของถังหมักที่ 1 มีค่า 0.24, 0.36, 0.24 และ 0.28 ถังหมักที่ 2 มีค่า 0.05, 0.10, 0.07 และ 0.08 ถังหมักที่ 3 มีค่า 1.59, 1.28, 1.59 และ 1.95 ถังหมักที่ 4 มีค่า 1.05, 1.48, 2.40 และ 2.37 ถังหมักที่ 5 มีค่า 0.19, 0.49, 0.70 และ 0.67 และถังหมักที่ 6 มีค่า 0.14, 0.22, 0.63 และ 0.79 ตามลำดับ (รูปที่ 3.37) ซึ่งมาตรฐานโปแทสเซียมที่กรมพัฒนาที่ดิน (2548) กำหนดคือ ควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 0.5 เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักในวันที่ 60 พบว่าถังหมักที่ 3, 4, 5 และ 6 ผ่านมาตรฐาน การเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารนั้น เนื่องจากการที่มวลของวัสดุหมักมีปริมาณลดลง ดังนั้นจึงทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารเพิ่มสูงขึ้น



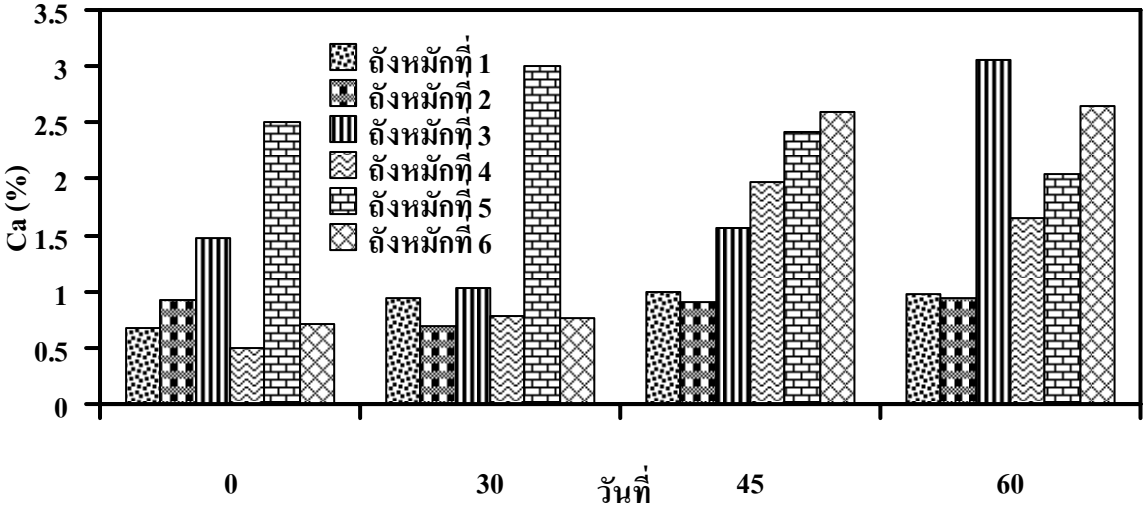
รูปที่ 3.37 การเปลี่ยนแปลงโปแทสเซียม (% K_2O) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60

1.2) ธาตุอาหารรอง

การใช้ธาตุอาหารรองมีการใช้น้อยมาก ถึงแม้ธาตุอาหารรองมีความสำคัญน้อย เนื่องจากพืชนำไปใช้น้อย แต่ก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งด้านสรีรวิทยา และคุณภาพ

- แคลเซียม (Ca)

แคลเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่มีความสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยประโยชน์ของแคลเซียมเช่น ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน, ช่วยให้อินทรียวัตถุสลายตัวช้าลงเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์มากขึ้น และทำให้พืชแข็งแรง ทนทานต่อการระบาดของศัตรูพืช เป็นต้น (http://www.doae.go.th/report/last/bt64.htm) จากการทดลองพบว่าแคลเซียม (Ca) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของถังหมักที่ 1 มีค่า 0.67, 0.95, 0.99 และ 0.97 ถังหมักที่ 2 มีค่า 0.93, 0.70, 0.90 และ 0.95 ถังหมักที่ 3 มีค่า 1.48, 1.03, 1.57 และ 3.06 ถังหมักที่ 4 มีค่า 0.49, 0.79, 1.98 และ 1.66 ถังหมักที่ 5 มีค่า 2.51, 3.01, 2.41 และ 2.04 และถังหมักที่ 6 มีค่า 0.71, 0.76, 2.59 และ 2.65 ตามลำดับ (รูปที่ 3.38) โดยปริมาณธาตุแคลเซียมในถังหมักที่ 1, 3, 4 และ 6 มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุหมัก และปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ออกมา ถังหมักที่ 2 ปริมาณแคลเซียมมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจากปริมาณในวัสดุหมักเริ่มต้น และถังหมักที่ 5 พบว่าปริมาณแคลเซียมมีค่าลดลง

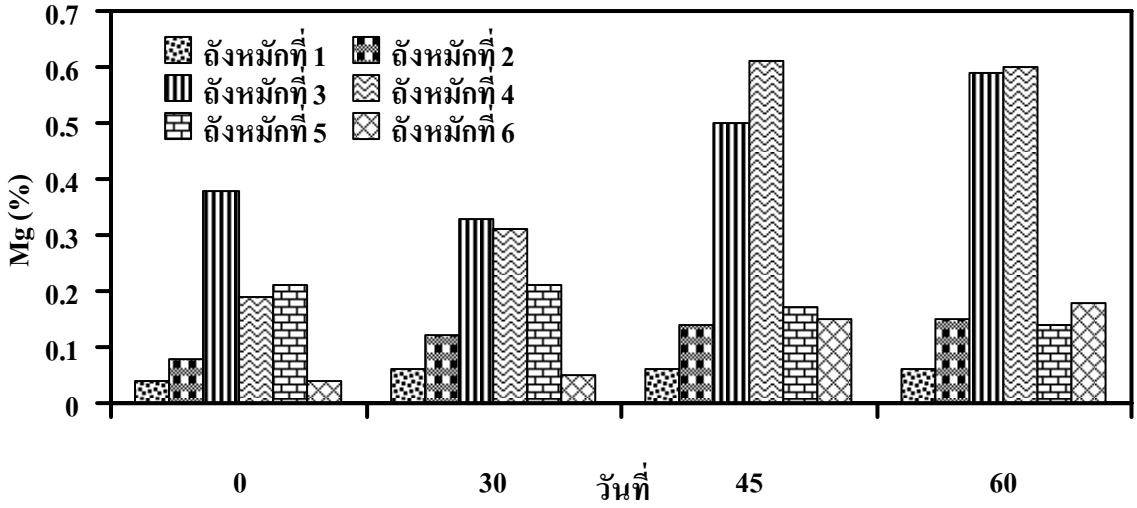


รูปที่ 3.38 การเปลี่ยนแปลงแคลเซียม (% Ca) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60

- **แมกนีเซียม (Mg)**

แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายธาตุฟอสฟอรัสเข้าไปในเมล็ด พบว่าธาตุแมกนีเซียมจะทำงานร่วมกับแคลเซียมในการหมุนเวียนธาตุอาหาร ขณะเดียวกันช่วยเร่งสร้างน้ำมันและไขมัน ถ้าพืชขาดธาตุนี้ อาการที่เกิดจะเริ่มที่ใบแก่ก่อนส่วนอื่น คือ ใบจะสูญเสียคลอโรฟิลล์โดยมีลักษณะเป็นดวงระหว่างเส้นใบ และจะตายในที่สุด (http://www.lks.ac.th/student/kroo_su/chem10/note15.html)

จากการทดลองพบว่าแมกนีเซียม (Mg) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของถังหมักที่ 1 มีค่า 0.04, 0.06, 0.06 และ 0.06 ถังหมักที่ 2 มีค่า 0.08, 0.12, 0.14 และ 0.15 ถังหมักที่ 3 มีค่า 0.38, 0.33, 0.50 และ 0.59 ถังหมักที่ 4 มีค่า 0.19, 0.31, 0.61 และ 0.60 ถังหมักที่ 5 มีค่า 0.21, 0.21, 0.17 และ 0.14 และถังหมักที่ 6 มีค่า 0.04, 0.05, 0.15 และ 0.18 ตามลำดับ (รูปที่ 3.39) ถังหมักที่ 2, 3, 4 และ 6 ปริมาณแมกนีเซียมมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนถังหมักที่ 1 ปริมาณแมกนีเซียมค่อนข้างไม่เปลี่ยนแปลง และในถังหมักที่ 5 ปริมาณแคลเซียมมีค่าลดลงจากวัสดุเริ่มต้น



รูปที่ 3.39 การเปลี่ยนแปลงแมกนีเซียม (% Mg) ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60

(2) เชื้อโรค

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นจะต้องปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์และพืช จากการทดลองได้ทำการวิเคราะห์ Fecal Coliforms วันที่ 0, 30, 45 และ 60 ดังตารางที่ 3.21 ซึ่งเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักในวันที่ 60 ในถังหมักที่ 1, 2, 3 และ 4 ไม่พบเชื้อ Fecal Coliforms ส่วนในถังหมักที่ 6 มีปริมาณ Fecal Coliforms 240 MPN/g และถังหมักที่ 5 ไม่ได้วิเคราะห์ ผลที่ได้พบว่า ในทุกถังหมัก (ยกเว้นถังหมักที่ 5) มีปริมาณ Fecal Coliforms ลดลงจากปริมาณเชื้อเริ่มต้นในวัสดุหมักผสม และมีค่าผ่านมาตรฐานที่ U.S. EPA (1999) กำหนดคือ ต้องมีค่าไม่เกิน 1,000 MPN/g

ตารางที่ 3.21 ผลการวิเคราะห์ Fecal Coliforms ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของชุดการทดลองที่ 4

	Fecal Coliforms (MPN/g)					
วันที่	**ถังหมักที่ 1**	**ถังหมักที่ 2**	**ถังหมักที่ 3**	**ถังหมักที่ 4**	**ถังหมักที่ 5**	**ถังหมักที่ 6**
0	> 1,100	1,100	> 1,100	> 1,100	-	> 1,100
30	ไม่พบ	9.2	75	ไม่พบ	-	> 1,100
45	ไม่พบ	9.2	ไม่พบ	43	-	240
60	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	240

หมายเหตุ: - คือ ไม่ได้วิเคราะห์

ส่วนเชื้อ *E. coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Fecal Coliforms ทำการวิเคราะห์ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 3.22 เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก ผลการทดลองที่ได้คือ ไม่พบเชื้อดังกล่าวในถังหมักที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ส่วนถังหมักที่ 6 มีค่า 21 MPN/g ตามลำดับ

ตารางที่ 3.22 ผลการวิเคราะห์ *E. coli* ในวันที่ 0, 30, 45 และ 60 ของชุดการทดลองที่ 4

