รายงานวิจัย

เรื่อง

การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมัก จากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

The Study on Composting Processes from Food and Agricultural Waste

ผู้วิจัย

นางสาวธันวดี ศรีธาวิรัตน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

พ.ศ. 2547

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

รายงานวิจัยเรื่อง	การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
ผู้วิจัย	นางสาวธันวดี ศรีธาวิรัตน์
โปรแกรมวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ปีการศึกษา	2547

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ เศษผัก ผักตบชวาและฟางข้าว โดยการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 1) การศึกษาองค์ประกอบของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 2) การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก 3) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ และ 4) การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมัก ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักได้ควบคุมค่า C/N เริ่มต้นประมาณ 30 และควบคุมความชื้นตลอดระยะเวลาการหมักให้อยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 จากการศึกษาคุณสมบัติของเศษอาหารและวัสดุหมัก พบว่าปริมาณเศษอาหารต่อวัสดุหมักที่เหมาะสมเท่ากับ 1:4 โดยได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมัก ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ พบว่าปริมาณความชื้นตลอดระยะเวลาการหมักมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 90 วัน พบว่าเศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 44.43, 42.85 และ 40.02 ตามลำดับ อุณหภูมิในทุกชุดการทดลองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยในช่วง 21 วันแรก อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น และในช่วงสุดท้ายของการหมักอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ มีค่าอยู่ในช่วง 29.9 - 32.5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างในกองปุ๋ยหมักในช่วง 20 วันแรกของการหมักมีค่าลดลง อยู่ในช่วง 4.3-5.3 โดยในวันที่ 90 ของการหมัก ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยฟางข้าว ผักตบชวา และเศษผักมีค่าอยู่ในช่วง 7.25 – 7.56, 7.11 – 7.2, และ 6.75 – 7.07

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี พบว่าปริมาณคาร์บอนมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงตลอดระยะเวลาของการหมัก โดยในวันที่ 90 ของการหมักปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วงร้อยละ 30.50 - 31.15 ปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดคืออยู่ใน

ช่วงร้อยละ 2.07-3.28 ส่วนเศษผักและฟางข้าวมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 1.64 – 2.35 æær 0.11 – 1.77 ตามลำดับ อัตราส่วน CIN ในเวลาของการหมักมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 90 ของการหมัก อัตราส่วน CIN ของผักตบชวามีค่าต่ำที่สุดคือ 11.53 ส่วนฟางข้าวและเศษผักมีอัตราส่วน CIN เท่ากับ 17.57 æær 13.94 ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเศษผักมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.06 – 0.08 ส่วนฟางข้าวและผักตบชวามีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.01 – 0.03 และ 0.01 – 0.02 ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยฟางข้าวมีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.22 – 0.53 ส่วนผักตบชวาและเศษผักมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18 – 0.48 และ 0.17 – 0.28 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ประเภท Mesophile มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและมีค่าสูงสุดในวันที่ 77 ของการหมัก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง $7.50x10^{12}$ - $8.80x10^{13}$ CFU/g หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนสิ้นสุดการหมัก โดยในทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันคือ $7.00x10^{11}$ - $2.40x10^{12}$ CFU/g รูปแบบการเจริญเติบโตของ Thermophillic microorganisms มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน โดยพบว่ามีปริมาณสูงสุดในวันที่ 14 โดยมีค่าอยู่ในช่วง $3.80x10^{13}$ - $2.00x10^{14}$ CFU/g แล้วค่อยๆ ลดลง หลังจากวันที่ 21 ของการหมัก และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ อีกครั้ง โดยในวันที่ 90 ฟางข้าวมีค่าเท่ากับ $2.00x10^{12}$ CFU/g ผักตบชวามีค่าเท่ากับ $1.00x10^{12}$CFU/g และเศษผักมีค่า เท่ากับ $3.20x10^{11}$ CFU/g ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในปุ๋ยหมัก พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนสูงสุดคือร้อยละ 2.70 ส่วนเศษผักและฟางข้าวมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.18 และ 1.77 โดยปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองมีค่าไนโตรเจนสูงกว่ามาตรฐาน และพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน ดังนั้นในการใช้งานควรมีการปรับปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

Research Title The Study of Composting from Food and Agricultural Waste

Researcher Miss Thunwadee Srithawirat

Department Environmental Science

Faculty Science and Technology

Institute Phibulsongkram Rajabhat University

Academic Year 2004

ABSTRACT

The research was dealt with the composting of food waste and agricultural residuals. The goal of the project was to study on composting processes . The raw materials were food waste, water hyacinth, rice straw and vegetable residuals. The investigation was divided into four parts : 1) the determination of compost materials, 2) the investigation of suitable mixes of food waste and agricultural residuals, 3) the study on physical, chemical and biological changes during compost processes, and 4) the evaluation of major nutrients. The experimental conditions were as followed : A ratio of food waste and agricultural residuals was 1:4 and the initial C/N ratio and moisture content were controlled at approximately 30 and 50-60% , respectively.

The patterns of physical changes of all materials were similar. The moisture content on final stage of vegetable residuals, water hyacinth and rice straw were 44.43%,42.85% and 40.02%, respectively. The temperature patterns of all composts were similar. During the process, the highest temperature was the rice straw compost (45.3°C). At the end of the process, the temperature of all composts were same as ambient temperature (29.9-32.5°C). The pH of composts was extremely decreased during 20 days as 4.3-5.3 and The pH was increased on the final stage as 6.75-7.56.

The chemical changes had been shown that the carbon content and C/N ratio were gradually decreased during the process. At the end stage, the carbon content was 30.5-31.15%. The C/N ratio of water hyacinth, rice straw and vegetable residuals were 11.53, 17.53 and 13.94, respectively. Nitrogen content and phosphorus content were slightly increased during compost processes. At the end of the process, the nitrogen content of water hyacinth, vegetable residuals

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Phibulsongkram Rajabhat University

and rice straw were ranged between 2.07-3.28%, 1.64-2.35% and 0.11-1.77%, respectively. The percent of phosphorus of vegetable residuals, rice straw and water hyacinth were ranged between 0.06-0.08, 0.01-0.03 and 0.002-0.020, respectively. The amount of potassium was gradually decreased. The potassium content of rice straw was the highest reduction (0.22-0.53%). The potassium content of water hyacinth and vegetable residuals were 0.18-0.48% and 0.17-0.28%, respectively.

The biological changes had been shown that the mesophillic microorganisms were increased during first and middle stage(77 days). The peak of mesophile ranged in $7.5x10^{12}$ - $8.80x10^{13}$CFU/g. On the final stage, the mesophillic microorganisms were gradually decreased as $7.00x10^{11}$-$2.40x10^{12}$CFU/g. The pattern of thermophillic microorganisms were increased during 14 days and slightly decreased during the process. On 56 days, the thermophillic microorganisms were increased again. At the end of the process, the thermophillic microorganisms of rice straw, water hyacinth and vegetable residuals were $2.00x10^{12}$, $1.00x10^{12}$ and $3.20x10^{11}$CFU/g, respectively.

The investigation of major nutrients had been shown that the nitrogen content of water hyacinth, vegetable residuals and rice straw were 2.70%, 2.18% and 1.77%, respectively. The nitrogen content of all composts was over standard of fertilizer set by Land Develop Department. The amount of phosphorus and potassium of these composts were under the standard. Therefore, these composts could be used as fertilizer if external phosphorus and potassium reagents were supplied in the qualified amount before application.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับการสนับสนุนจากสภาสถาบันราชภัฏ และโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนนักศึกษาโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่มีส่วนร่วมในการเก็บข้อมูลในงานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมและสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่ารายงานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจทั่วไป ในการนำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำเป็นปุ๋ย เพื่อลดปริมาณขยะที่ตกค้างในสภาพแวดล้อม และเป็นทางเลือกให้เกษตรกรลดการใช้ปุ๋ยเคมี รักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน พร้อมทั้งเป็นแนวทางใหม่ในการกำจัดของเสียและมีส่วนร่วมในการรักษาสิ่งแวดล้อมให้ยั่งยืนต่อไป

ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย	ข
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฎ
	ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
	1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	3
	1.5 ขอบเขตการวิจัย	3
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 ปุ๋ย	4
	2.1.1 ความหมายของปุ๋ย	4
	2.1.2 ประเภทของปุ๋ย	4
	2.2 ปุ๋ยหมัก	4
	2.2.1 ความหมายของปุ๋ยหมัก	4
	2.2.2 การเลือกวัสดุในการทำปุ๋ยหมัก	5
	2.2.3 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก	5
	2.2.4 ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก	8
	2.2.5 รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมี	9
	2.2.6 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก	10
	2.2.7 ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก	13
	2.2.8 คุณสมบัติที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพของปุ๋ยหมัก	24
	2.2.9 ประโยชน์ของปุ๋ยหมักต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน	30

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.3 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช	32
	2.3.1 ธาตุอาหารหลัก	33
	2.3.2 ธาตุอาหารรอง	36
	2.3.3 ธาตุอาหารเสริม	36
	2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3	วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	41
	3.1 วัสดุและอุปกรณ์	41
	3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	41
	3.3 แผนการดำเนินการวิจัย	44
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	45
	4.1 การศึกษาองค์ประกอบของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	45
	4.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก	47
	4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ	47
	4.3.1 ปริมาณความชื้น	47
	4.3.2 อุณหภูมิ	48
	4.3.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง	50
	4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านเคมี	52
	4.4.1 ปริมาณคาร์บอน	52
	4.4.2 ปริมาณไนโตรเจน	53
	4.4.3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	54
	4.4.4 ปริมาณฟอสฟอรัส	55
	4.4.5 ปริมาณโพแทสเซียม	56
	4.5 การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ	57
	4.5.1 ปริมาณ Mesophilic microorganisms	57
	4.5.2 ปริมาณ Thermophilic microorganisms	58
	4.6 ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมัก	59

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี Phranakhon Rajabhat University

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	63
	5.1 สรุปผลการทดลอง	63
	5.2 ข้อเสนอแนะ	65
	เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก ก.	ผลการทดลอง	70
ภาคผนวก ข.	วิธีวิเคราะห์	82
ภาคผนวก ค.	การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	93

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ชนิดของแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีส ที่แยกได้จากกองปุ๋ยหมัก	12
ตารางที่ 2.2	ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งที่ย่อยสลายได้ง่ายชนิดต่างๆ	16
ตารางที่ 2.3	ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งที่ย่อยสลายยากชนิดต่างๆ	17
ตารางที่ 2.4	การกำหนดดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเค็มของปุ๋ยหมัก	25
ตารางที่ 2.5	การกำหนดดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเหมาะสมของปุ๋ยหมักที่มี C/N ratio ระดับต่าง ๆ	26
ตารางที่ 2.6	การกำหนดดัชนีของปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมัก	27
ตารางที่ 2.7	การกำหนดดัชนีของความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก	28
ตารางที่ 2.8	การกำหนดดัชนีคุณภาพของปุ๋ยหมักในปริมาณสิ่งเจือปน	28
ตารางที่ 2.9	การกำหนดดัชนีคุณภาพของธาตุอาหารหลักของพืชในปุ๋ยหมัก	29
ตารางที่ 2.10	การกำหนดมาตรฐานความชื้นของปุ๋ยหมัก	30
ตารางที่ 2.11	ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมัก	36
ตารางที่ 3.1	วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเศษอาหารและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	42
ตารางที่ 3.2	วิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ	43
ตารางที่ 4.1	องค์ประกอบของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	46
ตารางที่ 4.2	ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยหมัก	60
ตารางที่ 4.3	คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก	61
ตาราง ก.1	ปริมาณความชื้นในระหว่างการหมัก	71
ตาราง ก.2	อุณหภูมิในระหว่างการหมัก	72
ตาราง ก.3	ค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมัก	73
ตาราง ก.4	ปริมาณคาร์บอนในระหว่างการหมัก	74
ตาราง ก.5	ปริมาณไนโตรเจนในระหว่างการหมัก	75
ตาราง ก.6	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมัก	76
ตาราง ก.7	ปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมัก	77
ตาราง ก.8	ปริมาณโพแทสเซียมในระหว่างการหมัก	78
ตาราง ก.9	ปริมาณจุลินทรีย์ประเภท Mesophileในระหว่างการหมัก	79
ตาราง ก.10	ปริมาณจุลินทรีย์ประเภท Thermophile ในระหว่างการหมัก	80

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร Rajabhat University

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	รูปแบบของอุณหภูมิและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก	9
รูปที่ 2.2	การทำช่องระบายอากาศ	22
รูปที่ 2.3	ช่องระบายอากาศในกองปุ๋ย	22
รูปที่ 2.4	ไดอะแกรมแสดงธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืชทั้ง 16 ธาตุ	32
รูปที่ 4.1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในระหว่างการหมัก	48
รูปที่ 4.2	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการหมัก	49
รูปที่ 4.3	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมัก	51
รูปที่ 4.4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในระหว่างการหมัก	52
รูปที่ 4.5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในระหว่างการหมัก	53
รูปที่ 4.6	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมัก	54
รูปที่ 4.7	การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมัก	55
รูปที่ 4.8	การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในระหว่างการหมัก	56
รูปที่ 4.9	การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ Mesophile ในระหว่างการหมัก	59
รูปที่ 4.10	การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ Thermophile ในระหว่างการหมัก	59
รูปที่ 4.11	ลักษณะของปุ๋ยหมัก	62

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ประมวลคำศัพท์และคำย่อ

C/N ratio	Carbon/Nitrogen ratio
C/P ratio	Carbon/Phosphorus ratio
EC	Electrical Conductivity
dS/m	Disicemen/meter
CFU/g	Colony Forming Unit/gram

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันปริมาณขยะจากชุมชนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาปริมาณขยะมูลฝอยได้เพิ่มขึ้นทุกปี ในปี 2536 มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณวันละ 30,640 ตัน และเพิ่มขึ้นเป็นวันละ 39,225 ตัน ในปี 2545 โดยมีอัตราเพิ่มเฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.2 ต่อปี ซึ่งปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นจากชุมชนทั่วประเทศประมาณ 39,225 ตัน [1] การที่ขยะมูลฝอยมีปริมาณเพิ่มขึ้นมีสาเหตุมาจากประชากรมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นและมีความต้องการในการบริโภคมากขึ้น จึงส่งผลให้อัตราการผลิตขยะมากขึ้นด้วย

จากการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พบว่าการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนต่างๆ เกือบทั่วประเทศยังไม่เหมาะสม โดยเฉพาะชุมชนใหญ่ๆ เช่น กรุงเทพมหานครเมืองหลัก และเมืองท่องเที่ยวต่างๆ มีการจัดการขยะไม่สอดคล้องกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณขยะมูลฝอยที่สามารถกำจัดได้อย่างถูกหลักสุขาภิบาลมีประมาณร้อยละ 35 ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลทั่วประเทศ [2] ส่วนพื้นที่นอกเขตเทศบาลนั้น ส่วนใหญ่ยังไม่มีสถานที่กำจัดที่ถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งจะกำจัดโดยการกองทิ้งกลางแจ้งหรือเผากลางแจ้ง มีเพียงบางแห่งที่นำขยะมูลฝอยไปกำจัดอย่างถูกหลักสุขาภิบาลร่วมกับเทศบาล ส่วนชุมชนที่เป็นชนบทประชาชนจะกำจัดกันเองภายในชุมชน ขยะจากบ้านเรือนส่วนใหญ่เป็นขยะสด ได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก และผลไม้ โดยขยะเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ดังนั้นการนำไปกองไว้ไม่ว่า ณ สถานที่แห่งใดก็จะเกิดการบูดเน่า ส่งกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ขยะสดเหล่านี้มีความชื้นสูงจึงไม่เหมาะสมในการนำไปกำจัดโดยการเผา และไม่สามารถนำมาผ่านขบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่นเดียวกับวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ซึ่งได้แก่ ฟางข้าว และเศษวัชพืชต่าง ๆ ส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมกำจัดด้วยวิธีการเผา ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านมลพิษทางอากาศตามมา ดังนั้นวิธีที่เหมาะสมในกำจัดขยะเหล่านี้คือการฝังกลบ และจากการที่ขยะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนพื้นที่ในการกำจัดขยะ รวมทั้งมีการต่อต้านจากประชาชนในพื้นที่ ดังนั้นการนำขยะเหล่านี้มาทำปุ๋ยจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณขยะและลดปัญหาการต่อต้านจากชุมชนในท้องถิ่นได้ และยังนำผลผลิตที่

ได้ไปใช้ประโยชน์ในการเกษตร ซึ่งเป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมี และลดการตกค้างของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ปุ๋ยหมักเป็นวิธีการหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการหมักขยะให้กลายเป็นปุ๋ย โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ จนกระทั่งได้สารอินทรีย์ที่อยู่ในสภาพคงตัว ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ โดยในการศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากขยะเศษอาหารร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนี้ สามารถนำไปเป็นข้อมูลเสริมในการปรับปรุงกระบวนการและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งจะส่งผลในด้านลดต้นทุนในการผลิต ลดการใช้สารเคมี ลดการปนเปื้อนของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม อีกทั้งในด้านการกำจัดและลดปริมาณขยะ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 การศึกษาองค์ประกอบของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.2.3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.2.4 เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.3.2 ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.3.3 ทราบถึงปริมาณธาตุอาหารหลักในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.3.4 เกษตรกรมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ ได้

1.3.5 สร้างแนวทางใหม่ในการกำจัดเศษอาหารและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งระยะเวลาดำเนินงานเป็น 4 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 เก็บตัวอย่างและศึกษาองค์ประกอบของเศษอาหารและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ระยะที่ 2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ระยะที่ 3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ระยะที่ 4 ศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ตัวอย่างเศษอาหาร โดยทำการเก็บตัวอย่างเศษอาหารจากโรงอาหารของสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม ส่วนทะเลแก้ว

1.5.2 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่หาได้ในท้องถิ่น ได้แก่ เศษผัก ผักตบชวาและฟางข้าว

1.5.3 ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณคาร์บอน(C) และปริมาณไนโตรเจน(N)

1.5.4 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยกำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 30

1.5.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ mi และชีวภาพ ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ อุณหภูมิ(Temperature) ความชื้น (Moisture) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณคาร์บอน(C) ปริมาณไนโตรเจน(N) ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ปริมาณโพแทสเซียม (K) ปริมาณจุลินทรีย์ประเภท Mesophilic microorganisms ปริมาณจุลินทรีย์ประเภท Thermophilic microorganisms

1.5.6 ศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน(N) ปริมาณฟอสฟอรัส (P) และปริมาณโพแทสเซียม (K)

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปุ๋ย

2.1.1 ความหมายของปุ๋ย [4]

ปุ๋ย (Fertilizer) หมายถึง วัตถุหรือสารที่ใส่ลงไปในดิน โดยมีความประสงค์จะให้ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมเพิ่มเติมแก่พืชเพื่อให้ได้รับธาตุอาหารดังกล่าวในปริมาณที่เพียงพอและสมดุลกันตามที่ต้องการ และให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น ส่วนปุ๋ยตามความหมายในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 คือ เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตามสำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อความเติบโตแก่พืช

2.1.2 ประเภทของปุ๋ย อาจแบ่งปุ๋ยออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ดังนี้ [6]

2.1.2.1 ปุ๋ยอนินทรีย์ (Inorganic fertilizer) หรือปุ๋ยเคมี (Chemical fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม และปุ๋ยเชิงประกอบ และหมายความตลอดถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมถึงปูนขาว ดินมาร์ล ปูนพลาสเตอร์ หรือยิปซัม ปุ๋ยชนิดนี้ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติแต่เกิดขึ้นด้วยกระบวนการผลิตทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นอาจเรียกปุ๋ยชนิดนี้ว่า ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

2.1.2.2 ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic Fertilizer) เป็นปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุโดยผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การทำให้ชื้น การสับ การบด การหมัก การร่อน หรือวิธีการอื่นๆ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากอินทรียสารโดยตรง โดยทั่วไปอยู่ในรูปของ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด เป็นต้น

2.2 ปุ๋ยหมัก

2.2.1 ความหมายของปุ๋ยหมัก [12]

ปุ๋ยหมัก (Compost) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเศษพืชหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ โดยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในสภาพที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน จนกระทั่งได้สารอินทรียวัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น สีน้ำตาลปนดำ มีอัตราส่วนประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เมื่อ

กระบวนการย่อยสลายเศษพืชและวัสดุเสร็จสมบูรณ์ก็จะได้ปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงบำรุงดิน จุลินทรีย์ที่สำคัญในกระบวนการหมัก ได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคทีโนมัยซิท สารอินทรีย์ที่หมักได้จะมีปริมาณลดลงประมาณร้อยละ 30 - 65 และปุ๋ยหมักที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะได้สารประกอบที่เป็นสารคงตัวจำพวกฮิวมัส โดยมีลักษณะเป็นผงหรือก้อนเล็กๆ สีน้ำตาล นอกจากจะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil conditioner)

การที่กล่าวว่าปุ๋ยหมักเป็นวัสดุในการปรับปรุงดิน เนื่องจากการใส่ปุ๋ยหมักลงในดินจะช่วยปรับปรุงลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดิน รวมไปถึงสมบัติทางชีวภาพของดิน ทำให้ดินมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ช่วยเพิ่มการระบายอากาศในดิน และช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นต้น นอกจากนั้นปุ๋ยหมักยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งไม่มีส่วนประกอบของปุ๋ยเคมี

เมื่อพิจารณาถึงการทำปุ๋ยหมักเป็นการแสดงและยังบอกถึงแนวทางในการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นทรัพยากรที่มีประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการเกษตรกรรม สำหรับประเทศไทย ซึ่งประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตร และมีเศษพืชมากมายหลายชนิดเป็นจำนวนมากในไร่นา ดังนั้นการส่งเสริมหรือแนะนำให้เกษตรกรรู้จักนำเศษพืชมาทำปุ๋ยหมักขึ้นใช้เอง จึงนับว่าเป็นผลดีต่อการปรับปรุงบำรุงดินรวมถึงการลดต้นทุนในการผลิตผลผลิตทางการเกษตร

2.2.2 การเลือกวัสดุในการทำปุ๋ยหมัก

เนื่องจากวัสดุที่ใช้ผลิตปุ๋ยหมักมีหลายชนิด การที่จะเลือกใช้วัสดุใดเป็นวัตถุดิบในการผลิตนั้น มีปัจจัยสำคัญในการพิจารณาหลายประการ เช่น ปริมาณธาตุอาหาร เมื่อวัสดุสลายตัวแล้ว และความยากง่ายในการสลายตัว เพราะถ้าใช้วัสดุที่สลายตัวง่ายให้ธาตุอาหารสูง ย่อมทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีและใช้ได้รวดเร็ว ย่นระยะเวลาในการผลิต ความยากง่ายในการสลายตัวอาจพิจารณาจากอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน กล่าวคือ วัสดุที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ จะสลายตัวเร็วกว่าวัสดุที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง

2.2.3 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก [16]

การหมักเศษวัสดุเพื่อทำเป็นปุ๋ยเป็นการอาศัยขบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรียวัตถุส่วนที่ย่อยสลายได้ให้เป็นแร่ธาตุที่ค่อนข้างจะคงรูป และมีคุณค่าในทางเป็นปุ๋ยสำหรับบำรุงดินเป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนั้นเศษวัสดุที่หมักได้ที่แล้วปริมาตรจะลดลงประมาณร้อยละ 30-60 และยังสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่เกิดโรคได้อีกด้วย การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระยะแรก ๆ ที่มีออกซิเจนปนอยู่จะเกิดการย่อยสลายแบบแอโรบิค (Aerobic) สามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นไป

อย่างรวดเร็ว เมื่อออกซิเจนถูกใช้ไปจนหมด การย่อยสลายจะกลายเป็นแบบแอนแอโรบิค (Anaerobic) ซึ่งเป็นการย่อยสลายอินทรียวัตถุค่อนข้างช้า ทำให้เกิดกรดและก๊าซ จึงมีกลิ่นอันไม่พึงปรารถนาขึ้น เป็นเหตุให้เกิดความรำคาญ และอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนด้วย ซึ่งกระบวนการทำปุ๋ยหมักสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีดังนี้