	***E. coli* (MPN/g)**					
วันที่	**ถังหมักที่ 1**	**ถังหมักที่ 2**	**ถังหมักที่ 3**	**ถังหมักที่ 4**	**ถังหมักที่ 5**	**ถังหมักที่ 6**
0	ไม่พบ	210	> 1,100	> 1,100	-	> 1,100
30	ไม่พบ	3.6	ไม่พบ	ไม่พบ	-	11,100
45	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3.6
60	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	21.0

หมายเหตุ: - คือ ไม่ได้วิเคราะห์

3.5.6 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของชุดการทดลองที่ 4 เทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีของกรมพัฒนาที่ดิน (2548)

ชุดการทดลองที่ 4 ทำการทดลอง 6 ถังหมัก เพื่อวัสดุหมักร่วมที่เหมาะสมสำหรับการหมักร่วมกับของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง โดยแต่ละถังหมักจะมีชนิดของของเสียที่นำมาหมักร่วมแตกต่างกัน ลักษณะทางกายภาพพบว่า ถังหมักที่ 1, 2, 3 และ 5 นั้นมีลักษณะมีวัสดุหมักเป็นเนื้อเดียวกัน โดยที่ถังหมักที่ 1 มีสีน้ำตาล, ถังหมักที่ 2 และ 3 มีสีน้ำตาลดำ และถังหมักที่ 5 มีสีดำ ส่วนถังหมักที่ 4 มีผักตบชวาที่ยังย่อยสลายไม่หมด อยู่เล็กน้อย แต่ถังหมักที่ 6 นั้นการยังมีลักษณะของผักตบชวาอย่างชัดเจน ระหว่างกระบวนการหมักนั้นไม่เกิดกลิ่นเหม็น

ความชื้นทั้ง 6 ถังหมักไม่ผ่านมาตรฐาน ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้าผ่านมาตรฐานทุกถังหมัก ค่าอินทรียวัตถุที่ผ่านมาตรฐานคือ ถังหมักที่ 3, 4, 5 และ 6 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ผ่านมาตรฐานคือ ถังหมักที่ 1, 2 และ 5 ธาตุไนโตรเจนที่ผ่านมาตรฐานคือ ถังหมักที่ 1, 2, 5 และ 6 ธาตุฟอสฟอรัสที่ผ่านมาตรฐานคือ ถังหมักที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 และธาตุโปแทสเซียมที่ผ่านมาตรฐานคือ ถังหมักที่ 3, 4, 5 และ 6 (ตารางที่ 3.23)

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 ถังหมักในวันที่ 60 เปรียบเทียบกับมาตรฐานของปุ๋ยหมักที่ดีที่กรมพัฒนาที่ดินได้แนะนำไว้นั้นพบว่า ถังหมักที่ 5 ซึ่งเป็นการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง, ตะกอนน้ำเสียชุมชน และผักตบชวา ในอัตราส่วน 2:1:1 ตามลำดับ มีค่า

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 17.4 และปริมาณธาตุอาหาร $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ มีค่า 1.1-0.5-0.7 ซึ่งค่าที่ได้ผ่านมาตรฐาน

ตารางที่ 3.23 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติระหว่างผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของชุดการทดลองที่ 4 และเกณฑ์มาตรฐานกรมพัฒนาที่ดิน (2548)

ลักษณะสมบัติ	มาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดี	ถังหมักที่					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
- ความชื้น (ร้อยละ)	ไม่เกิน 35	42.7	37.6	54.9	51.0	55.2	59.7
- การนำไฟฟ้า (dS/m)	ไม่เกิน 6	0.85	1.21	7.87	7.66	1.50	4.00
- พลาสติก แก้ว และโลหะ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
- อินทรียวัตถุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 30	26.9	24.7	34.8	35.7	32.1	40.2
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20	14.8	13.0	38.8	32.9	17.4	24.0
- ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 1.0	1.1	1.1	0.5	0.6	1.1	1.0
- ฟอสฟอรัส (P_2O_5) (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.3	0.8	2.2	2.1	0.5	2.7
- โปแทสเซียม (K_2O) (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.3	0.1	2.0	2.4	0.7	0.8
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.5-8.5	7.5	7.5	7.9	7.7	7.0	6.0
- เชื้อโรค*							
Fecal Coliforms (MPN/g)	ไม่เกิน 1,000	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	240
Salmonella sp. (MPN/4g)	ไม่เกิน 3	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-	-

หมายเหตุ: - คือ ไม่ได้วิเคราะห์ และ * มาตรฐานจาก U.S. EPA (1999)

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุป

จากการศึกษาการนำของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาหมักปุ๋ย จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้นสรุปได้ดังนี้ ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง และมีค่าความชื้นค่อนข้างต่ำ ซึ่งหากต้องการนำมาหมักปุ๋ย ต้องหาวัสดุหมักร่วมที่มีไนโตรเจนสูง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เช่น ตะกอนน้ำเสียชุมชน ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล ผักตบชวา และเปลือกผลไม้ เป็นต้น การทดลองแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ซึ่งแต่ละชุดการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ชุดการทดลองที่ 1

ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งร่วมกับตะกอนน้ำเสียชุมชน และผักตบชวา คือ 60 วัน เนื่องจากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 17.4 มาตรฐานคือ ควรมีค่าไม่เกิน 20 ส่วนธาตุอาหารหลัก N-P_2O_5-K_2O มีค่าร้อยละ 1.1-0.5-0.7 ตามลำดับ ค่ามาตรฐานคือ ควรมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 ตามลำดับ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ผ่านมาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีตามที่กรมพัฒนาที่ดิน (2548) กำหนด

2) ชุดการทดลองที่ 2

ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งสามารถย่อยสลายได้ และจากการเปรียบเทียบถังหมักที่ 1 มีไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และถังหมักที่ 2 มีการเติมสารเร่ง พด.1 ผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากสารเร่ง พด.1 เป็นจุลินทรีย์คัดเฉพาะสำหรับย่อยสลายวัสดุทางการเกษตร จึงไม่มีผลต่อการย่อยสลายของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง ถึงแม้ว่าของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งนั้นสามารถย่อยสลายได้ แต่ก็มีข้อจำกัด เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้จะนานกว่าการหมักผสมกับวัสดุอื่นๆ และหลายพารามิเตอร์ที่ไม่ผ่านมาตรฐานสำหรับการเป็นปุ๋ยหมักที่ดี ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (2548) คือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักที่ 1 และ 2 ในวันที่ 60 มีค่า 34.0 และ 32.8 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานคือ 20 และปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอโดยค่ามาตรฐานกำหนดไว้คือ ควรมีค่า N-P_2O_5-K_2O ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 ซึ่งในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 0.48-0.21-0.02 และ 0.46-0.27-0.02 ตามลำดับ ธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ธาตุไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

3) ชุดการทดลองที่ 3

ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง หมักร่วมกับตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล และผักตบชวา โดยถังหมักที่ไม่เติม และเติมสารเร่ง พด.1 จากการเปรียบเทียบพบว่าถังหมักที่มีการเติมสารเร่ง พด.1 ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าคือ ในวันที่ 60 ถังหมักที่มีการเติมสารเร่ง พด.1 นั้น ผักตบชวาย่อยสลายเป็นเนื้อเดียวกันกับวัสดุอื่น แต่ในถังหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 พบว่าผักตบชวายังเป็นชิ้นชัดเจน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักที่ไม่เติมและเติมสารเร่ง พด.1 มีค่า 24.0 และ 13.7 ตามลำดับ ซึ่งถังหมักที่ 2 ซึ่งเติมสารเร่ง พด.1 ผ่านมาตรฐาน และปริมาณธาตุอาหารซึ่งค่ามาตรฐานกำหนดไว้คือ ควรมีค่า $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 โดยในถังหมักที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 1.0-2.7-0.8 และ 1.6-3.2-0.8 ตามลำดับ ธาตุอาหารทั้ง 3 ธาตุ ในทั้ง 2 ถังหมัก มีค่าผ่านมาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตามถังหมักที่ 2 นั้นให้ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าถังหมักที่ 1 และสารเร่ง พด.1 ช่วยลดระยะเวลาในการหมัก และช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้น

4) ชุดการทดลองที่ 4

ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง เมื่อนำมาหมักร่วมกับของเสียอินทรีย์ชนิดอื่น ดังนี้

ถังหมักที่ 1: ของเสียโรงงานยางแท่ง + เปลือกผลไม้

ถังหมักที่ 2: ของเสียโรงงานยางแท่ง + ตะกอนน้ำเสียชุมชน

ถังหมักที่ 3: ของเสียโรงงานยางแท่ง + มูลวัว

ถังหมักที่ 4: ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + มูลวัว

ถังหมักที่ 5: ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + ตะกอนน้ำเสียชุมชน

ถังหมักที่ 6: ของเสียโรงงานยางแท่ง + ผักตบชวา + ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล

สรุปได้ว่า ถังหมักที่ 5 มีความเป็นปุ๋ยหมักที่ดีมากที่สุดในชุดการทดลองที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินคือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 17.4 มาตรฐานคือ ควรต่ำกว่า 20 และปริมาณธาตุอาหารหลัก $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ มีค่าร้อยละ 1.1-0.5-0.7 ตามลำดับ มาตรฐานคือ ควรมีค่ามากกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5

ในการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งนั้น หากผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดี สามารถที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงคุณภาพดินได้ เนื่องจากมีอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ ถึงแม้ว่ามีปริมาณน้อยกว่ามาตรฐานก็ตามและหากธาตุอาหารหลักบางชนิดไม่เพียงพอ อาจนำธาตุอาหารสังเคราะห์เติมลงไประหว่าง

กระบวนการหมัก เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร และควรหมักของเสียโรงงานผลิตยางแท่งร่วมกับผักตบชวา และตะกอนน้ำเสียชุมชน

นอกจากนี้ยังเป็นการยืดอายุพื้นที่หลุมฝังกลบในการรองรับของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง และตะกอนน้ำเสีย เทคโนโลยีการหมักปุ๋ยที่ใช้ในการจัดการของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งนี้ ถือว่าเป็นวิธีการจัดการของเสียแบบยั่งยืน และผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ขนาดของถังหมักที่ใช้ในการทดลอง ควรจะมีปริมาตรมากกว่า 60 ลิตรที่ใช้อยู่ เนื่องจากขนาดของถังหมัก มีผลต่ออุณหภูมิของวัสดุหมักในถังหมัก

2. อาจมีการศึกษาชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในของเสียโรงงานผลิตยางแท่งเพิ่มเติม เพื่อคัดเลือกเป็นจุลินทรีย์คัดเฉพาะที่มีประโยชน์ต่อการย่อยสลายได้เร็วขึ้น

3. ตัวอย่างที่จะเก็บมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ นั้น พยายามทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด เพื่อความถูกต้องของผลการทดลอง

4. ควรเพิ่มการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมัก

บรรณานุกรม

กัลยา สุนทรวงศ์สกุล, 2537. อิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมจุลินทรีย์เนื่องจากการนำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ในการเกษตร. วารสารสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, 17(1): 68-96.