2.2.3.1 การหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic decomposition)

การหมักแบบใช้ออกซิเจนเป็นการย่อยสลายวัสดุที่ย่อยสลายได้โดยใช้ออกซิเจน ซึ่งใช้เวลาในการย่อยสลายเร็วมาก และปล่อยพลังงานในรูปของความร้อนจำนวนมาก จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบอินทรียวัตถุไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการหมักโดยวิธีนี้จะมีข้อดีคือไม่มีกลิ่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักนั้นค่อนข้างสูงพอที่จะฆ่าเชื้อโรคที่อาจทำให้เกิดอันตรายต่อคนและให้ผลผลิตสุดท้ายที่เสถียร ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

อินทรียสาร (CHONS) + O_2 $\xrightarrow{\text{Aerobic Baetcrin}}$ $CO_2 + H_2O$ + Other end-products + Energy

การเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนได้นั้นต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่น มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิ ความชื้นพอเหมาะ ดังนั้นการหมักปุ๋ยแบบแอโรบิก วัตถุดิบที่ใช้ต้องไม่อัดแน่นจนเกินไป ต้องมีรูพรุนอยู่บ้าง จึงจะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายดีขึ้น นอกจากนี้การทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุต่างๆ ยังสามารถเพิ่มวัสดุอื่นลงไปได้ด้วย เช่น มูลสัตว์และสารเคมีบางชนิด การย่อยสลายโดยวิธีนี้เป็นไปได้เร็ว ในอุตสาหกรรมปุ๋ยขยะใช้เวลาประมาณ 5 วัน และไม่ส่งกลิ่นเหม็นรุนแรง โดยทั่วไปในการหมักแบบใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้คือ

ก) การหมักแบบใช้ออกซิเจนตามธรรมชาติ

การหมักแบบนี้มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า Windrow Composting โดยนำมูลฝอยที่มีอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายได้เช่น เศษพืช ซากพืช ใบไม้ หญ้า รวมทั้งมูลสัตว์ และอุจจาระไปกองรวมกันให้แต่ละกองมีขนาดเล็ก เพื่อให้มูลฝอยสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศมากที่สุด แต่ถ้ากองรวมกันให้เป็นขนาดใหญ่มูลฝอยที่อยู่ข้างในอาจได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดสภาพการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นได้ นอกจากนั้นจะต้องมีการพลิกขยะกลับเป็นครั้งคราวเพื่อให้ออกซิเจนเข้าไปในกองปุ๋ยหมักขยะได้มากที่สุด การหมักแบบนี้จึงมักมีกองขยะกว้างประมาณ 2.00 - 3.00 เมตร สูงประมาณ 1.20 - 1.80 เมตร ให้ยาวไปตามพื้นที่เป็นแถวขนานกันไปหลาย ๆ แถว เต็มพื้นที่หรือตามจำนวนขยะที่มีอยู่ ขยะจะถูกย่อยให้เป็นปุ๋ยภายในระยะเวลา 3 - 8 เดือน

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพแวดล้อมทั่วไปได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ข) การหมักโดยเร่งอัตราการย่อยสลายโดยใช้เครื่องจักรกลช่วย

วิธีนี้เรียกว่า High Rate Comporting มีการใช้เครื่องมือช่วยให้ออกซิเจนในอากาศสัมผัสกับมูลฝอยได้มากที่สุด อาจใช้พัดลมหรือใบพัดให้อากาศหมุนเวียนหรืออาจทำเป็นกระทะเจาะรูมีการพลิกกลับ นอกจากใช้เครื่องจักรกลเติมออกซิเจนให้มูลฝอยแล้วในการหมักจำเป็นต้องทำให้มูลฝอยเป็นชิ้นเล็ก และแยกส่วนที่ไม่ย่อยสลายออกจะช่วยให้สัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้น การย่อยสลายก็จะเร็วขึ้นด้วย ใช้เวลาประมาณ 5 - 7 วัน การหมักขยะโดยวิธีนี้จำเป็นต้องสร้างเป็นโรงงานและมีเครื่องจักรกล ซึ่งต้องลงทุนค่อนข้างสูงนอกจากนั้นในระหว่างการดำเนินงานก็ต้องมีวิศวกรผู้มีความรู้ความชำนาญเป็นผู้ควบคุมด้วย จึงทำให้เป็นปัญหาเกี่ยวกับเงินลงทุน และดำเนินการ รวมทั้งค่าซ่อมแซมดูแลรักษาด้วย

2.2.3.2 การหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic decomposition)

การหมักแบบไร้อากาศ เป็นการย่อยสลายสารอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนในอากาศ ซึ่งของเสียที่นำมาใช้ในการหมักจะอยู่ในลักษณะกึ่งของเหลว (Slurry) การย่อยสลายแบบไร้อากาศนั้นอุณหภูมิจะต่ำและมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้น โดยมีอัตราการสลายตัวอย่างช้าๆและใช้เวลานาน แต่มีข้อดีคือ ไม่ต้องดูแลมาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

อินทรียสาร (CHONS) $\xrightarrow{\text{Anaerobic Bacteria}}$ $CO_2 + CH_4 + NH_3 + H_2S$ + Other end-products + Energy

จากศึกษากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปุ๋ยหมักทั้งแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic) และแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) พบว่าการหมักแบบใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพมากกว่าการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพราะว่าสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่า ส่วนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องใช้เวลาในการหมักนาน มีกลิ่นรบกวนและอาจมีเชื้อโรคปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก

2.2.4 ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน [16] คือ

2.2.4.1 Active stage หมายถึง ระยะแรกของการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นกระบวนการการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทต่อการย่อยสลาย กิจกรรมเหล่านี้จะถูกดำเนินอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 สัปดาห์แรกของการหมัก ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2.2.4.2 Curing stage แบ่งออกเป็น

ก) Stabilization หมายถึง ระยะที่ 2 ของการทำปุ๋ย (ต่อจากกระบวนการย่อยสลาย) เมื่อปุ๋ยหมักคงตัวแล้ว จะมีคุณสมบัติดังนี้ คือ อัตราของ Metabolic processes ช้า และปุ๋ยมีอุณหภูมิต่ำ อยู่ในรูป ฮิวมัส (humus)

ปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรต้องถูกทำให้เสถียรเพื่อให้พืชนำไปใช้ได้ง่าย ซึ่งในกระบวนการทำปุ๋ยหมักนั้นในระยะแรกของการย่อยสลายนั้นจะได้ Metabolism product ที่มีพิษเรียกว่า Phototoxin และเมื่อปุ๋ยเข้าสู่ระดับเสถียร (stabilization) แล้ว สารพิษจะลดลง สามารถแยกระดับเสถียร ได้ดังนี้

ข) Humification หมายถึง กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น โพลิเมอร์ของโพลีแซคคาไรน์, ฟีนอล และลิกนิน ซึ่งเป็นสารที่ย่อยสลายช้า พลังงานที่ได้จากกระบวนการนี้ส่วนหนึ่งจะเก็บไว้สร้างเซลล์ใหม่ Humification ที่เตรียมเข้าสู่ระดับเสถียร มีคุณสมบัติดังนี้

ข.1) Hurnified Organic Matter : ต้องมีสารอินทรีย์คาร์บอนอย่างน้อยร้อยละ 10

ข.2) C/N Ratio : เป็นคุณสมบัติทางไดนามิคโดยขึ้นอยู่กับค่าวัตถุดิบที่เริ่มต้น (สูงหรือต่ำ) ดังนั้นต้องแสดงค่า C/N เริ่มต้น และสุดท้ายไว้ในรายละเอียดขั้น Stabilization ค่า C M สุดท้ายควรต่ำกว่า 22 แต่ในทางการค้า ค่า C M เริ่มต้นมากกว่า 35 - 40

ค) Phototoxicity หมายถึง สารพิษที่เป็นอันตรายต่อพืช (Metabolic Toxins) ถูกผลิตออกมาในระหว่างการย่อยสลาย แต่ลดลงในระยะ Stabilization การวัดค่าความเป็นพิษ(Toxicity)โดยวิธีทางชีววิทยา(Biological Test) เป็นการชี้ระดับการย่อยสลาย ช่วยประเมินความสามารถของพืชว่าอยู่ในระดับที่นำไปใช้ได้หรือไม่ ในปัจจุบันนี้สามารถวิเคราะห์หา 61 ความเป็นพิษได้โดยตรง เพื่อหาความบกพร่องในขั้น Stabilization การวัดค่าความเป็นพิษของปุ๋ยในโรงงานทำได้ทันที ค่าที่ได้จากการทดสอบต้องควบคุมอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ผลิตปุ๋ย

ง) Latent Metabolisin หมายถึงกระบวนการทำให้เสถียรสารอินทรีย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ Metabolism ถ้าการทำให้เสถียรไม่สมบูรณ์ ทำให้มีการเปลี่ยนกลับสู่กระบวนการ Metabolism ในสภาพเดิมล่าช้า การวิเคราะห์ Latent Metabolism ในห้อง

ปฏิบัติการมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะเวลาของกระบวนการที่ใช้ แม้ว่าจะไม่ทราบผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและใช้ในการประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้เพื่อการเกษตร ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุเริ่มต้น

2.2.5 รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมี [7]

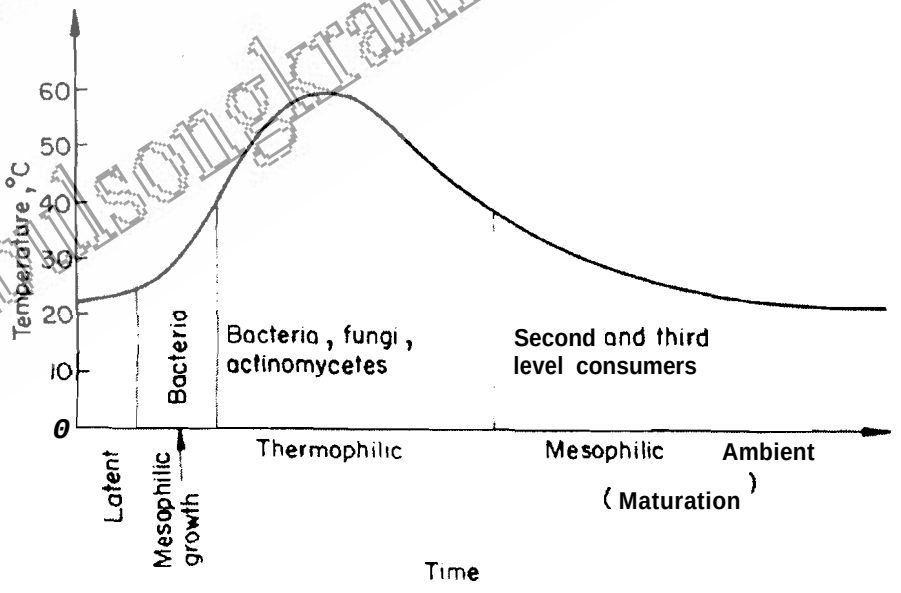
รูปแบบการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักสามารถทราบได้จากลักษณะของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (รูปที่ 2.1) ดังต่อไปนี้

2.2.5.1 Latent Phase คือช่วงเวลาสำหรับที่จุลินทรีย์ปรับตัวสร้างความเคยชินให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมใหม่ เพื่อสร้างเซลล์ และเพิ่มจำนวน

2.2.5.2 Growth Phase เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิถึงระดับ Mesophile ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยที่อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 15-40 องศาเซลเซียส

2.2.5.3 Thermophilic Phase ในขั้นตอนนี้มีการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิจะเพิ่มสูงถึง 45-60 องศาเซลเซียส หรือมากกว่านี้ เป็นช่วงที่เกิดการย่อยสลายสูงสุดจนทำให้เกิดความร้อนสะสมในกองปุ๋ยหมัก ในระยะนี้อินทรียวัตถุได้ถูกเปลี่ยนให้มีความคงตัว และมีการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ

2.2.5.4 Maturation Phase คือระยะเวลาที่อุณหภูมิลดลงอยู่ในระดับ Mesophile และลดลงเรื่อยๆ จนอยู่ในระดับอุณหภูมิบรรยากาศทั่วไป การหมักขั้นที่ 2 จะเกิดขึ้น แต่เกิดอย่างช้าๆ และมีการสร้างฮิวมัส โดยการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์เชิงซ้อนบางอย่างให้อยู่รูปของฮิวมัสที่อยู่ในรูปของคอลลอยด์ (Humic colloids) ซึ่งจับตัวอยู่กับแร่ธาตุต่างๆ เช่น เหล็ก, แคลเซียม, โซเดียม เป็นต้น และในที่สุดกลายเป็นฮิวมัส ช่วงนี้เป็นระยะใกล้เสร็จสิ้นของการย่อยสลายแล้ว



รูปที่ 2.1 รูปแบบของอุณหภูมิและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก [7]

2.2.6 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก [9]

กระบวนการย่อยสลายเศษวัสดุในกองปุ๋ยหมักเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง จนกระทั่งเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ความร้อน และสารประกอบฮิวมัส เมื่อกระบวนการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ได้สารประกอบที่มีความคงทน ที่เรียกว่าปุ๋ยหมัก (Comport) กระบวนการย่อยสลายดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกัน และเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักเปลี่ยนแปลงไปตามขั้นตอน โดยระดับอุณหภูมิเปลี่ยนไป ทำให้ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์โดดเด่นแตกต่างกันออกไป จากผลของการวิจัยพบว่าในช่วงแรกซึ่งเป็นระยะสั้นๆ ประมาณ 1 - 2 วัน กระบวนการย่อยสลายเศษพืชในกองปุ๋ยหมักเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ย่อยสลายง่าย หรือสารประกอบที่ละลายน้ำได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงเพิ่มขึ้นเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส มีผลทำให้จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลางเริ่มลดปริมาณลง เนื่องจากไม่สามารถเจริญเติบโตและดำรงชีวิตอยู่ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงเริ่มเจริญและเพิ่มปริมาณมากขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์พวกนี้ยังคงดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะสารประกอบที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น ไซแลน เซลลูโลส และลิกนิน ในช่วงนี้สามารถตรวจพบเสมอว่าจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพได้ในสภาพนี้มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสและลิกนินได้ดี เมื่อความร้อนสะสมในกองปุ๋ยหมักมากเกินกว่า 65 องศาเซลเซียส มีผลทำให้จุลินทรีย์หลายชนิดตายลงและมีผลทำให้อัตราการย่อยสลายลดลง ส่งผลให้จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักลดลงด้วย เมื่ออุณหภูมิลดลงถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงสามารถเจริญและดำเนินการย่อยสลายได้อีก ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอีก ลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักช่วงนี้อยู่ในช่วงประมาณ 45 - 65 องศาเซลเซียส และค่อนข้างคงที่ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้ จนกระทั่งสภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักไม่เหมาะสม หรือวัสดุในกองปุ๋ยหมักถูกย่อยสลายไปจนใกล้สมบูรณ์ อุณหภูมิลดลง ในช่วงที่เกิดมากการย่อยสลายอย่างต่อเนื่องควรที่จะปรับสภาพในกองปุ๋ยหมักให้เหมาะสม ได้แก่ การระบายอากาศ และการควบคุมความชื้น ซึ่งทำให้อัตราการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงดำเนินได้อย่างต่อเนื่องและส่งผลให้เกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วจนทำให้ระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักสิ้นสุดลง

ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักดังกล่าวข้างต้นเกิดขึ้นอย่างเป็นขั้นตอนตามกิจกรรมของจุลินทรีย์แต่ละกลุ่ม ซึ่งเห็นได้ว่ากระบวนการย่อยสลายดังกล่าวต้องอาศัยจุลินทรีย์หลายประเภทประกอบกันในลักษณะของเชื้อผสม (Mixed culture) ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ คือ

2.2.6.1 แบคทีเรีย (Bacteria)

จุลินทรีย์พวกนี้มีขนาดค่อนข้างเล็กแต่มีปริมาณมากที่สุดในกองปุ๋ยหมัก ประมาณร้อยละ 80 - 90 ของจุลินทรีย์ที่พบในกองปุ๋ยหมัก โดยเฉพาะในช่วงของกระบวนการทำปุ๋ยหมัก และมักตรวจพบในปริมาณที่มากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นเสมอ ซึ่งปริมาณของจุลินทรีย์จะแปรผันไปตามสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก และพบว่าเชื้อแบคทีเรียค่อนข้างมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายและการเกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมัก

2.2.6.2 เชื้อรา (Fungi)

ในกองปุ๋ยหมักตรวจพบเชื้อราอยู่เสมอ แต่ชนิดและปริมาณของเชื้อราจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ความชื้น และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม การที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและมีความชื้นสูงเป็นสภาพที่เหมาะสมกับเชื้อแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงมักตรวจพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของปุ๋ยหมัก ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นน้อยกว่าภายในกองปุ๋ยหมัก จากการศึกษาในกองปุ๋ยหมักในช่วงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถพบเชื้อราได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อราลดลงอย่างมาก แต่เมื่ออยู่ในสภาพที่แห้งพบว่าอุณหภูมิสูงขนาด 62 - 63 องศาเซลเซียส ยังสามารถตรวจพบเชื้อราได้

2.2.6.3 แอคติโนมัยซีส (Actinomycetes)

ลักษณะของแอคติโนมัยซีสเมื่อเจริญเป็นกลุ่มบนวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักจะสังเกตเห็นได้โดยเป็นจุดขาวๆ คล้ายผงปูนขาว ซึ่งลักษณะเช่นนี้เห็นได้ในกองปุ๋ยหมักหลังจากอุณหภูมิขึ้นสูงถึงจุดสูงสุด จากข้อมูลการค้นคว้าวิจัยต่างๆ พบว่าแอคติโนมัยซีส สามารถเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียส และการเจริญจะลดลงหรือหยุดชะงักเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 75 องศาเซลเซียส ความสามารถที่เจริญได้ในสภาพที่อุณหภูมิสูงแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของแอคติโนมัยซีส

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตารางที่ 2.1 ชนิดของแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีส ที่แยกได้จากกองปุ๋ยหมัก [9]

แบคทีเรีย	เชื้อรา	แอคติโนมัยซีส
Achromobacter sp.	*Alternaria tennis*	*Micromonospora vulgaris*
Angiococcus sp.	*Aspergillus amstelodami*	*Nocardia brasilensis*
Bacillus subtilis	*Cephalosporium sp.*	*Strptomyces thermofuscus*
G. stearothermophilus	*Cladosporium herbarum*	*S. thermophilus*
Cellfacicula sp.	*Coprinus cinrrrus*	*S. thermoviolaceus*
Cellulomonas sp.	*Geotrichum candidurn*	*S. thermovulgalis*
Cellvibrio sp.	*Paecilomyces*	*S. violacesus-ruber*
Clostridium sp.	*Polyporus vrrsicolor*	*Streptosporangium sp.*
Myxococcus virescens	*Scopulariopsis brevicantis*	*Thermoactinomyces vulgalis*
M. fulvus	*Trichoderma viridae*	*Thermomonosphora curvata*
Polyangium sp.	*Aspergillus fumigatus*	*T. fusca*
Psuedomonas sp.	*Chaetomium thermophilum*	*Thermopolyspora polyspora*
Sorangium sp.	*Humicola insolens*	
Sporocytophaya sp.	*H. lanuginosa*	
Thiolobacillus thiooxidans	*Mucor pusillus*	
T. denitrificans	*Penicillium duponti*	
	Sporotrichum thermophile	
	Talaromyces thermophilis	
	Thermoascus aurantiacus	

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2.2.7 ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก [17]

ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายอาจจะส่งเสริม หรือลดอัตราการย่อยของวัสดุได้ ดังนั้น สภาพแวดล้อมต่างๆ ภายในกองปุ๋ยหมัก จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ และมีผลต่อการย่อยสลายด้วย ปัจจัยสภาพแวดล้อมดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.2.7.1 ปัจจัยทางด้านกายภาพ

ก) ชนิดของวัสดุหมัก [11]

ในการทำปุ๋ยหมักสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งในรูปของแข็งมาใช้ในการทำปุ๋ยหมักได้โดยวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มปริมาตรและขนาดในกระบวนการหมัก หรือทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนในกระบวนการหมัก

โดยปกติวัสดุเหลือทิ้งในรูปของแข็ง (Bulking agent) ที่นำมาทำปุ๋ยหมักมักเป็นวัสดุเหลือใช้ประเภทต่างๆ และมีปริมาณเหลือทิ้งในแต่ละปีสูงมาก สามารถจำแนกเป็นแหล่งใหญ่ๆ ดังนี้ A0

ก.1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจึงมีอยู่ทั่วไปและหลายรูปแบบ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกข้าวมีอยู่สูงถึง 73 ล้านไร่ ในขณะที่เนื้อที่อีกประมาณ 47 ล้านไร่ ใช้ในการเพาะปลูกพืชอื่นๆ ดังนั้น ฟางข้าวจึงน่าจะเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและเหมาะสมที่จะนำมาทำปุ๋ยหมัก นอกจากนั้นจะเป็นส่วนของลำต้น ใบและเปลือกของพืชชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ เช่น ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด ต้นและเปลือกถั่วชนิดต่างๆ และเศษต้นอ้อย เป็นต้น

ก.2) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศหนึ่งที่กำลังพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตทางด้านอุตสาหกรรมให้สอดคล้องกับผลผลิตทางด้านเกษตรกรรม โดยการแปรรูปผลผลิตเหล่านี้ให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป จึงก่อให้เกิดวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมากมายหลายชนิด เช่น กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบจากโรงสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงเลื่อยเพื่อแปรรูปไม้ ขุยมะพร้าวจากโรงงานบางประเภท ไส้ปอและขุยไผ่จากโรงงานผลิตกระดาษ และเศษวัสดุเหลือใช้อื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และผลไม้กระป๋อง เป็นต้น อย่างไรก็ตามวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ ชานอ้อย เนื่องจากมีปริมาณมากกว่าวัสดุประเภทอื่น และคุณสมบัติต่างๆ เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิต นอกจากวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งแล้วยังมีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดที่สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ โดยใช้แทนน้ำในการรักษาระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมัก และยังเป็นแนวทางในการกำจัดน้ำทิ้งเหล่านี้ด้วย เช่น น้ำกากส่าจาก

โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตผงชูรส น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง และน้ำทิ้งจากโรงงานประกอบอาหารและผลไม้กระป๋อง เป็นต้น

ก.3) วัสดุเหลือใช้จากบ้านเรือน

ในเขตชุมชนที่มีประชากรอยู่รวมกันอย่างหนาแน่นมักมีปัญหาในด้านวัสดุเหลือใช้ ซึ่งได้แก่ ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากบ้านเรือน ซึ่งปัจจุบันประมาณกันว่าในแต่ละวันประเทศไทยมีขยะที่ต้องกำจัดทิ้งวันละ 33,000 ตัน โดยในเขตกรุงเทพมหานครมีปริมาณประมาณวันละ 5,600 ตัน และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำขยะเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ คือ การนำมาทำปุ๋ย ซึ่งกรุงเทพมหานครได้นำแนวทางนี้ไปใช้เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ แต่ต้องทำการแยกวัสดุที่ปะปนออกก่อน เช่น เศษแก้ว เศษโลหะ และเศษพลาสติก ปัจจุบันกำลังการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของกรุงเทพมหานครไม่สามารถรองรับปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นทุกวัน จึงเหลือขยะจำนวนมาก และเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นแหล่งก่อกำเนิดพาหะนำโรคมาสู่คน ดังนั้นการทำปุ๋ยหมักโดยใช้เศษขยะจากครัวเรือน รวมทั้งใบไม้ เศษหญ้า และมูลสัตว์เลี้ยงมาเป็นวัสดุทำปุ๋ยหมักนั้น นอกจากได้ปุ๋ยหมักไว้ใช้ในครัวเรือนแล้วยังเป็นการช่วยลดมลภาวะอีกทางหนึ่งด้วย

ก.4) วัชพืช

นอกจากวัสดุเหลือใช้ทั้ง 3 ประเภทที่กล่าวแล้วข้างต้นยังมีวัชพืชประเภทต่างๆ ทั้งวัชพืชบกและวัชพืชน้ำหลายชนิดที่สามารถนำมาทำปุ๋ยหมัก เช่น หญ้ายาง หญ้าดอกขาว ต้นกกชนิดต่างๆ สะเดาดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผักตบชวาที่เป็นปัญหาในการกำจัดอยู่ในขณะนี้ การนำผักตบชวามาทำปุ๋ยหมักจึงนับว่าเป็นแนวทางในการกำจัดที่ดี