กิ่งกาญจน์ เทียมเวช, 2546. ผลของแคลเซียมคลอไรด์และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีต่อสมรรถนะของการหมักปุ๋ยจากผักตบชวาและใบไม้แห้ง. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กรมพัฒนาที่ดิน, 2548. การจัดการดินและพืชเพื่อปรับปรุงบำรุงดินอินทรียวัตถุต่ำ. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

คมสัน สัมพันธ์กิจ และสุรพงษ์ วัฒนะจีระ, 2547. การหมักปุ๋ยจากมูลสุกรกับเปลือกถั่วเหลืองด้วยอัตราส่วน 1:1 ในกล่องหมักที่มีการถ่ายเทอากาศตามธรรมชาติแห้ง. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 3, 28-30 มกราคม 2547, สงขลา.

จิณัฐตา วัดคำ และปวีณา ด่านกุล, 2540. การศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อใช้ปรับปรุงดิน. โครงงานนิสิตชั้นปีที่ 4, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิราณี วานิชกุล, 2538. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาเกษตรศาสตร์ สถาบันราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง, ราชบุรี.

จำเป็น อ่อนทอง, 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ชนกร วัชรปาณ, 2546. อิทธิพลของอัตราการเติมอากาศและกากตะกอนน้ำทิ้งในการทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนและมูลฝอยตลาดสด. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

ชนิดา ไกรขุนทศ, 2543. การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์และธาตุอาหารในกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชาติ เจียมไชยศรี, 2542. การจัดการมูลฝอย ในเอกสารประกอบการบรรยายสำหรับการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การจัดการมูลฝอยและของเสียอันตราย, วันที่ 25-31 ม.ค. 2542, ม.ป.ท. : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, เสมอขวัญ ตันติกูล, ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และแสนวสันต์ ยอดคำ, 2547. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมสำหรับชุมชนด้วยระบบกองเติมอากาศ. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 3, 28-30 มกราคม 2547, สงขลา.

นันทพร วิเศษสมบัติ และพัฒนา อนุรักษ์พงศธร, 2548. การใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย RBC เป็นวัสดุร่วมในการทำปุ๋ยหมัก. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

บัญจรัตน์ โจลานันท์, มลชยา ปานพาน, รสสุคนธ์ จะวะนะ และ อนุรักษ์ จีนทอง, 2551. การปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ช่วงปานกลาง-สูง สำหรับการหมักปุ๋ยอินทรีย์เชิงพานิชย์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 31 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2551. เชียงใหม่.

ประพนธ์ เขมดำรง และ กิ่งกาญจน์ เทียมเวช, 2547. ผลของแคลเซียมคลอไรด์และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีผลต่อสมรรถนะของการหมักปุ๋ยจากผักตบชวาและใบไม้แห้ง. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 3, 28-30 มกราคม 2547, สงขลา.

ประโสด ธรรมเขต, 2540. การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช ปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน. กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

ปรัชญา ธัญญาดี, 2524. การทำปุ๋ยหมักของผักตบชวา. วารสารพัฒนาที่ดิน 19(194), หน้า 6-15.

ทัศนีย์ อัตตนันทน์, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และสุรเดช จินตกานนท์, 2532. แบบฝึกหัดและคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐวีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง, 2530. องค์ประกอบของผักตบชวา. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 15 ฉบับที่ 4, ต.ค.-ธ.ค., หน้า 217-223.

พูนศักดิ์ จันทร์จำปี, 2541. การหมักปุ๋ยจากเศษอาหารและวัสดุเหลือใช้การเกษตรแบบเทอร์โมฟิลิคแบบใช้ถังหมุน, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มุกดา สุขสวัสดิ์, 2543. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพ.

ยุพิน บุระคำ, 2544. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักผักตบชวาและปุ๋ยหมักกากตะกอนอ้อย. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม.

รุ่งนภา ทับหนองฮี, สมภพ สนองราษฎ, ประกิตติ์สิน สีหนนทน์ และ วิภาดา สนองราษฎร์, 2551. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์แบบเปิดและไม่เปิดเครื่องเป่าอากาศในถังหมักชีวภาพ. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 7, 12-14 มีนาคม 2551, กรุงเทพ.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2529. จุลินทรีย์วิทยาของดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร. ภาควิชาปฐวีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

สราวุธ จริตงาม, 2548. คู่มือและปฏิบัติการทดสอบดิน. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, พิมพ์ครั้งที่ 1

สิรินทรเทพ เต้าประยูร และเยาวลักษณ์ จันดาวงศ์, 2535. ความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์และการสร้างเอนไซม์ในการทำปุ๋ยหมัก. วารสารวิทยาศาสตร์ ปีที่ 20 ฉบับที่ 2, เม.ย.-มิ.ย. หน้า 33-40 มหาวิทยาขอนแก่น, ขอนแก่น.

สุภาพร จันรุ่งเรือง และปรัชญา ธัญญาดี, 2542. การผลิตปุ๋ยหมักจากวัชพืชน้ำ วารสารพัฒนาที่ดิน. ปีที่ 36 ฉบับที่ 374, ก.ค.-ก.ย., หน้า 23-31.

สุรพงษ์ วัฒนะจีระ, 2547. การจัดการขยะ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อนุชา เพียรชนะ, สุรัชดา ไชยชนะ และบวร ไชยยา, 2548. การศึกษาปริมาณของธาตุอาหารหลักจากปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักขยะมูลฝอยโดยใช้บ่อหมักแบบต่างๆ. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

อานุภาพ แก้วกอง, 2541. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้ง และกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศ. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2545. การใช้ประโยชน์กากตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลสำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดิน. สาขาการจัดการทรัพยากรดิน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

อุดมผล พืชน์ไพบูลย์, 2546. เทคนิคการวิเคราะห์น้ำ น้ำเสีย และขยะมูลฝอย. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

Alexander, M. 1961. Introduction to soil microbiology. Wiley, New York.

Anderson, J.M. and Ingram, J.S.I, 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. CAB International. Wallingford.

A.O.A.C 1998. official Method of Analysis of the Association of official Analytical Chemists, 15th ed. The Association of official Analytical Chemists Tns.

Atchley, S.H. and Clark, J.B., 1979. Variability of temperature, pH, moisture in an aerobic composting process. Appl. Environ. Microbiol., 38(6): 1040-1044.

Beffa, T., 1996. Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting. In de Bertodi, M et al., The Science of Composting : Part I (pp. 149-161), London : Chapman&Hall.

Bertoldi, M., Villini G. and Pera A., 1983. The biology of composting : A review. Waste manage and res. 1 : 157-176.

Blobaum, R., 1975. China recycles the wastes by using them on the land. Compost Sci./Land Util., 16(5): 16-17.

Boyd, R.F., 1984. General Microbiology. VA : Time Mirror/Mosby College Publishing.

Brunt, L.P., 1961. Composting treatment of town wastes. Compost Engineers Ltd., London.

Carlyle, R.E. and Norman, A.G., 1941. Microbial thermogenesis in decomposition of plant materials, Part II – Factors Involved. J. Bacteriol., 41: 699.

Cecil, F. and Tester C.F., 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:827-837.

Chefetz, B., Adani F., Genevini P., Tambone F., Hadar Y., and Chen Y., 1998. "Humic acid transformation during composting of municipal solid waste", Journal of Environmental Quality, 27: pp.794-800.

Clark, C.S., Buckinghay, C.O., Charbonneau, R. and Clark, R.H., 1978. Laboratory scale composting studies. J. Environ. Eng. Div.-Proc. ASCE, 104(EE1): 47-59.

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

Day, D.L., Krzymien M., Shaw K., Zaremba W.R., Wilson C., Botden C., and Thomas B., 1998. An investigation of the chemical and physical changes occurring during commercial composting. Compost Science and Utilization 6 (2): 44-66.

Epstein, E., 1997. The science of composting. Technomic Publishing, Inc., Lancaster, Pennsylvania, p. 83.

Finstein, 1986. Waste treatment composting as a controlled system. In Rehm et al., Biotechnology : A comprehensive treatise in 8 volumes : Volume 8, Microbial Degradations, Weinheim : Verlagsangabe Ver. Chemie.

Gaur, A.C., 1980. Fundamentals of composting. Compost technol. Project field document. 13 : 7-14.

Golueke, C.G., 1977. Biological reclamation of solid wastes. Rodale Press, Emmaus, PA.

Golueke, C.G., 1981. Selection and adaption of a compost system, composting, theory and practice for city, industry and farm, The J.G. press, U.S.A., : 76-85.

Gotaas, H.B., 1956. Composting: sanitary disposal and reclamation of organic wastes. WHO Monograph Series No. 31, Switzerland.

Gray, K.R., Sherman, K. and Biddlestone, A.J., 1971[a]. A review of composting, Part I. Process Biochem, 6(6): 32-36.

Gray, K.R., Sherman, K. and Biddlestone A.J., 1971[b]. A review of composting, Part II. The practical process, Process Biocheministry, 6(10): 22-28.

Hagerty J.D., Pavoni J.L. and Heer J.E., 1973. Solid waste management, Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA.

Hamoda, M. F., Abu Qdais H.A. and Newham J., 1998. Evaluation of municipal solid waste composting kinetics. Resources, Conservation and Recycling, 23: 209-223.

Haug, R.T., 1980. Compost engineering: principles and practice". Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan, U.S.A.

Haug, R.T., 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Boca Raton : Lewis Publisher.

Hovsenius, G., 1975. Composting and the use of compost in Sweden. Water Pollut. Control Fed. J., 47(4): 741-747.

Howard, L.E., 1953. Sir Albert Howard in India. Faber & Faber, London.

Howe, C.A. and Coker C.S., 1992. Co-composting municipal sewage sludge with leaves, yard wastes and other recyclables a case study. In: Air Waste Management Association. 85th Annual Meeting and Exhibition, Kansas City, Missouri, 21-26 June 1992.

Jeris, J.S., and Regan R.W., 1973. Controlling environmental parameters for optimum composting, Part I, II, III. Compost Sci., 14(1): 10-17, 14(2): 8-15, 14(3): 16-21.

Kaiser, J., 1996. Modeling composting as a microbial ecosystem: a simulation approach. Ecological Modeling, 91 25-37.

Kapetanios, E., Loizidou, M. and Valkanas, G., 1993. Compost production from domestic refuse. Bioresource Technology.