จากการรวบรวมข้อมูลของค่าวิเคราะห์ทางเคมีของธาตุอาหารหลักของพืชในวัสดุเหลือทิ้งชนิดต่างๆ ของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [6,10] ทั้งที่ได้จากในไร่นา และจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท พบว่าระดับของธาตุอาหารหลักของพืชมีความผันแปร ขึ้นกับชนิดของวัสดุ หรือ ถึงแม้ว่าเป็นพืชชนิดเดียวกัน แต่คนละส่วนก็มีระดับธาตุอาหารแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้แบ่งวัสดุเหลือทิ้งออกเป็น 2 ประเภท คือ ในกรณีที่วัสดุมีค่าอัตราส่วน C/N ต่ำกว่า 100:1 จัดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย และในกรณีที่วัสดุมีค่าอัตราส่วน C/N มากกว่า 100:1 จัดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายยาก จากค่าเฉลี่ยของค่าวิเคราะห์เคมีของวัสดุเหลือทิ้งที่ย่อยสลายง่าย ดังแสดงในตารางที่ 2.2 พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 1.07 (±0.53) ปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.37 (±0.25) ปริมาณโปแตสเซียมร้อยละ 2.92 (±1.82) ค่าอัตราส่วน C/N 55.29 (±19.23) และมีปริมาณความเป็นกรด-ด่าง 6.48 (±1.60)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Phibulsongkram Rajabhat University

สำหรับค่าเฉลียของการวิเคราะห์เคมีของวัสดุเหลือทิ้งที่ย่อยสลายยาก ได้แสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งพบว่ามีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.37 (±0.11) ปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.15 (±0.10) ปริมาณโปแตสเซียมร้อยละ 1.09 (±1.03) ค่าอัตราส่วน C/N 170 (±64.65) และมีปริมาณความเป็นกรด-ด่าง 6.19 (±0.80) จากการพิจารณาค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุอาหารหลักของวัสดุทั้ง 2 ประเภท พบว่าวัสดุในกลุ่มที่ย่อยสลายง่ายมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมสูงกว่าในวัสดุที่ย่อยสลายยาก 2 - 3 เท่า ในลักษณะเช่นนี้คาดว่าปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุทั้ง 2 ประเภทนี้ มีปริมาณธาตุอาหารพืชดังกล่าวแตกต่างกันด้วย และจากค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในวัสดุที่ย่อยสลายง่ายและย่อยสลายยาก พบว่าวัสดุที่ย่อยสลายยากมีโครงสร้างที่คงทนต่อการย่อยสลายองค์ประกอบดังกล่าว ได้แก่ ส่วนของเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูงในวัสดุที่ย่อยสลายยาก ส่วนประกอบหลักของเซลลูโลสและลิกนิน ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ดังนั้นถ้าเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนในวัสดุที่ย่อยสลายง่ายและย่อยสลายยาก จะเห็นว่ามีปริมาณแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน ซึ่งก็คือ ในวัสดุที่ย่อยสลายง่ายมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 49.07 (±8.85) และวัสดุที่ย่อยสลายยากมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 57.15 (i3.91) เนื่องจากส่วนของคาร์บอนมีปริมาณมากในองค์ประกอบของวัสดุที่ย่อยสลายยากจึงมีผลทำให้ปริมาณธาตุอาหารของพืชน้อยกว่าวัสดุทีย่อยสลายง่าย

การเลือกชนิดของ Bulking agent เพื่อนำมาใช้ในการทำปุ๋ยหมัก ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆ เช่น อัตราส่วน C/N Ratio ปริมาณเถ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการดูดซับ และปริมาณความชื้น จากการศึกษาของ Martin และคณะ [29] พบว่า ค่า C/N Ratio ของ Bulking Agent ไม่ควรต่ำกว่า 35 และค่า C/N Ratio ของ Bulking agent ต้องมีค่าสูงกว่าค่า C/N Ratio ของของเสียที่นำมาหมักร่วมกัน (Organic waste ควรมีค่า C/N Ratio ประมาณ 25) ซึ่งจะทำให้กระบวนการหมักดำเนินไปได้ดีและมีประสิทธิภาพ ส่วนปริมาณเถ้า (Ash) เริ่มต้นใน Bulking agent และในของเสียที่นำมาหมักร่วมกันไม่ควรสูงเกินไป เพราะทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณเถ้าสูงตามไปด้วย

มหาวิทยาลัยนเรศวร Naresuan University Pibulsongkram Rajabhat University

ตารางที่ 2.2 ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งที่ย่อยสลายได้ง่ายชนิดต่างๆ [6,7]

ชนิดของวัสดุ	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	C (%)	C/N Ratio	pH
ฟางข้าว	0.55	0.09	2.39	48.82	89	8.20
ผักตบชวา	1.27	0.71	4.84	43.56	34	7.80
หญ้าขน	1.38	0.34	3.69	48.66	35	7.10
ต้นข้าวโพด	0.53	0.15	2.21	33.00	62	8.20
มันสำปะหลัง						
เปลือก (เปียก)	0.60	0.22	0.67	48.85	81	3.6
เปลือก (แห้ง)	0.59	0.19	0.77	31.52	53	4.45
เหง้า	1.48	0.48	1.01	54.49	37	4.7
สับปะรด						
เปลือก (โรงงาน)	1.79	0.85	5.46	46.80	26	7.60
ใบ (สด)	1.12	0.48	2.64	53.84	48	6.05
เศษ (an)	0.82	-	-	49.95	61	9.05
ส่วนของเปลือก						
เปลือกถั่วคาโลโปโกเนียม	2.30	0.54	2.94	53.49	42	5.70
เปลือกเมล็ดกาแฟ	0.93	0.14	6.22	65.05	70	6.30
เปลือกถั่วลิสง	0.73	-	-	58.36	75	6.40
เปลือกทุเรียน	0.83	0.19	2.15	50.63	61	5.50
ค่าเฉลี่ย	1.07	0.37	2.92	49.07	55.29	6.48
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.53	0.25	1.82	8.85	19.23	1.60
ค่าต่ำสุด	0.53	0.14	0.67	31.52	26	3.6
ค่าสูงสุด	2.30	0.85	6.22	65.05	89	9.05

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต Rajabhat University

ตารางที่ 2.3 ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งที่ย่อยสลายยากชนิดต่างๆ [6,7]

ชนิดของวัสดุ	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	C (%)	C/N Ratio	pH
ขี้เลื่อย						
ไม้เบญจพรรณ	0.32	0.16	2.45	62.70	196	5.4
ไม้ยางเก่า	0.25	0.15	0.53	56.37	225	7.4
ไม้ยางใหม่	0.19	0.36	0.40	58.41	307	7.5
อ้อย						
ใบอ้อย	0.49	0.32	0.58	51.52	105	6.20
กากอ้อย	0.40	0.15	0.44	57.69	146	6.05
อื่นๆ						
ขุยมะพร้าว	0.36	0.05	2.94	60.13	167	6.15
แกลบ	0.36	0.09	1.08	54.72	152	6.18
ต้นปอกระเจา (โรงงาน)	0.45			51.83	115	5.30
เปลือกเมล็ดปาล์มบด	0.52	0.03	0.30	60.95	117	5.49
ค่าเฉลี่ย	0.37	0.15	1.09	57.15	170	6.19
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.11	0.10	1.03	3.91	64.65	0.08
ค่าต่ำสุด	0.19	0.03	0.30	51.52	105	5.3
ค่าสูงสุด	0.52	0.36	2.94	62.70	225	7.5

PI) ขนาดและรูปร่างของวัสดุที่ใช้หมัก [11]

อัตราเร็วในการเกิดออกซิเดชันทางด้านชีววิทยาเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณของพื้นที่ผิวที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ ถ้าพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์ยึดเกาะได้ดีและทำให้การย่อยสลายเร็วขึ้น วัสดุในการหมักควรมีขนาดเล็ก แต่ต้องมีช่องว่างเพียงพอที่จะระบายอากาศ ถ้ามีขนาดเล็กเกินไปจะลดอัตราการระบายอากาศของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนขนาดของวัสดุที่เหมาะสมในการหมักควรมีขนาดความยาวแต่ละชิ้นส่วนประมาณ 5 เซนติเมตรหรือเล็กกว่า ในกรณีที่นำมูลฝอยมาหมักเป็นปุ๋ยนั้น ขนาดที่เหมาะสมต่อการหมักคือ 0.5-1.5 นิ้ว ซึ่งจะเป็นพื้นที่ผิวที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ค) ความชื้น [16]

ความชื้น เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากปฏิกิริยาในระบบ Metabolism ต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์และการปลดปล่อย Extracellular enzyme ออกมาภายนอกเซลล์จุลินทรีย์ย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่

ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกำหนดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนพื้นผิวของวัสดุหมัก เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหาร และก๊าซออกซิเจนจากวัสดุหมักและอากาศไปยังจุลินทรีย์ และยังเป็นตัวกลางในการส่งเอนไซม์เข้าย่อยสลายวัสดุหมักด้วย นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นตัวกำหนดปริมาณก๊าซในวัสดุหมักด้วย [17]

โดยปกติภายในกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงทำให้น้ำระเหยจากกองปุ๋ยตลอดเวลา ถึงแม้ว่าสารอินทรียวัตถุมีคุณสมบัติที่อุ้มน้ำได้ดีก็ตาม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมลงในกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้ปริมาณความชื้นมากหรือน้อยเกินไป ระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายประมาณร้อยละ 50-60 (โดยน้ำหนัก) ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายเกิดขึ้นช้าเพราะมีน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ถ้าความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 ทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไปการระบายอากาศไม่ดี จนทำให้เกิดสภาพไม่มีอากาศ กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้าเช่นเดียวกัน เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการอากาศหรือต้องการออกซิเจนในการสร้างพลังงาน นอกจากความชื้นมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต และกิจกรรมของจุลินทรีย์ยังมีผลทางอ้อมต่อการระบายอากาศด้วย กล่าวคือถ้าความชื้นมีมากเกินไปการแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักเกิดได้ยาก จนทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจน และมีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวแล้ว ยังทำให้เกิดการหมักแบบสภาพไม่มีอากาศ เกิดกลิ่นเหม็นในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ระเหยจำพวก มีเทน ฟอสฟีน และไฮโดรซัลไฟด์ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ และมีผลทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารจากวัสดุเศษพืชในระหว่างการทำปุ๋ยหมักด้วย เช่น ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนีย เป็นต้น [17]

Vangnai [40] รายงานว่าถ้ามีการย่อยสลายเศษพืช โดยไม่จำกัดระยะเวลาและไม่ให้สารตัวเร่งใด ๆ เลย เศษพืชจะย่อยสลายได้อย่างช้า ๆ แต่ต้องมีการให้น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้เพียงพอต่อการทำงานของจุลินทรีย์ด้วย และถ้าต้องการให้มีการย่อยสลายเร็วในระยะเวลาอันจำกัด ก็อาจต้องมีการเติมสารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ ลงไปในกองวัสดุเศษพืช ให้ความชื้นในกองเศษพืชประมาณร้อยละ 50 - 70 และมีการกลับกองปุ๋ยหมักทุก 5 - 7 วัน ถ้าต้องการให้มีการย่อยสลายเร็ว

Tiquia และคณะ [37,38,39] ได้ศึกษาหาระดับความชื้นที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักที่ได้จากมูลสุกร จากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ใช้ระบบ Pig-On-Litter System (POL System) โดยเป็นการเลี้ยงสุกรบน Litter Bedding (ส่วนผสมของขี้เลื่อยกับ Bacterial Product ซึ่งส่วนของ Bedding นี้หนาประมาณ 20 - 30 เซนติเมตร) ซึ่งของเสียที่ออกมาจากสุกร (ทั้ง Faeces และ Urine) ถูกย่อยสลายแบบ In-situ บน Bedding material โดยเมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้ว Product ที่ได้เรียกว่า Spent litter ซึ่งจะนำไปผ่านกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดสภาพความเป็นปุ๋ยที่สมบูรณ์พร้อมที่จะนำไปใช้ต่อไป จากการศึกษาพบว่าระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกร คือ ร้อยละ 50 - 60 ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากคุณสมบัติต่างๆ ทางด้านเคมีและทางด้านชีวภาพ โดยพบว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 50 และ 60 กระบวนการหมักมีประสิทธิภาพมากกว่าและปุ๋ยที่ได้มีลักษณะเสถียรกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 70

Finstein และ Morris [24] พบว่าลักษณะของวัสดุที่เหลือทิ้งที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน มีผลต่อระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เช่น ถ้าสารอินทรีย์มีความหนาแน่นมาก ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายคือร้อยละ 50 - 60 (โดยน้ำหนัก) ในพืชที่มีเส้นใยและมีความหนาแน่นน้อย ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมอาจสูงถึงร้อยละ 80 - 85 และถ้าความชื้นที่กองปุ๋ยหมักต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ

Suler และ Finstein [35] พบว่าความชื้นที่ระดับร้อยละ 50 - 60 และปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอ อัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นสูงสุด และเมื่อเพิ่มความชื้นเป็นร้อยละ 70 อัตราการย่อยสลายช้าลง ถ้าความชื้นต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ถ้าความชื้นสูงกว่าระดับที่พอเหมาะ ทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนในกองเศษพืช

ง) อุณหภูมิ [15]

เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย และเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร่งของปฏิกิริยาด้วย สภาพภูมิอากาศก็มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูงการย่อยสลายอินทรียวัตถุเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยพบว่าหลังจากกองปุ๋ยหมักนาน 2-4 วัน อุณหภูมิภายในเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 50 – 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยสลาย และคุณสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ค่อยแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมัก การที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นดังกล่าว ทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักเปลี่ยนแปลงไป ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ พวกที่ทนต่ออุณหภูมิสูง (Thermoduric) และพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophilic)

จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง จนถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic) สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้น

ระดับของอุณหภูมิในกองปุ๋ยจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของวัสดุเหลือทิ้ง และขนาดของกองปุ๋ยหมักด้วย ในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงมากเกินไป ประมาณ 70 องศาเซลเซียส มีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลงและกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลงตามไปด้วย ทำให้อุณหภูมิค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับที่เหมาะสม จุลินทรีย์ที่เหลือรอดอยู่เริ่มกิจกรรมในการย่อยสลายต่อไป

การเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิตามที่ได้กล่าวมาแล้วนี้เป็นลักษณะพิเศษที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก ทำให้สภาพแวดล้อมและชนิดของจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงไปด้วย มีนักวิจัยสนใจและศึกษาระบบนิเวศน์ในกองปุ๋ยหมักกันมาก จุดที่สำคัญอันหนึ่งคือความร้อนที่สะสมในกองปุ๋ยเป็นระยะเวลานานนี้ มีผลต่อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคต่อคนหรือพืชด้วย พบว่าอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักที่ทำจากขยะเทศบาลมีผลโดยตรงต่อการทำลายจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในระบบลำไส้ของคน (Pathogenic enteric microorganism) สำหรับปุ๋ยหมักที่ทำจากเศษพืชที่เป็นโรคใบไหม้ของข้าวโพดและแอนแทรกโนสของถั่วเหลือง พบว่าการนำเศษพืชที่เป็นโรคดังกล่าวมาทำเป็นปุ๋ยหมัก แล้วทำการตรวจสอบเชื้อโรคเป็นระยะๆ พบว่าการทำปุ๋ยหมักเป็นเวลา 30 วัน ตรวจไม่พบเชื้อโรคพืชในกองปุ๋ยหมัก ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคดังกล่าวลดน้อยลง คือ ระดับของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน

Tiquia และคณะ [37] ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในฤดูกาลต่างๆ ในการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกรที่ได้จากระบบ POL System โดยการศึกษานี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ในช่วงฤดูหนาว และในช่วงฤดูร้อนของประเทศฮ่องกง ในแต่ละชุดทำการทดลอง 2 ซ้ำ จากการศึกษาพบว่า ชุดการทดลองที่ทำในช่วงฤดูร้อนเกิดกระบวนการหมักได้ดีและเข้าสู่ช่วงเสถียรได้เร็วกว่าชุดการทดลองที่ทำในช่วงฤดูหนาว ทั้งนี้เพราะช่วงฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงและเหมาะสมกว่าฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำ ปฏิกิริยาของกระบวนการหมักของชุดการทดลองในช่วงฤดูร้อนจึงเกิดได้ดีกว่า

Allen และ Brock [19] ได้ทำการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายเศษพืชโดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 37 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้คือที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์บางชนิดก็สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวก Thennophillic bacteria จากระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ชนิดของวัสดุเหลือทิ้ง และขนาดของกองปุ๋ยหมัก ในสภาพอุณหภูมิสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพิ่มเร็วขึ้นด้วย ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นไปถึง 80 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ที่อุณหภูมิสูงขนาดนี้ทำให้เกิดยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก ทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลง

Tiquia และคณะ [38] ได้รายงานว่าในระหว่างการหมักปุ๋ยที่ได้จากมูลสุกรที่เลี้ยงในฟาร์มที่ใช้ระบบ POL System พวกแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคได้ถูกทำลายทำให้ปุ๋ยหมักปราศจากเชื้อก่อโรค โดยการศึกษานี้ได้ใช้เชื้อแบคทีเรียพวก *Salmonella* sp. เป็น Indicator Microorganism ในการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกร โดยพบว่าเมื่อกระบวนการหมักดำเนินไปจนถึงวันที่ 21 ตรวจไม่พบว่ามีเชื้อ *Salmonella* sp. ในกอง Spent Litter ที่นำมาทำปุ๋ยหมัก เพราะในช่วงวันดังกล่าวเป็นช่วงที่กอง Spent Litter มีอุณหภูมิสูง (Thermophilic stage) ซึ่งเชื้อ *Salmonella* sp. ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ณ ที่อุณหภูมินั้น

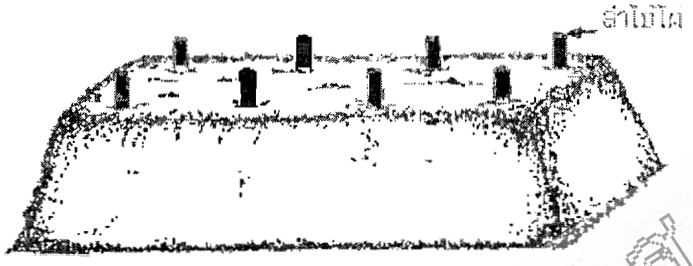
a) การระบายอากาศ [11]

การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมัก เป็นสิ่งจำเป็นอีกประการหนึ่ง เนื่องจากจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศ ใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในระบบการหายใจภายในเซลล์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายอากาศ เพื่อปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อการเจริญและต่อการย่อยสลายเศษวัสดุต่างๆ ซึ่งในระบบหายใจของจุลินทรีย์นั้น ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจนได้คาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นในสภาพที่ออกซิเจนเพียงพอกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองพืชจะมีประสิทธิภาพดีได้พลังงานจำนวนมากที่เซลล์จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในระบบเมตาโบลิซึม เพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ในการเจริญและดำรงชีพของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์พวกใช้อากาศ ต้องการออกซิเจนประมาณร้อยละ 5 - 10 และจุลินทรีย์พวก Mesophile ต้องการออกซิเจนเพื่อการเจริญเติบโตประมาณร้อยละ 5 การให้ออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักมีหลายปัจจัย เช่น ระยะเวลาของกระบวนการทำปุ๋ยหมัก อุณหภูมิ จำนวนครั้งที่ให้อากาศ ส่วนประกอบของปุ๋ยหมัก ขนาดของวัสดุ และความชื้น [17]

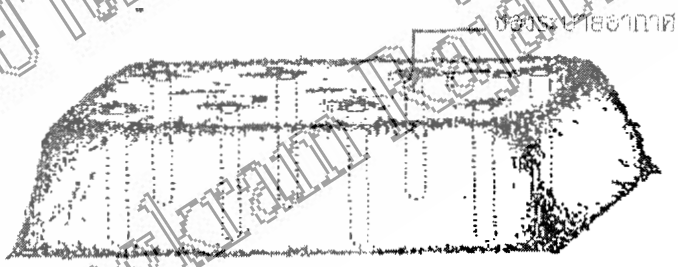
การระบายอากาศหรือการเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ย อาจทำได้โดยการกลับกองปุ๋ย นอกจากมีผลดีในเรื่องการระบายอากาศแล้ว ยังช่วยคลุกเคล้าเศษวัสดุต่างๆ ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ การกลับกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม ทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและเป็นวิธีการที่ไม่ต้องลงทุน แต่ต้องใช้แรงงานเพิ่ม และพบว่าการกลับกองปุ๋ยหมักอย่างต่อเนื่อง ช่วยส่งเสริมกระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักและทำให้เป็นปุ๋ยเร็วขึ้น นอกจากนั้นการทำช่องระบายอากาศก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ย ซึ่งสามารถทำได้โดยวิธีง่ายๆ คือ เมื่อเริ่มตั้งกองปุ๋ยหรือจะตั้งกองปุ๋ยใหม่ หลังจากการกลับกองก็หาไม้มาหลายๆ ลำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำไม้ไผ่ประมาณ 3 - 4 นิ้ว มาปักตั้งไว้บนพื้นดินที่จะตั้งกองปุ๋ย โดยคำนึงว่าเมื่อตั้งกองไปแล้ว ลำไม้ไผ่จะกระจายอยู่ทั่วกอง แล้วจึงทำการตั้งกองปุ๋ย (รูปที่ 2.2) เมื่อตั้งกองเสร็จเรียบร้อยก็ถอนลำไม้ไผ่ออก กองปุ๋ยที่มีช่องระบายอากาศตามที่

ว
631.87
ก115ก
151816

ต้องการ (รูปที่ 2.3) ก่อนถอนลำไม้ไผ่ควรโยกไม้ไปรอบๆ ทำให้ช่องระบายอากาศคงรูปได้ดีขึ้น ไม่ยุบตัว ควรทำช่องระบายอากาศเช่นนี้ทุกครั้งที่มีการกลับกองปุ๋ย



รูปที่ 2.2 การทำช่องระบายอากาศ โดยลำไม้ไผ่มาปักตั้งไว้บนพื้นดินเพื่อทำช่องระบายอากาศ[11]



รูปที่ 2.3 ช่องระบายอากาศในกองปุ๋ยหลังจากถอนลำไม้ไผ่ [11]

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Chiang Rai Rajabhat University

ฉ) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง [17]

เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการย่อยสลายเศษพืชเป็นอย่างมาก เนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยสลายเศษพืชนั้น ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ การเจริญของจุลินทรีย์แต่ละชนิดเป็นไปได้ดีก็ต้องมี pH ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์นั้น นอกจากนี้ pH ยังมีผลกระทบต่อเอนไซม์ที่ขับออกมา เพื่อย่อยเศษพืช เศษวัสดุ โดยจุลินทรีย์อีกด้วย กองปุ๋ยหมักจะมีค่า pH ช่วง 4.5 - 9.5 ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่พบในการทำปุ๋ยหมัก คือ 6 - 8 ที่ pH 8 - 9 มีการสูญเสียไนโตรเจนไปกับโมเลกุลของแอมโมเนีย แต่ถ้า pH เป็นกรดมากเกินไป (ต่ำกว่า 5) จุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโตในสภาวะการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศ pH มีค่าประมาณ 4.5 ในสภาพที่เป็นกรด ซึ่งถ้าจะให้กระบวนการสมดุลต้องปรับ pH ให้ได้ประมาณ 7 [28]

Stutzenberger และคณะ [34] วัดระดับ pH จากตัวอย่างที่เก็บจากกองปุ๋ยหมักที่จุดต่าง ๆ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยสามารถแบ่งได้ 3 ช่วง โดยช่วงแรก pH ลดลงจากเดิมเหลือ 5.3 - 5.7 หลังจากนั้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงสุดท้ายระดับของ pH ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนักคือ 7.0 - 8.5

2.2.7.2 ปัจจัยทางด้านเคมี

ก) ปริมาณธาตุอาหาร [17]