Knoll, K.H., 1959. Composting from the hygienic viewpoint. Intl Res. Group on Refuse Disposal Inf. Bull., (7): 142-144.

Kochtitzky O.W., Seaman W.K. and Wiley J.S., 1969. Municipal composting research at Johnson City, Tennesse. Compost Sci., 9(4): 5-16.

Liao, P.H., May, A.C. and Chieng S.T. 1995. Monitoring process efficiency of full-scale in vessel system for composting fisheries wastes. Bioresource Technology.

Lobe, F. and Novak B., 1964. Effect of single heating on further digestion of the compost, Intl Res. Group of Refuse Disposal Inf. Bull., (22): 44-50.

McGauhey, P.H., Golueke, C.G., 1953. Reclamation of municipal refuse by composting, Tech. Bull. No. 9, Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkley.

McKinley, V. L., Vestal J.R. and Eralp A.E., 1985. Microbial activity in composting. Biocycle 26 (10): 47-50.

Miller, F.C., 1992. Compost as a process based on the control of ecologically selective factor. In Miller, F.C., Soil Microbiology (pp 515-544), NJ : Marcel Dekker.

Mote, C.R. and Griffis, C.L., 1979. A system for studying the composting process. Agric. Wastes, 1(3): 191-203.

Naylor, L. M., 1996. Composting. Environmental and Science and Pollution series 18 (69): 193-269.

Neto, J. T. P., Stentiford E.I. and Mara D.D., 1987. Comparative survival of pathogenic indicators in windrow and static pile. pp. 276-295. In: M.de Bertoldi, M. P. Ferranti, P. L' Hermite and F. Zucconi (eds.). Compost: Production, Quality and Use. Elsevier Applied Science, London, United Kingdom.

Pace, M.G., Miller B.E. and Farrel-Poe K.L., 1995. The Composting Process October 1995. Extension, Utah State University. AG- WM 01.

Palmisano, A.C. and Bartaz M.A.., 1996. pp.125-127. In: Microbiology of solid waste. CRC Press.Inc. 2000. Corporate Bld. N.W. Boca Raton. FL 33431 USA.

Palmisano, A. C., Maruscik D.A., Ritchie C.J., Schwab B.S., Harper S.R. and Rapaport R.A., 1993. A novel bioreactor simulating composting of municipal solid waste. Journal of Microbiological Methods 56:135-140.

Peter, J. Stoffella and Brain A. Kahn., 2001. Compost utilization in horticultural cropping systems. Lewis publishers, United states of America.

Poincelot, R.P., 1975. The biochemistry and methodology of composting. The connecticut agricultural experiment station. New Haven Bulletin. 754 : 1-17.

Polprasert, C., 1996. Organic waste recycling, John Wiley & Sons, 2nd edition, England.

Rabbani, K.R., Jindal R., Kubota H. and Obeng, L., 1983. Environmental sanitation reviews: composting of domestic refuse, Environmental sanitation information center, Asian Institute of Technology, Thailand, No 11/11, October.

Reddy, K. R., Feijtel T.C. and W.H. Patrick., 1986. Effect of soil redox conditions on microbial oxidation of organic matter. pp. 117-153. In: Y. Chen and Y. Avnimelech (eds.). The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Nijhoff, Dordrecht.

Richard, T.L., 1992. Municiple Solid Waste Composting : Physical and Biological Process, Biomass&Bioenergy, 3(3-4), 195-211.

Said-Pullicino, D., Erriquens F.G. & Gigliotti G., 2007. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity, Bioresour. Technol. 98, 1822-1834

Sanderson, K.C. and Martin, W.C., 1974. Performance of woody ornamentals in municipal compost medium under Nine Fertilize Regimes. Hortic. Sci., 9(3): 242-243.

Sharma, V.K., Canditelli M., Fortuna F. and Cornacchia., 1997. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: review. Energy Conversion and Management 38 (5): 453-478.

Snell, J.R., 1957. Some engineering aspects of high-rate composting, J. Environ. Eng. Div.-Proc. ASCE, 83(SA1): 1178.1-1178.36.

Stead, P.A., 1978. The potential of composting admixtures of sewage sludge and domestic refuse. Water Pollut. Control., 77(4): 454-456.

Stentiford, E.T., 1996, Composting Control : Principle and Practise. In de Bertoldi, M. et al., The Science of Composting : Past I (pp. 49-59), London :Chapman&Hall.

Stewart, N.E., Corke, C.T., Beauchamp E.G. and Webber L.B., 1975. Nitrification of sewage sludge using miscible displacement and perfusion techniques. Can. J. Soil Sci. 55: 467-472

Storm, P.E., 1985. Effect of temperature on bacterial specie diversity in thermophilic solid waste composting, Applied Environmental Microbiology, 50(4), 899-905.

Suler, D.J. and Finstein, M.S., 1977. Effect of temperature, aeration, and moisture on CO_2 formation in bench-scale continuously thermophilic composting of solid wastes. Appl. Environ. Microbiol., 33(2): 345-350.

Tchobanoglous G., Theisen H. and Vigil S., 1993. Integrated solid waste management : Engineering principles and management issues. Singapore : McGraw-Hill, Inc.

U.S. Environmental Protection Agency, 1999. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. Ohio : Center of Environmental Research Information

U.S. Food and Drug Administration (FDA)/ Bacteriological Analytical manual (BAM), 2001. Guideline on sterile drug products produced by aseptic processing.

Warman, P. R. and Termeer W.C., 1996. Composting and evaluation of racetrack manure, grass clippings and sewage sludge. Bioresource Technology 55: 95-101.

Wiley, J.S. and Spillane, J.T., 1961. Refuse-sludge composting in windrows and bins. J. San. Eng. Div.-Proc. ASCE, 87(SA5): 33-52.

Wilson, D.G., 1977. Handbook of Solid Waste Management. Massachusetts Institute of Technology. Van Nostrand Reinhold Company. U.S.A.

Yoneyama, T. and Yoshida T., 1978. Nitrogen mineralization of sewage sludge in soil. Soil Sci. Plant Nutr. 24: 139-144.

Zucconi, F. and Bbetroldi D., 1998. International Sym. On Compost Production Quality and Use.

ขั้นตอนผลิตยางแท่ง (Online). สืบค้นเมื่อ: 10 มีนาคม 2551
จาก: http://capital.sec.or.th/webapp/corp_fin/datafile/56/20060254T06.DOC

กรมส่งเสริมการเกษตร. (ม.ป.ป.). ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก (Online). สืบค้นเมื่อ: 12 มีนาคม 2551
จาก: http://www.doae.go.th/library/html/detail/puyy/fert3.htm

กรมส่งเสริมการเกษตร. (ม.ป.ป.). ธาตุอาหารรอง (Online). สืบค้นเมื่อ: 14 กรกฎาคม 2552 จาก: http://www.doae.go.th/report/last/bt64.htm

Aerated Static Pile (Online). สืบค้นเมื่อ: 23 พฤษภาคม 2552 จาก: http://www.grand-island.com/Departments/Public_Works/Wastewater/images/where2.jpg

การใช้ประโยชน์จากผักตบชวา (Online). สืบค้นเมื่อ: 24 มีนาคม 2551 จาก: http://www.school.net.th/library/webcontest2003/100team/dlbs085/interEx/informate/paktob/useul.htm

Nitrogen Cycle (Online). สืบค้นเมื่อ: 23 พฤษภาคม 2552 จาก: http://www.starsandseas.com/SAS_Images/SAS_ecol_images/SAS_ecol_physical/Nitrogen _Cycle-4.jpg

ระบบบำบัดน้ำเสีย กะรน (Online). สืบค้นเมื่อ: 27 มีนาคม 2551 จาก: http://www.reo15.net/phuket.aspx

ธาตุอาหารรอง แคลเซียม และแมกนีเซียม (Online). สืบค้นเมื่อ: 31 กรกฎาคม 2552 จาก: http://www.pukaotong.com

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 18 ดินและปุ๋ย. (ม.ป.ป.). ความสำคัญของไนโตรเจนในปุ๋ยหมัก (Online). สืบค้นเมื่อ: 1 สิงหาคม 2552 จาก: http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK18/chapter8/t18-8-l2.htm

ธาตุแมกนีเซียมในปุ๋ยหมัก (Online). สืบค้นเมื่อ: 1 สิงหาคม 2552 จาก: http://www.lks.ac.th/student/kroo_su/chem10/note15.html

Chiu-Chung, Y., Rekha P.D., and Arun A.B., 2005. What Happens during Composting? (Online). สืบค้นเมื่อ: 8 กรกฎาคม 2552 จาก: http://www.agnet.org/library/bc/53003/

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ความชื้น (อุดมผล, 2546)

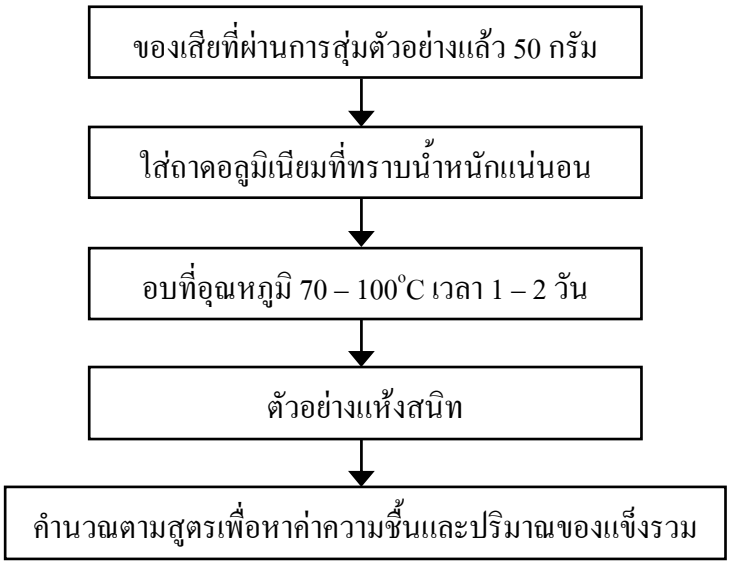
ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในขยะ

1.1 อุปกรณ์ที่ใช้

1) ตู้อบ (Hot air oven)
2) ถาดอลูมิเนียม
3) เครื่องชั่งน้ำหนัก

1.2 วิธีการ

นำของเสียที่ทำการสุ่มตัวอย่างแล้วประมาณ 50 กรัม ใส่ถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 70 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน จนกระทั่งตัวอย่างแห้งสนิท คือน้ำหนักของตัวอย่างคงที่



2. การวัดความเป็นกรด-เบส (จำเป็น, 2547)

2.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.01 กรัม
2) กระบอกตวง (Measuring cylinder) ขนาด 25 มิลลิลิตร
3) หลอดเหวี่ยงพลาสติก (Plastic centrifuge tube) ขนาด 50 มิลลิลิตร
4) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