จุลินทรีย์ต้องการพลังงานและคาร์บอนในการสร้างเซลล์ ธาตุอาหารที่จำเป็นอาจรวมเข้าเป็นสารประกอบภายในเซลล์หรืออาจต้องการเพียงช่วยกระตุ้นหรือเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ในกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบในเซลล์เท่านั้น ในกองปุ๋ยหมักมีอัตราส่วน C/N เท่ากับ 40/1 ขณะที่ค่าเหมาะสมของ C/P เท่ากับ 100/1 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่พบในปุ๋ยหมักเป็นอัตราส่วนของสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นจุลินทรีย์สร้างเซลล์ หรือมีกิจกรรมมากน้อยแค่ไหนขึ้นกับปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักด้วย

ข) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน [17]

สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน จนกระทั่งได้โมเลกุลเล็กและนำเข้าเซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งของพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ ส่วนสารประกอบไนโตรเจนถูกย่อยสลายเช่นเดียวกัน และเซลล์จุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจน เพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ เช่น สารโปรตีน และกรดนิวคลีอิก โดยปกติเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่า C/N Ratio ประมาณ 10 - 15 หมายความว่าการที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปในเซลล์ 10-15 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย จึงทำให้เกิดสมดุลของสาร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ประกอบทั้งสองในเซลล์ และจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ C/N Ratio สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาว่าปุ๋ยหมักที่ทำนั้นนำไปใช้ได้หรือไม่ โดยปกติถ้าปุ๋ยหมักมีค่า C/N Ratio ระหว่าง 26 - 35 ถือว่าสามารถนำปุ๋ยหมักดังกล่าวไปใช้ใส่ในดินได้โดยไม่ทำให้พืชเป็นอันตราย แต่ถ้าค่า C/N Ratio ลดลงถึง 20 ถือว่าปุ๋ยหมักนั้นมีคุณภาพดี

ถ้าอัตราส่วนระหว่าง C M Ratio น้อยช่วยให้อัตราการย่อยสลายเร็วขึ้น ลดระยะเวลาการทำปุ๋ยหมักให้สั้นลง ค่า C/N ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 25 - 35 ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนกระดาษและเซลลูโลสในมูลฝอย ค่า C/N ที่มีค่า 20 - 30 อัตราการย่อยสลายเร็ว โดยทั่วไปค่า CM Ratio เป็น 30 - 35 ก็ถือว่าเหมาะสมต่อการหมักแล้ว ส่วนการหมักที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรส่วนใหญ่เป็นเศษพืช หรือการหมักที่ได้จากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากชุมชนมีปริมาณเซลลูโลสอยู่มาก ซึ่งมีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์น้อยจนไม่สมดุลย์กับปริมาณคาร์บอน ทำให้ค่า C/N Ratio มาก การย่อยสลายเกิดขึ้นช้า ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน จึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นปัจจัยที่กำหนดระยะเวลาในการหมักเศษพืช เศษวัสดุ การส่งเสริมให้มีการย่อยสลายเป็นไปอย่างรวดเร็ว อาจมีเติมสารประกอบไนโตรเจนลงไป เช่น สารเคมี มูลสัตว์ วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด และขยะจากเทศบาล เป็นต้น [16]

2.2.8 คุณสมบัติที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพของปุ๋ยหมัก [12]

2.2.8.1 ความเค็มของปุ๋ย

การวัดความเค็มตามมาตรฐานของ U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954 เมื่อวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) ได้ไม่เกิน 2 dS/m จะไม่มีอันตรายต่อพืช แต่เมื่อความเค็มของดินวัดได้ประมาณ 2 – 4 dS/m จะมีเกลืออยู่ประมาณร้อยละ 0.1 - 0.2 ซึ่งจะมีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม เมื่อความเค็มสูงกว่านี้ (>4) จะเริ่มเป็นอันตรายต่อพืช จึงไม่มีความเหมาะสมในการที่จะนำไปใช้ปรับปรุงดิน ดังนั้นจึงกำหนดดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเค็มของปุ๋ยหมัก ดังตารางที่ 24

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตารางที่ 2.4 การกำหนดดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเค็มของปุ๋ยหมัก [12]

ดัชนีคุณภาพ	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ปริมาณเกลือ (%)	หมายเหตุ
10	00 – 2.0	0.0 – 0.1	ปุ๋ยหมักมีคุณภาพดีมาก เหมาะสมมากที่จะนำไปใช้ในการเกษตร
8	2.1 – 3.0	0.1 – 0.15	ปุ๋ยหมักมีความเค็มเล็กน้อย ยังไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อพืชหรือสิ่งแวดล้อม ใช้ได้กับดินที่ไม่เค็ม
6	3.1 – 3.5	0.15 – 0.175	มีความเหมาะสมน้อยในการนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน ใช้ได้ในดินธรรมดา แต่ใช้ไม่ได้ในดินเค็มจะต้องใช้ด้วยความระมัดระวังและห้ามใช้รองหลุมไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน เพราะจะมีเฉพาะพืชทนเค็มเท่านั้นที่เจริญเติบโตได้
ห้ามใช้	> 3.5	> 0.175	

2.2.8.2 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีควรจะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20:1 ปุ๋ยหมักที่มี C/N ratio สูงกว่านี้มาก ๆ จะเริ่มมีการย่อยสลายต่อไป จึงควรจะต้องใส่ปุ๋ยหมักก่อนปลูกพืชหรือหว่านเมล็ดประมาณ 2 - 3 สัปดาห์ และจะต้องไม่ใช้ดินที่มีการระบายน้ำไม่ดี เนื่องจากอาจทำให้เกิดการเน่าเปื่อยในสภาพที่ไม่มีอากาศ ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ที่เป็นพิษ หรือก๊าซบางชนิดที่เป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช ปุ๋ยหมัก C/N ratio สูงจึงไม่ควรนำไปใช้ในการปรับปรุงดินฉะนั้นจึงกำหนดดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเหมาะสมของปุ๋ยหมักที่มี C/N ratio ระดับต่าง ๆ ดังตาราง 2.5

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Phibulsongkram Rajabhat University

ตารางที่ 2.5 การกำหนดดัชนีมาตรฐานคุณภาพความเหมาะสมของปุ๋ยหมักที่มี C/N ratio ระดับต่าง ๆ

ดัชนีคุณภาพ	C/N ratio	หมายเหตุ
10	0 – 20>1	ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีมาก
8	21/1 – 25/1	ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี นำมาใช้ปรับปรุงดินได้ แต่ต้องมีความระมัดระวังพอสมควร เช่น ควรใช้ใส่คลุมดินหรือใส่ทิ้งไว้ระยะหนึ่งก่อนปลูก
ห้ามใช้	>25/1	ไม่ควรนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน

2.2.8.3 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) [10]

ปุ๋ยหมักที่ดีควรมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่างร้อยละ 35 – 50 แต่ถ้าปุ๋ยหมักที่มีปริมาณของอินทรียวัตถุสูงกว่าร้อยละ 60 แสดงว่าอินทรียวัตถุนั้นจะยังมีการย่อยสลายต่อไป ทำให้เกิดความร้อนและการตรึงธาตุอาหารบางชนิด(Immobilization) เป็นการชั่วคราว ทำให้เป็นปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืช และหากปริมาณของอินทรียวัตถุต่ำลงกว่าร้อยละ 15 แสดงว่ามีสิ่งเจือปนมาก หรือถูกย่อยสลายหมดไป จึงไม่ควรนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมักหรือเป็นปุ๋ยหมักด้อยคุณภาพ ดังนั้นจึงกำหนดดัชนีคุณภาพความเหมาะสมของปุ๋ยหมักที่มีระดับอินทรียวัตถุต่าง ๆ ดังตาราง 2.6

มหาวิทยาลัยนเรศวร Pibulsongkram Rajabhat University

ตารางที่ 2.6 การกำหนดดัชนีของปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมัก

ดัชนีคุณภาพปุ๋ยหมัก	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	หมายเหตุ
10	35- 40	
8	41- 45	
6	46- 50	
4	51 - 55	
2	56 - 60	
0	< 14	ไม่แนะนำให้ใช้ในการปรับปรุงดิน
ห้ามใช้	> 60	

2.2.8.4 ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

การเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่างในกองปุ๋ยหมักมีดังนี้ คือ ในระยะเวลาประมาณ 3 วันแรกของการกองปุ๋ยหมัก pH ในกองปุ๋ยหมักจะลดลง โดยจะมีค่าเฉลี่ยของ pH อยู่ระหว่าง 5.3 - 5.7 [31] ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกจะมีการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่ย่อยสลายง่ายจะมีกรดอินทรีย์บางชนิดเกิดขึ้น แต่หลังจากนั้น pH จะค่อยๆ สูงขึ้นอย่างช้าๆ จนอยู่ในระดับระหว่าง 7 – 8.5 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายจะมีลักษณะเป็นสารที่ต้านการเปลี่ยนแปลงระดับ pH ที่ดี และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดูดซับไฮโดรเจนไอออนไว้ได้มากขึ้น และมีสารประกอบบางชนิดที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แอมโมเนีย (NH_4^+) เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลาย ความเป็นด่างอ่อน ๆ ของปุ๋ยหมักจึงมีผลดีต่อการนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน แต่ถ้าในปุ๋ยหมักที่มีระดับ pH สูงเกินไป จุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์จะหยุดกิจกรรม และจุลินทรีย์บางชนิด เช่น เชื้อโรคพืชต่าง ๆ st. ทำงานได้ดี

การกำหนดดัชนีมาตรฐานคุณภาพเพื่อเปรียบเทียบมาตรฐานคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่างต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 2.7 การกำหนดดัชนีของความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก

ดัชนีคุณภาพ	ระดับ pH	หมายเหตุ
10	7.0 – 8.0	เหมาะสมมากในการนำไปใช้
8	6.9 – 6.5	เหมาะสมในการนำไปใช้
6	6.4 – 6.0	แสดงถึงความผิดปกติบางอย่างของปุ๋ยหมัก
4	5.9 – 5.5	จะต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง
ห้ามใช้	> 8.5 หรือ <5.5	ไม่ควรนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน

2.2.8.5 สิ่งเจือปน

สิ่งเจือปนที่ปรากฏในการผลิตปุ๋ยหมัก อาจจะมีวัสดุต่าง ๆ ที่เป็นพิษหรืออันตรายต่อดิน พืช สัตว์ สภาพแวดล้อม หรือผู้ใช้เจือปน เช่น ดิน หิน กรวด ทราย และพลาสติก เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เนื่องจากไม่มีประโยชน์ใด ๆ ต่อพืช และเป็นการเพิ่มภาระในการขนส่ง และอาจเป็นการยากในการกำจัดออกไปในกระบวนการผลิต หรืออาจจะมีผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายบางรายที่นำวัสดุเหล่านี้ใส่ปลอมปนเข้าไปในปุ๋ยหมักโดยตั้งใจ เพื่อผลประโยชน์ในทางการค้า ดังนั้นจึงกำหนดดัชนีคุณภาพไว้ดังตาราง 2.8

ตารางที่ 2.8 การกำหนดดัชนีคุณภาพของปุ๋ยหมักในปริมาณสิ่งเจือปน

ดัชนีคุณภาพ	ปริมาณสิ่งเจือปน (%)
10	0 – 5
8	6 – 10
6	-
4	-
2	-
0	-
ห้ามใช้	> 10

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2.2.8.6 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ปุ๋ยหมักจะมีปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันไปโดยจะขึ้นอยู่กับชนิด แหล่งที่มาและปริมาณธาตุอาหารหลักของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก โดยทั่วไปแล้วในปุ๋ยหมักจะมีธาตุอาหารพืช ทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองเกือบครบถ้วน แต่จะมีในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ ในการนำปริมาณธาตุอาหารหลักมาพิจารณาคุณภาพ เมื่อเปรียบเทียบมาตรฐานของปุ๋ยหมัก ก็จะกำหนดตัวเลขดัชนีคุณภาพของธาตุอาหารหลักของพืชได้ดังตาราง 2.9