2.2 การทดลอง

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างตัวอย่างในน้ำ

1) ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2) เติมน้ำที่ปราศจากไอออนลงไป 25 มิลลิลิตร ทำให้ได้สัดส่วนของตัวอย่างต่อน้ำเท่ากับ 1:5
3) คนและเขย่าประมาณ 1 นาที หลังจากนั้นประมาณ 30 นาทีจึงวัดค่าความเป็นกรด-ด่างส่วนที่เป็นน้ำใส (supernatant)

3. การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ (จำเป็น, 2547)

3.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.01 กรัม
2) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
3) บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
4) โวลุมเมตริกปิเปต ขนาด 10 ลิตร
5) กระบอกตวงขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร
6) ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตร

3.2 สารเคมี

1) โปแทสเซียมไดโครเมต 0.167 โมลาร์ (1 นอร์แมล) : สารละลายโปแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate : $K_2Cr_2O_7$) (ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง) 49.04 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2) เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (FAS) 1 โมลาร์ (1 นอร์แมล) : ละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (Ferrous ammonium sulfate hexahydrate : $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$) 196.07 กรัม ในน้ำร้อนที่ปราศจากไอออนประมาณ 400

มิลลิลิตร วางให้เย็นแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 15 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

3) กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid) เข้มข้นอย่างน้อย 96% (96 – 98% w/w H_2SO_4)
4) เฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator) : ละลายฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1, 10 *O* – phenantroline monohydrate) 1.485 กรัมในน้ำที่ปราศจากไอออน และเติม FAS 1 โมลาร์ 8 มิลลิลิตร ก่อนปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร

3.3 การทดลอง

1) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2) ใช้ปิเปตดูดโปแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในขวดและแกว่งให้ผสมเข้ากับตัวอย่าง ในขั้นนี้ให้ทำแบลงค์ (Blank) โดยเติมโปแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ไม่มีตัวอย่างด้วย
3) นำไปเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร (ทัศนีย์ และคณะ, 2532) ภายในตู้ดูดควัน โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวด และทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที
4) เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วหยดเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ลงไป 3 – 4 หยดแกว่งให้เข้ากัน
5) นำไปไทเทรตด้วย FAS (ควรไทเทรตแบลงค์ก่อน) จนกระทั่งถึงจุดยุติ (end point) โดยสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง บันทึกปริมาตร FAS ที่ใช้

4. การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (จำเป็น, 2547)

4.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม
2) เตาย่อยตัวอย่าง (Digestion block)
3) เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Nitrogen distillation apparatus)
4) หลอดย่อยตัวอย่าง (Kjeldahl tube) ขนาด 100 มิลลิลิตร
5) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร
6) บิวเรต (Buret) ขนาด 5 มิลลิลิตร
7) ดีสเพนเซอร์ (Dispenser) ขนาด 5 มิลลิลิตร
8) กระบอกตวง (Measuring cylinder) ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร

4.2 สารเคมี

1) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% w/w H_2SO_4
2) สารผสมเร่งปฏิกิริยา (Catalyst mixture) : ผสมโปแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate : K_2SO_4), คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate : $CuSO_4$) และซิลีเนียม (Selenium : Se) อัตราส่วน 100:10:1 โดยน้ำหนัก
3) อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator) : ละลายเมธิลเรด (Methyl red) 0.066 กรัม และโบรโมกรีซอลกรีน (Bromocresol green) 0.099 กรัม ในเอธานอล (Ethanol) 95% w/w ประมาณ 80 มิลลิลิตร แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยเอธานอล เป็น 100 มิลลิลิตร
4) กรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์ : ละลายกรดบอริก (Boric acid : H_3BO_3) 40.00 กรัมในน้ำร้อนประมาณ 1,800 มิลลิลิตร รอให้เย็นแล้วจึงเติมอินดิเคเตอร์ผสมลงไปประมาณ 20 มิลลิลิตร จะได้สารละลายผสมสีม่วงแดง (หากเป็นสีชมพูให้ค่อยๆปรับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ ประมาณ 2.5 – 3 มิลลิลิตร) จากนั้นจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 2 ลิตร
5) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% น้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) : ค่อยๆ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH) 400 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออนและปรับปริมาตรโดยประมาณเป็น 1 ลิตร
6) สารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid : H_2SO_4) 0.005 โมลาร์ : ขั้นแรกควรเตรียม 1 โมลาร์ก่อน โดยตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (98% w/w H_2SO_4) มา 55.4 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนเป็น 1 ลิตร จากนั้นจึงเจือจางเป็น 200 เท่า แล้วนำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยนำไปไทเทรตกับสารละลายใช้ทริสไฮดรอกซีเมธิลอะมิโนมีเธน (THAM) 0.02 โมลาร์ จำนวน 5 มิลลิลิตร ไทเทรตจนสีของอินดิเคเตอร์ผสมในสารละลาย THAM เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้และคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดซัลฟิวริก เช่นเดียวกับการเทียบความเข้มข้นมาตรฐาน

4.3 การทดลอง

1) การย่อย

1.1) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร

1.2) ตักสารเร่งปฏิกิริยาผสมใส่ลงไปประมาณ 1 กรัม

1.3) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ภายในตู้ควัน โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวดและ เขย่าให้ผสมกับตัวอย่าง

1.4) นำไปย่อยด้วยเตาย่อยตัวอย่างโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 380 องศาเซลเซียส จนสารละลายเปลี่ยนเป็นไปสีเขียวอมฟ้า และตัวอย่างมีสีขาว

1.5) ทำแบลงค์โดยนำหลอดไปเติมสารและย่อยเช่นเดียวกับตัวอย่าง

2) การกลั่น

2.1) จัดเครื่องกลั่นให้พร้อมจะใช้งาน และเติมน้ำกลั่นลงไปในตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร เขย่าจนตะกอนละลาย

2.2) นำหลอดใส่เข้าเครื่องกลั่น และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปประมาณ 15 มิลลิลิตร

2.3) ตวงสารละลายกรดบอริกที่ผสมอินดิเคเตอร์ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร นำไปวางตรงตำแหน่งที่รองรับแก๊สแอมโมเนียจากการกลั่น

2.4) กลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 30 มิลลิลิตร จึงหยุดและฉีดล้างปลายคอนเดนเซอร์ด้วยน้ำกลั่น

3) การไทเทรต

3.1) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ (จะต้องทราบความเข้มข้นที่แน่นอน) ลงในบิวเรตและจัดบิวเรตให้พร้อมที่จะไทเทรต

3.2) นำสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งมีสีเขียวไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจนเปลี่ยนเป็นสีม่วง

5. การวัดสภาพการนำไฟฟ้า (Electro conductivity) (จำเป็น, 2547)

5.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม
2) หลอดเหวี่ยงพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร
3) กระบอกตวง ขนาด 25 มิลลิลิตร
4) Electrical Conductivity meter
5) เทอร์โมมิเตอร์

5.2 การทดลอง

1) ชั่งดิน 6 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติก
2) เติมน้ำที่ปราศจากไอออนลงไป 30 มิลลิลิตร
3) ปิดฝาและเขย่าด้วยมือ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 25^{O}C
4) นำไปวัดสภาพการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง Electrical Conductivity meter จุ่มอิเล็คโทรดลงในสารละลาย

6. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) (AOAC, 1998)

วิธี $HNO_3/HClO_4$ Digestion

6.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) บีกเกอร์
2) Hot plate
3) ขวดปรับปริมาตร 1 ลิตร
4) ขวดสีชา
5) Erlenmetric flask 250 มิลลิลิตร
6) กรวยแก้ว
7) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 42
8) ปิเปต
9) เครื่อง spectrophotometer

6.2 สารเคมี

1) กรดผสม $HNO_3/HClO_4$ เตรียมโดยผสม conc. HNO_3 1,250 มิลลิลิตร conc. $HClO_4$ 250 มิลลิลิตร และ NH_4VO_3 0.06 กรัม (ละลาย NH_4VO_3 0.06 กรัม ในน้ำ deionized ประมาณ 5-10 มิลลิลิตร ให้ความร้อนบน hot plate จนละลายหมด วางไว้ให้เย็นลง แล้วผสมลงในกรด
2) สารละลาย Vanadomolybdate เตรียมโดย
    2.1) ละลาย Ammonium Molybdate 40 กรัม ในน้ำ Deionized ที่อุ่นแล้ว 400 มิลลิลิตร
    2.2) ละลาย Ammonium Meta-Vanadate 2 กรัม ในน้ำ Deionized ที่ต้มเดือด 300 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนละลายหมด วางให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วเติม conc. HNO_3 160 มิลลิลิตร

ผสมสารละลายข้อ 2.1 และ 2.2 เข้าด้วยกัน แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรเก็บไว้ในขวดสีชา เมื่อต้องการใช้แต่ละครั้งนำมาเจือจางด้วยน้ำ Deionized 4 เท่า

3) สารละลายมาตรฐาน P ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดย ละลาย KH_2PO_4 (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ $105^{O}C$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) 3.4800 กรัม ด้วยน้ำ deionized ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1 ลิตร ค่อยๆ เติม conc. HNO_3 12 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized

4) สารละลายมาตรฐาน P ความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัม/ลิตร ใน 4% $HClO_4$ เตรียมโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐาน P ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติม 20% $HClO_4$ ลงไป 20 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ deionized

6.3 การทดลอง

1) ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 0.5-2 กรัม ใส่ใน Erlenmayer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2) เติมกรดผสม $HNO_3/HClO_4$ 15 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน ปิดปาก flask ด้วยกรวยแก้วจากนั้นย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ $80^{O}C$ จนควันสีน้ำตาลหมด แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดควันสีขาว ทำการย่อยต่อไปจนสารละลายใส
3) วางไว้ให้เย็นลง แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ลงใน Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี
4) ปิเปตสารละลาย Vanadomolybdate 5 มิลลิลิตร ใส่ใน test tube ขนาด 10 มิลลิลิตร และปิเปต สารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เติมลงไป เขย่าให้เข้ากันดี
5) วางไว้ 20 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร
6) ทำ blank เช่นด้วยกับข้อ 2-5
7) เขียนกราฟมาตรฐานระหว่าง เขียนกราฟมาตรฐาน โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกนตั้ง

การคำนวณ

$$\text{Total P } (\%P_2O_5) = (X-b) \times 250 / (10{,}000 \times \text{Sample wt.}) \times 2.291 \times \text{mcf.}$$

โดยที่ X = ความเข้มข้นของ P ในสารละลายตัวอย่าง เทียบจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

b = ความเข้มข้นของ P ใน blank เทียบจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

7. การวิเคราะห์โปแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) (AOAC, 1998)

วิธี $HNO_3/HClO_4$ Digestion

7.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) บีกเกอร์
2) Hot plate
3) ขวดปรับปริมาตร 1 ลิตร
4) Volumetric flask 100 มิลลิลิตร
5) Erlenmetric flask 250 มิลลิลิตร
6) กรวยแก้ว
7) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 42
8) ปิเปต
9) เครื่อง Flame Photometer

7.2 สารเคมี

1) กรดผสม $HNO_3/HClO_4$ (เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ Total P_2O_5)
2) 20% $HClO_4$ เตรียมโดยละลาย conc. $HClO_4$ (70-72%) 563 มิลลิลิตร ในน้ำ Deionized 2 ลิตร
3) สารละลายมาตรฐาน K ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร (เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ Soluble K_2O)
4) สารละลายมาตรฐาน K ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร ใน 4% $HClO_4$ เตรียมโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐาน K ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติม 20% $HClO_4$ ลงไป 20 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized

7.3 การทดลอง

1) ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 0.5-1 กรัม ใส่ใน Erlenmayer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2) เติมกรดผสม $HNO_3/HClO_4$ 15 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน ปิดปาก flask ด้วยกรวยแก้วจากนั้นย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ $80^{O}C$ จนควันสีน้ำตาลหมด แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดควันสีขาว ทำการย่อยต่อไปจนสารละลายใส
3) วางไว้ให้เย็นลง แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ลงใน Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี

4) นำไปวัดค่าการปลดปล่อยแสงด้วยเครื่อง Flame Photometer
5) เขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าที่อ่านได้กับค่าความเข้มข้นของ K โดยให้อ่านค่าที่อ่านได้ในแกนตั้ง

การคำนวณ

Total K (%K_2O) = (X-b) x 250 / (10,000 x sample wt.) x 1.204 x mcf.

โดยที่ X = ความเข้มข้นของ K ในสารละลายตัวอย่าง เทียบจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

b = ความเข้มข้นของ K ใน blank เทียบจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

8. การวิเคราะห์ธาตุอาหารรอง (แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg)) (AOAC, 1998)

วิธี Atomic Absorption Spectrophotometric method

8.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) ขวดปรับปริมาตร 1 ลิตร
2) Hot plate
3) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1
4) Volumetric flask 100 มิลลิลิตร
5) Erlenmetric flask 250 มิลลิลิตร
6) เครื่อง AAS

8.2 สารเคมี

1) conc. HCl
2) 2N HCl เตรียมโดยเจือจาง conc. HCl เข้มข้น 166.7 มิลลิลิตร ในน้ำ Deionized ประมาณ 800 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
3) สารละลาย Sr 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดยสารละลาย $SrCl_2.6H_2O$ 15.2146 กรัม ในน้ำ Deionized เติม 2N HCl 200 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized เป็น 1 ลิตร
4) สารละลายมาตรฐาน Ca และ Mg ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร
5) สารละลายมาตรฐาน Ca และ Mg ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน Ca และ Mg ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร

อย่างละ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลาย Sr

8.3 การทดลอง

1) ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 1 กรัม ใส่ใน Erlenmayer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร
2) เติม conc. HCl 10 มิลลิลิตร ต้มบน hot plate จนสารละลายเกือบแห้ง
3) เติม 2N HCl 20 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด วางให้เย็นลง แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
4) ล้างตะกอนด้วยน้ำ deionized แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี
5) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS (สำหรับตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ Ca และ Mg นำไปเจือจาง ด้วยสารละลาย Sr ให้ได้ความเข้มข้นอยู่ในช่วงกลางของสารละลายมาตรฐาน)
6) เขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของธาตุนั้นๆ โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกนตั้ง

การคำนวณ

$$\% \text{ Ca หรือ Mg} = (X-b) \times 100 / \text{sample wt.} \times 10{,}000 \times \text{mcf.}$$

โดยที่ X = ความเข้มข้นของของธาตุต่างๆ ในสารละลายตัวอย่าง เทียบจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

b = ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ใน blank เทียบจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

9. การหาขนาด (สราวุธ, 2548)

9.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) ตะแกรง 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ เพื่อให้การหาขนาดกระจายตัวกันมากที่สุด ขนาดของรูตะแกรงควรประมาณครึ่งหนึ่งของขนาดก่อนหน้า ซึ่งเบอร์ตะแกรงที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ขนาดของตะแกรงเบอร์ต่างๆ

ตะแกรงเบอร์	ขนาดรูตะแกรง (mm)
4	4.76
10	2.00
20	0.840
40	0.420
100	0.149
200	0.074

2) เครื่องชั่ง

9.2 การทดลอง

1) ชั่งตะแกรงแต่ละเบอร์ โดยก่อนชั่งปัดทำความสะอาดตะแกรงก่อน
2) เตรียมตัวอย่างที่อบแห้งแล้วบีบก้อนดินให้แตกจากกันโดยใช้มือ เตรียมตัวอย่างประมาณ 500 กรัม
3) นำตัวอย่างมาใส่ตะแกรง เอาเข้าเครื่องร่อน ร่อนประมาณ 10 นาที
4) หาปริมาณตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ต่างๆ โดยการชั่งตะแกรงที่มีตัวอย่างค้างอยู่ แล้วนำไปหักจากน้ำหนักตะแกรง ก็จะได้น้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ต่างๆ
5) plot กราฟแสดงการกระจายตัว จะเป็นการ plot ค่าของเปอร์เซ็นต์ค้างสะสมกับขนาดของตัวอย่าง

10. การตรวจนับจำนวน coliform และ *E. coli* (U.S. FDA/BAM, 2001)

10.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) phosphate buffer	ปริมาตร	450	มิลลิลิตร	1	ขวด
	ปริมาตร	90	มิลลิลิตร	2	ขวด
2) ปิเปตปราศจากเชื้อขนาด		10	มิลลิลิตร	2	อัน
	ขนาด	1	มิลลิลิตร	1	อัน
3) lauryl sulfate tryptose broth (LST)					
หลอดละ 10 มิลลิลิตร (ใส่หลอดดักแก๊ส)				9	หลอด
หลอดละ 5 มิลลิลิตร (ใส่หลอดดักแก๊ส)				9	หลอด

4) BGLB (ใส่ลอดดักแก๊ส) 9 หลอด
5) EC medium (ใส่หลอดดักแก๊ส) 9 หลอด
6) Eosin methylene blue agar (EMB) 9 หลอด
7) Plate count agar slant 9 หลอด
8) อาหารและรีเอเจนส์ สำหรับทดสอบ IMViC
9) stomacher และถึงพลาสติก
10) สีย้อมแกรม
11) Water bath 45.5^{o}C

10.2 การทดลอง

10.2.1 Presumtive test สำหรับ coliform bacteria

1) ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ถุงพลาสติกเท Phosphate buffer 450 มิลลิลิตร ใส่ลงไปผสมให้เข้ากันด้วย Stomacher 1-2 นาที ได้ Dilution 10^{-1} ทำ Dilution 10^{-2} และ 10^{-3} ต่อไปตามลำดับ
2) ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างที่ความเจือจาง 10^{-3}, 10^{-2} และ 10^{-1} ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดอาหาร LST (ปริมาตร 10 มิลลิลิตร) ความเจือจางละ 3 หลอด (อย่าใช้เวลามากกว่า 15 นาที นับแต่เริ่มทำ Dilution จนดูดใส่หลอด LST เสร็จ)
3) บ่มหลอดทั้งหมดที่ 35^{o}C เป็นเวลา 48 $\pm$ 2 ชั่วโมง

10.2.2 Confirmed test สำหรับ coliforms

1) เขย่าหลอด LST ที่เกิดแก๊สเบาๆ ใช้ loop ถ่ายเชื้อจากหลอด LST ที่เกิดแก๊สทุกหลอดลงอาหาร BGLB หลอดต่อหลอด
2) บ่มหลอด BGLB ที่ 35^{o}C เป็นเวลา 48 $\pm$ 2 ชั่วโมง อ่านผลหลอดที่เกิดแก๊ส คำนวณ Most Probable Number (MPN) จากตารางที่ 2.4 (สำหรับแบบ 3 หลอด) รายงานผล MPN coliform/กรัม บันทึกผล

10.2.3 EC broth method สำหรับ fecal coliform

1) เขย่าหลอด LST ที่เกิดแก๊สเบาๆ และใช้ loop ถ่ายเชื้อจากหลอด LST ที่เกิดแก๊สทุกหลอด ใส่ในอาหาร EC broth หลอดต่อหลอด
2) บ่มหลอด EC broth ใน water bath อุณหภูมิ 45.5 $\pm$ 0.2^{o}C นาน 24 $\pm$ 2 ชั่วโมง สังเกตแก๊สภายในหลอดดักแก๊ส ถ้าไม่เกิดแก๊สบ่มต่อจนครบ 48 $\pm$ 2 ชั่วโมง
3) ใช้ผลหลอดที่เกิดแก๊สดังกล่าวเปิดตาราง MPN (สำหรับแบบ 3 หลอด) คำนวณ MPN fecal coliform/กรัม บันทึกผล

10.2.4 confirmed test สำหรับ *E. coli*

1) ถ่ายเชื้อหลอด EC broth ที่เกิดแก๊สทุกหลอดโดยการ streak บนอาหาร EMB บ่มจาน EMB ที่ 35°C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง
2) สังเกตโคโลนีที่น่าจะเป็น *E. coli* คือตรงกลางโคโลนีสีเข้ม อาจมีหรือไม่มี methallic sheen ถ่ายเชื้อจากโคโลนีดังกล่าว 2 โคโลนีของแต่ละจานอาหาร EMB ใส่หลอดอาหาร PCA บ่มหลอด PCA ที่ 38°C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง นำเชื้อจากหลอด PCA ไปทดสอบต่อไปนี้

2.1) ย้อมสีแกรม

2.2) IMViC test เป็นวิธีการตรวจสอบทางชีวเคมี

IMViC

I = Indole test

M = Methyl red test (MR test)

V = Voges-proskauer test (VP test)

C = Citrate test

- Indole test

เป็นการทดสอบว่า แบคทีเรียสามารถเปลี่ยน Tryptophan เป็น Indole ได้หรือไม่ Tryptophan เป็น Amino acid ที่มีอยู่ใน Peptone หรือ Casein

วิธีทดสอบ

1. Inoculate เชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน 1% Tryptone Broth
2. Incubate ที่ 35°C เป็นเวลา 24-28 ชั่วโมง
3. หยด Kovac' s reagent ลงไป 0.2-0.3 มิลลิลิตร
4. เขย่าหลอดทดลองเบาๆ 2-3 ครั้ง
5. สังเกตการณ์เปลี่ยนสีที่ผิวของ medium

การแปลผล

ผลบวก มีสีแดงที่ผิวของ medium (red ring)

ผลลบ สีเหมือน Kovac's reagent คือสีเหลือง

- Methyl red test

เป็นการทดสอบว่า แบคทีเรียสามารถสร้างกรดจากอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี Glucose ได้มากหรือน้อย โดยดูจาก pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อต่ำกว่า 4.2 จึงเปลี่ยนสี Indicator ของ Methyl Red เป็นสีแดงได้

วิธีทดสอบ

1. Inoculate เชื้อที่ต้องการทดสอบลงใน MR-VP broth
2. Incubate ที่ 35°C เป็นเวลา 24-28 ชั่วโมง
3. หยด Methyl Red ลงไป 5 หยด/5 มิลลิลิตร Broth
4. สังเกตการณ์เปลี่ยนสีของ Medium ทันทีหลังจากหยด Indicator

การแปลผล

ผลบวก Medium เป็นสีแดง

ผลลบ Medium เป็นสีเหลือง

- Voges-proskauer test

เป็นการทดสอบว่า แบคทีเรียสามารถสร้างสาร Acethyl Methyl Carbinol จาก Glucose ได้หรือไม่

วิธีทดสอบ

1. Inoculate เชื้อที่ต้องการทดสอบลงใน MR-VP broth
2. Incubate ที่ 35°C เป็นเวลา 24-28 ชั่วโมง
3. หยด 5% Naphthol ลงไป 5 หยด เขย่า (0.6 มิลลิลิตร)
4. หยด 40% KOH ลงไป 2 หยด (0.2 มิลลิลิตร)
5. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 10-15 นาที
6. สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของ Medium

การแปลผล

ผลบวก Medium สีแดงภายใน 5 นาที

ผลลบ Medium สีเหลือง

- Citrate test

เป็นการทดสอบดูว่า แบคทีเรียสามารถใช้ Citrate เพียงอย่างเดียวเป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon Source) ได้หรือไม่ ถ้าแบคทีเรียสามารถใช้เพียงอย่างเดียวได้จะเจริญและให้ Alkaline Product เกิดขึ้นซึ่งเป็นผลให้ Indicator ใน Medium ซึ่งได้แก่ Bromthymol Blue เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน

วิธีทดสอบ

1. Inoculate เชื้อที่ต้องการทดสอบโดยการ Streak บนผิว Simmon s citrate agar
2. Incubate ที่ 35°C เป็นเวลา 24-28 ชั่วโมง
3. สังเกตการณ์เปลี่ยนสีของ Medium และการเติบโตของแบคทีเรีย

การแปลผล

ผลบวก มีแบคทีเรียขึ้น และ Medium เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน

ผลลบ ไม่มีแบคทีเรียขึ้น และ Medium ไม่เปลี่ยนสี (สีเขียว)

ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่ทดสอบ *E. coli*

การทดสอบ	Indole test	Methyl red test	Voges-proskauer test	Citrate test
Biotype 1	+	+	-	-
Biotype 2	-	+	-	-

2.3) ถ่ายใส่อาหาร LST (ปริมาณ 5 มิลลิลิตร) บ่มที่ 35°C 48 ชั่วโมง

3) การแปลผล

ถ้าหากเป็น *E. coli* ติดสีแกรมลบ รูปท่อนสั้นไม่สร้างสปอร์ ผล IMViC เป็น + + - - (Biotype I) หรือ - + - - (Biotype II) และหมัก lactose ใน LST ให้กรดและแก๊สที่ 35°C ภายใน 48 ชั่วโมง เปิดตาราง MPN (ตารางที่ 2.5) (ภาคผนวกสำหรับ 3 หลอด) โดยดูจากหลอด EC broth ที่ตรวจ confirmed แล้วว่ามี *E. coli* บันทึกผล MPN *E. coli*/กรัม

ก.2 MPN สำหรับ 3 หลอดที่ความเข้มข้นของเชื้อที่ 0.1, 0.01, และ 0.001 กรัม Inocula ที่ความเชื่อมั่น 95%

Pos. tubes			MPN/g	Conf. lim.		Pos. tubes			MPN/g	Conf. lim.	
0.10	**0.01**	**0.001**		**Low**	**High**	**0.10**	**0.01**	**0.001**		**Low**	**High**
0	0	0	<3.0	--	9.5	2	2	0	21	4.5	42
0	0	1	3.0	0.15	9.6	2	2	1	28	8.7	94
0	1	0	3.0	0.15	11	2	2	2	35	8.7	94
0	1	1	6.1	1.2	18	2	3	0	29	8.7	94
0	2	0	6.2	1.2	18	2	3	1	36	8.7	94
0	3	0	9.4	3.6	38	3	0	0	23	4.6	94
1	0	0	3.6	0.17	18	3	0	1	38	8.7	110
1	0	1	7.2	1.3	18	3	0	2	64	17	180
1	0	2	11	3.6	38	3	1	0	43	9	180
1	1	0	7.4	1.3	20	3	1	1	75	17	200
1	1	1	11	3.6	38	3	1	2	120	37	420
1	2	0	11	3.6	42	3	1	3	160	40	420
1	2	1	15	4.5	42	3	2	0	93	18	420
1	3	0	16	4.5	42	3	2	1	150	37	420
2	0	0	9.2	1.4	38	3	2	2	210	40	430
2	0	1	14	3.6	42	3	2	3	290	90	1000
2	0	2	20	4.5	42	3	3	0	240	42	1000
2	1	0	15	3.7	42	3	3	1	460	90	2000
2	1	1	20	4.5	42	3	3	2	1100	180	4100
2	1	2	27	8.7	94	3	3	3	>1100	420	--

11. การตรวจหา *Salmonella* sp. (U.S. FDA/BAM, 2001)

11.1 อุปกรณ์

1) Lactose broth 0.5% ปริมาตร 225 มิลลิลิตร 1 ขวดฝาเกลียว
2) Tetrathionate (TT) broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 1 หลอด
3) Rappaport-Vassiliadis (RV) medium 10 มิลลิลิตร 1 หลอด
4) Bismuth sulfite agar (BS) 1 จาน
5) Hektoen enteric (HE) agar (SS) agar 1 จาน
6) Xylose lysine desaxycholate agar (XLD) 1 จาน
7) Triple sugar iron agar (TSI) 2 หลอด
8) Lysine iron agar (LIA) 2 หลอด
9) ปิเปตปราศจากเชื้อ ขนาด 1 มิลลิลิตร 1 อัน
10) Loop, Needle
11) Water bath 42 และ 43°C

11.2 การทดลอง

1) นำตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ในขวดฝาเกลียว ที่มี Lactose Broth 0.5% ปริมาตร 225 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 60 ± 5 นาที หลังจากนั้นคลายฝาเกลียว 1/4 รอบ บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง
2) ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูด culture จากข้อ 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ใน RV medium และอีก 1 มิลลิลิตร ใส่ใน TT broth ผสมให้เข้ากัน RV medium บ่มที่ 42 ± 0.2°C 24 ± 2 ชั่วโมง TT broth บ่มที่ 43 ± 0.2°C 24 ± 2 ชั่วโมง
3) นำไป streak บน HE, BS และ XLD agar บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง
4) ตรวจดูโคโลนีของเชื้อ *Salmonella* sp. ซึ่งจะมีสีน้ำเงิน บางโคโลนี อาจมีสีดำตรงกลาง บน HE agar โคโลนีสีน้ำตาลหรือดำบน BS และโคโลนีสีชมพูตรงกลางอาจมีสีดำบน XLD
5) เลือกโคโลนีที่มีลักษณะดังกล่าวไป inoculate ใน TSI และ LIA อย่างละ 2 หลอด
6) บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7) ตรวจผล *Salmonella* sp. ใน TSI จะให้ผลคือ K/A + H_2S ส่วนใน LIA จะเปลี่ยนสีของอาหารเป็นสีม่วง และ *Salmonella* sp. ส่วนใหญ่จะผลิต H_2S ใน LIA บันทึกผลว่ามีหรือไม่มี *Salmonella* sp.

ภาคผนวก ข

ลักษณะของวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ ข.1 ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง STR20 จ. พัทลุง

รูปที่ ข.2 ผักตบชวาจากบึงคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

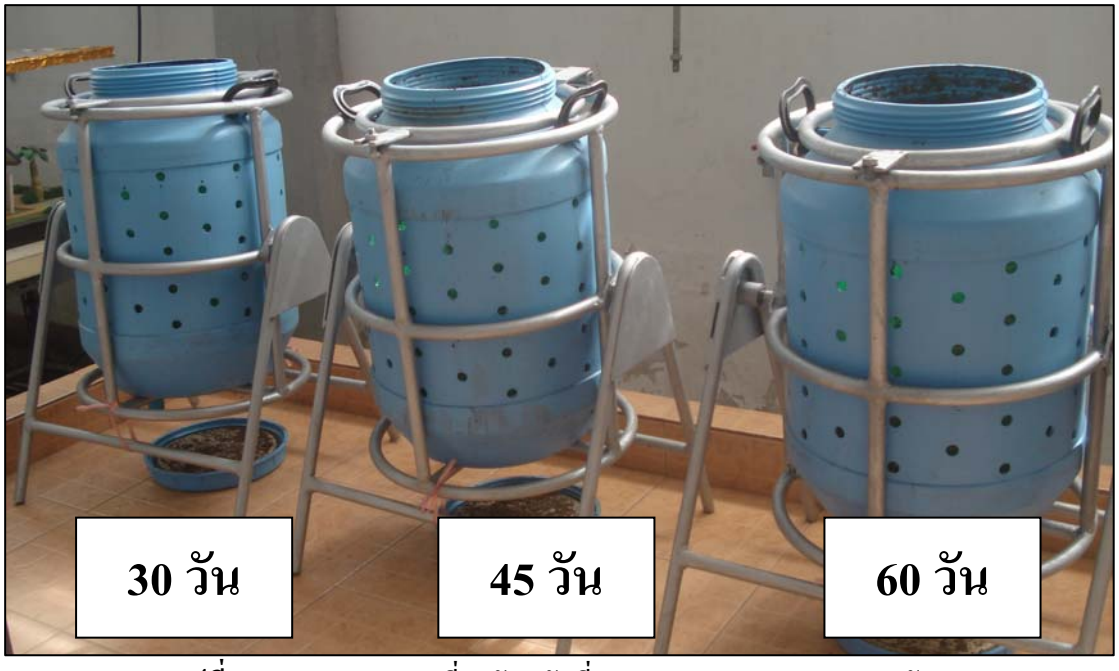
รูปที่ ข.3 ตะกอนน้ำเสียชุมชน จ. ภูเก็ต

รูปที่ ข.4 ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล จ. สงขลา

รูปที่ ข.5 มูลวัวจาก อ. สทิงพระ จ. สงขลา

รูปที่ ข.6 เปลือกผลไม้ ร้านค้าบริเวณ 108 ด้านข้างมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดการทดลองที่ 1



รูปที่ ข.7 ชุดการทดลองที่ 1 ถังหมักที่ 1, 2 และ 3 (30, 45 และ 60 วัน)

รูปที่ ข.8 วัสดุหมักร่วมในชุดการทดลองที่ 1

รูปที่ ข.9 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 30 ชุดการทดลองที่ 1

รูปที่ ข.10 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 45 ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ ข.11 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ชุดการทดลองที่ 1

ชุดการทดลองที่ 2

รูปที่ ข.12 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 1ในชุดการทดลองที่ 2 (ไม่เติมสารเร่ง พด.1)

รูปที่ ข.13 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 2 ในชุดการทดลองที่ 2 (เติมสารเร่ง พด.1)

ชุดการทดลองที่ 3

รูปที่ ข.14 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 1 ในชุดการทดลองที่ 3 (ไม่เติมสารเร่ง พด.1)

รูปที่ ข.15 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 2 ในชุดการทดลองที่ 3 (เติมสารเร่ง พด.1)

ชุดการทดลองที่ 4

รูปที่ ข.16 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 1
(ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+เปลือกผลไม้)

รูปที่ ข.17 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 2
(ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+ตะกอนน้ำเสียชุมชน)

รูปที่ ข.18 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 3
(ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+มูลวัว)

รูปที่ ข.19 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 4
(ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+มูลวัว+ผักตบชวา)

รูปที่ ข.20 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 5
(ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+ตะกอนน้ำเสียชุมชน+ผักตบชวา)

รูปที่ ข.21 ผลิตภัณฑ์ในวันที่ 60 ของถังหมักที่ 6
(ของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง+ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล+ผักตบชวา)

ภาคผนวก ค

แนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

1. แนวทางการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับโรงงาน

จากการศึกษาการนำของเสียโรงงานผลิตยางแท่งมาใช้ประโยชน์โดยการหมักปุ๋ย พบว่าของเสียที่เป็นของแข็งนี้สามารถย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยหมักหรือวัสดุในการปรับปรุงดินได้ โดยผลจากการทดลองที่ได้คือ

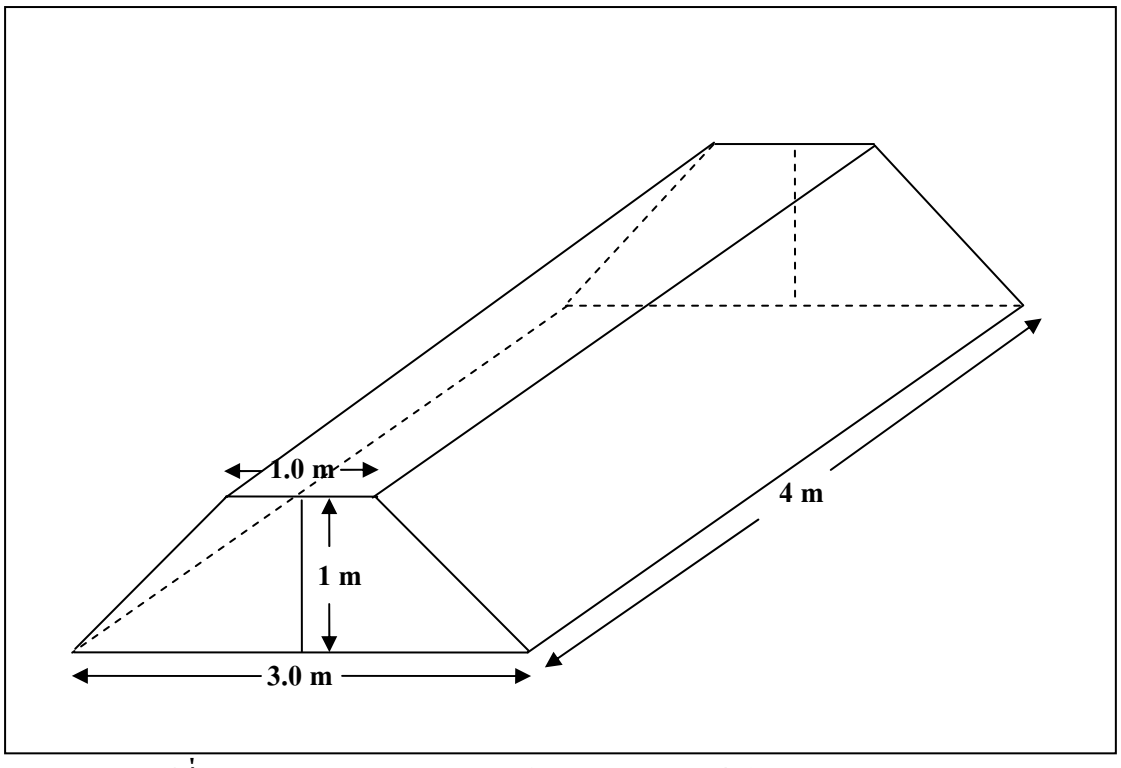
1.1 ของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง สามารถย่อยสลายได้ โดยไม่ต้องผสมวัสดุหมักร่วมชนิดอื่น แต่ระยะเวลาในการย่อยสลายมากกว่า 60 วัน และพบว่าธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม มีปริมาณน้อย แต่อย่างไรก็ตามสามารถที่จะเพิ่มธาตุอาหารสังเคราะห์ให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้ เช่น เพิ่มธาตุไนโตรเจน โดยการเติมยูเรีย เป็นต้น ซึ่งปริมาณที่เติมนั้นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

1.2 สำหรับชุดการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยคือ ใช้ระบบการหมักแบบใช้อากาศภายในถังหมัก ซึ่งเป็นการศึกษาในระดับ Lab Scale อาจไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากของเสียเหล่านี้มีปริมาณ 5-10 ตันต่อวัน จึงควรทำการหมักแบบ Windrow และมีการเติมอากาศเพิ่มด้วย เนื่องจากของเสียโรงงานผลิตยางแท่งที่ใช้เป็นวัสดุหมักมีขนาดค่อนข้างเล็ก

การออกแบบกองหมักปุ๋ย โดยใช้ของเสียโรงงานผลิตยางแท่งเป็นวัสดุหมัก

โรงงานผลิตยางแท่ง STR20 ที่เข้าไปศึกษานั้นมีของเสียปริมาณมาก ซึ่งวิธีการหมักที่ดีที่สุดควรใช้ระบบ Windrow เนื่องจากเป็นระบบที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก ของเสียโรงงานผลิตยางแท่งประมาณ 5 ตันต่อวัน โดยระยะเวลาที่ใช้ในการหมักประมาณ 60 วัน

ออกแบบกองหมัก 1 กองต่อ 1 วัน โดยทำลักษณะกองเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูโดยมีความยาวของด้านคู่ขนานยาวประมาณ 3.0 เมตร และ 1.0 เมตร ส่วนความสูงของกองหมักนั้นโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 1 เมตร จะได้ความยาวซึ่งขึ้นกับปริมาณของเสีย เช่น ความยาวประมาณ 4 เมตร ดังรูปที่ ค.1 อาจเพิ่มการเติมอากาศให้แก่กองหมักด้วย เพื่อช่วยให้การย่อยสลายเกิดได้รวดเร็วขึ้น



รูปที่ ค.1 กองหมักแบบ Windrow ในการหมักของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง

2. แนวทางการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับชุมชน

วิธีการจัดการของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งอีกวิธีหนึ่งคือ แนะนำให้ชาวบ้านที่สนใจนำไปใช้ประโยชน์โดยการหมักปุ๋ยร่วมกับของเสียอินทรีย์ชนิดอื่นที่มีอยู่ในชุมชน เช่น ผักตบชวา และตะกอนน้ำเสีย เป็นต้น เพื่อใช้เป็นปุ๋ยหมักหรือวัสดุในการปรับปรุงดิน โดยจากการศึกษาพบว่า วัสดุหมักร่วมที่เหมาะสมสำหรับการหมักร่วมกับของเสียโรงงานผลิตยางแท่งคือ ผักตบชวา และตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 60 วัน ปริมาณธาตุอาหารที่ได้มีค่าผ่านมาตรฐานการเป็นปุ๋ยหมักที่ดีของกรมพัฒนาที่ดิน และหากมีการเติมสารเร่ง พด.1 ลงไป ทำให้วัสดุหมักย่อยสลายกลายเป็นเนื้อเดียวกันได้รวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้นอีกด้วย

3. แนวทางการนำไปใช้ประโยชน์เชิงการค้า

อาจมีการร่วมทุนทำโรงงานปุ๋ยหมักโดยรับซื้อของเสียจากโรงงานที่ต้องมีการนำของเสียอินทรีย์อื่นๆ ไปกำจัด แต่อย่างไรก็ตามแนวทางนี้จะต้องมีการศึกษาและทำการวิจัยเพิ่มเติมทั้งทางด้านวิศวกรรม และการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ รวมทั้งความคุ้มทุนด้วย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวศิรินทรา วันดี

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010120113

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนสนับสนุนการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ศิรินทรา วันดี และ ธนิยา เกาศล. 2551. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาหมักปุ๋ย. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6. ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่, สงขลา. วันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551.

ศิรินทรา วันดี และ ธนิยา เกาศล. 2552. การนำของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาใช้ประโยชน์โดยการหมักปุ๋ยร่วมกับของเสียอินทรีย์. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 8. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. วันที่ 25-27 มีนาคม 2552.

ศิรินทรา วันดี และ ธนิยา เกาศล. 2552. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้สารเร่ง ในการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7. ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่, สงขลา. วันที่ 21-22 พฤษภาคม 2552.

T. Kaosol and S. Wandee. 2008. Standard Thai Rubber Factory Waste Reuse for Composting in Thailand. Poster presentation at Moving Organic Waste Recycling towards Resource Management and for Biobased Economy International Conference :ORBIT2008. Wageningen, Netherland. 13th-15th October 2008.

T. Kaosol and S. Wandee. 2008. Co-Composting between Rubber Waste with Other Wastes for Reuse. Oral presentation at The Third GMSARN International Conference :GMSARN2008. Uchoice Hotel, Kunming, China. 12th-14th November 2008.

T. Kaosol and S. Wandee. 2009. Co-Composting of Rubber Waste with Sewage Sludge in Aerobic Reactor. Oral presentation at An International Perspective on Environmental and Water Resources :Thailand2009. Asian Institute of Technology, Thailand. 5th-7th January 2009.

S. Wandee and T. Kaosol. 2009. Enhancement of Co-Composting Performance for Rubber Waste with Cellulolytic Microbial Activator. Oral presentation at The 6th Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering :RSID6. Rama Garden Hotel, Bangkok, Thailand. 12th-13th January 2009.