ตารางที่ 2.9 การกำหนดดัชนีคุณภาพของธาตุอาหารหลักของพืชในปุ๋ยหมัก

ดัชนีคุณภาพ	ปริมาณอินทรียวัตถุ			หมายเหตุ
	N	P_2O_5	K_2O	
10	> 1.0	> 1.0	> 0.5	ระดับธาตุอาหารจะมีคะแนนถ่วงน้ำหนักของตัวดัชนีคุณภาพน้อยกว่าสมบัติอื่น ๆ
8	0.9 – 0.8	0.9 – 0.8	<0.4 – 0.3	
6	0.7 – 0.6	0.7 – 0.6	-	
4	0.5 – 0.4	0.5 – 0.4	<0.2 – 0.1	
2	0.3 – 0.2	0.3 – 0.2	-	
0	<0.2	<0.2	<0.1	

2.2.8.7 ระดับความชื้นของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่ดีควรมีความชื้นพอสมควร และควรรีบนำไปใช้ก่อนที่จะแห้งสนิท แต่ถ้าปุ๋ยหมักมีความชื้นมากเกินไปก็อาจเป็นปัญหาในเรื่องการขนส่งและเสียค่าใช้จ่ายมาก และไม่ควรเก็บปุ๋ยหมักไว้ในสภาพที่แห้งสนิทนานเกินไป เพราะเมื่อไปใช้ ปุ๋ยหมักจะไม่เปียกน้ำและอาจไหลไปกับน้ำไปตามผิวดินได้โดยง่ายในกรณีที่ไม่ได้คลุกเคล้า ซึ่งโดยทั่วไปควรมีระดับความชื้นที่กำหนดไว้ที่ระดับ 35 เปอร์เซ็นต์ [17]

การประเมินความชื้นในปุ๋ยหมัก ทำได้โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมัก ชั่งหาน้ำหนักสด ได้โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 10 – 20 กรัม จากนั้นนำไปอบแห้งชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักแห้ง น้ำหนักที่หายไปคือปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมัก ซึ่งอาจคำนวณหาได้โดยการกำหนดมาตรฐานความชื้นก็อาจกำหนดดัชนีมาตรฐานคุณภาพได้ ดังตาราง 2.10

มหาวิทยาลัยศิลปากร Silpakorn University

ตารางที่ 2.10 การกำหนดมาตรฐานความชื้นของปุ๋ยหมัก

ดัชนีมาตรฐานคุณภาพ	ปริมาณความชื้น (%)
10	0 - 35
8	36 – 40
6	41 – 45
4	46 – 50
2	51 – 55
0	> 56

2.2.9 ประโยชน์ของปุ๋ยหมักต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน [8]

ประโยชน์ของปุ๋ยหมักที่มีต่อดินที่ใช้ในการทำการเพาะปลูก มี 3 ประการ คือ

2.2.9.1 บทบาทในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางกายภาพ

ก) ส่งเสริมให้อนุภาคจับตัวกันเป็นเม็ดดิน

การใช้ปุ๋ยหมักในปริมาณมาก และติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ทำให้อนุภาคดินจับตัวเป็นก้อนหรือเกิดเป็นเม็ดดิน และดินมีการอุ้มน้ำดีขึ้น การส่งเสริมให้ดินจับกันเป็นก้อนหรือเกิดเม็ดดินนั้น มีอิทธิพลเนื่องมาจากอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักซึ่งเมื่อสลายตัวทำให้เกิดการเชื่อมและมีสารเหนียวจากจุลินทรีย์บางชนิดช่วยในการจับตัวเป็นก้อน และพบว่าจุลินทรีย์บางชนิดที่เจริญเติบโตจากการย่อยสลายตัวของอินทรียวัตถุ เช่น เชื้อรา ซึ่งมีรูปร่างเป็นเส้นใย เจริญเติบโตไขว้กันคล้ายร่างแห ซึ่งจะรัดอนุภาคดินและส่งผลให้เกิดเม็ดดินขึ้น เป็นการเพิ่มช่องว่างในดินทำให้ดินเหนียวเกิดช่องว่างขนาดโต และเพิ่มช่องว่างขนาดเล็กในดินทราย ซึ่งจะส่งผลให้การระบายอากาศในเนื้อดินละเอียดดีขึ้น ดินมีการอุ้มน้ำดีขึ้น และเก็บความชื้นไว้ได้เป็นระยะเวลานานกว่าดินที่ขาดอินทรียวัตถุ

ข) ลดความหนาแน่นรวม (Bulking Density) ของดิน

ดินที่มีความหนาแน่นตัวสูง เช่น ดินเหนียวหรือดินที่ผ่านการใช้ต่อเนื่องติดต่อกันเป็นระยะเวลานานโดยไม่มีการเพิ่มอินทรียวัตถุ ทำให้รากพืชเติบโตช้า จำกัดบริเวณการหาอาหารของพืช การระบายน้ำและอากาศไม่ดี ซึ่งบางครั้งพบว่าดินดังกล่าวมีความหนาแน่นสูงถึง 2 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่เมื่อไถชั้นดานแข็งร่วมกับปุ๋ยหมัก ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงเป็น 1.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งถือว่าเป็นความหนาแน่นรวมปกติของดินที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ค) ลดการเกิดกษัยการของดิน

กษัยการของดินมีสาเหตุจากแรงปะทะของเม็ดฝน หรือลมที่มีต่อดิน ทำให้หน้าดินรวมทั้งความอุดมสมบูรณ์ของดินสูญหายไป เนื่องจากการเกิดเม็ดดิน โดยอินทรียวัตถุจากปุ๋ยหมักจะเพิ่มความคงทนของเม็ดดินต่อการปะทะของเม็ดฝนและลมได้มากยิ่งขึ้น ไม่เกิดสภาพเปลือกดินแข็งบนผิวดินทำให้อัตราการซึมของน้ำดียิ่งขึ้น จึงลดการเกิดกษัยการโดยอิทธิพลของน้ำไหลบ่าได้

2.2.9.2 บทบาทในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางเคมี

ปุ๋ยหมักช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารให้แก่พืช โดยเป็นแหล่งอาหารพวกธาตุไนโตรเจน กำมะถัน และฟอสฟอรัส โดยถูกปล่อยออกมาช้าๆให้แก่พืชได้ใช้ตลอดระยะเวลาในการเจริญเติบโต และเป็นแหล่งสำคัญแหล่งใหญ่ที่ให้ธาตุอาหารในรูปประจุลบ เช่น ไนเตรท ฟอสเฟต ซัลเฟต โมลิบเดต และคลอไรด์

นอกจากนี้ปุ๋ยหมักยังช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ทำให้อนุภาคดินสามารถยึดประจุบวกต่างๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชได้ดี จึงลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการชะล้าง รวมทั้งทำให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม สารกำจัดศัตรูพืช และพิษจากโลหะหนักที่ใส่ลงในดินให้มีการเปลี่ยนแปลงในดินอย่างค่อยเป็นค่อยไป

2.2.9.3 บทบาทในการปรับปรุงลักษณะของดินทางชีวภาพ

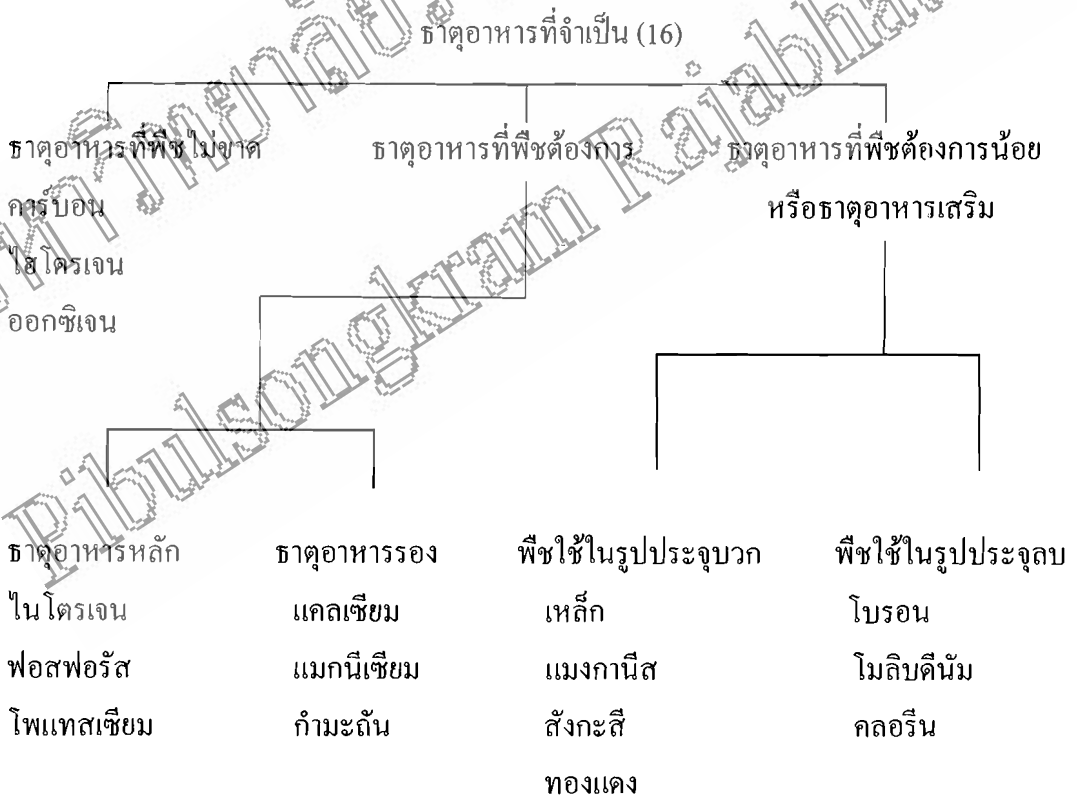
อินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักเป็นธาตุอาหารของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งทำให้มีการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในดิน เป็นผลทำให้กิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การแปรสภาพธาตุอาหารพืชในดินเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น และลดความรุนแรงของโรคพืชที่เกิดจากไส้เดือนฝอย ทั้งนี้เพราะเมื่อปุ๋ยหมักสลายตัวแล้วเกิดสารอัลคาลอย (Alkaloid) หรือกรดไขมันซึ่งเป็นพิษต่อไส้เดือนฝอย เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

23 ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช [14]

ธาตุอาหารพืช (Plant nutrient) คือกลุ่มธาตุที่พืชต้องการนำไปใช้เพื่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของพืชเอง โดยมีกระบวนการสร้างอาหารและเนื้อเยื่อพืชจะรวมไปถึงการสร้างเป็นผลผลิตของพืช ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของพืชอาจมีมากถึง 50 - 60 ธาตุ แต่บางธาตุอาจไม่เป็น จึงมีหลักเกณฑ์การพิจารณาธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชโดยใช้ข้อกำหนด 2 ข้อ คือถ้าปราศจากธาตุนั้นพืชไม่สามารถดำเนินชีวิตได้ครบวงจร และธาตุนั้นเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลในองค์ประกอบและกระบวนการเมแทบอลิซึมที่จำเป็นต่อชีวิต

จากหลักเกณฑ์ในการพิจารณาจึงสรุปได้ว่าธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชมีอยู่ 16 ธาตุคือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โบรอน (B) แมงกานีส (Mn) คลอรีน (Cl) โมลิบดีนัม (Mo) ธาตุทั้ง 16 ธาตุนี้พืชต้องการคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนมากที่สุด แต่ทว่าเราไม่ต้องห่วงเพราะธาตุทั้ง 3 ธาตุนี้พืชจะได้รับจากน้ำ (H_2O) และ อากาศ (CO_2 , O_2) ที่ผ่านเข้ามาทางใบ ส่วนอีก 13 ธาตุ พืชได้รับจากดิน



รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมแสดงธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืชทั้ง 16 ธาตุ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี Rajabhat University

2.3.1 ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน เป็นธาตุที่พืชต้องการมากที่สุด เพื่อจะนำไปสร้างแป้ง ไขมัน และน้ำตาลในต้นพืช พืชไม่เคยขาดธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิดนี้ เพราะพืชสามารถได้มาจากน้ำ และอากาศ ซึ่งมีธาตุทั้ง 3 นี้เป็นองค์ประกอบธาตุอาหารหลักอีกพวกหนึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซึ่งหน้าที่ของธาตุหลักมีดังนี้

2.3.1.1 ไนโตรเจนมีหน้าที่เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของโปรตีน คลอโรฟิลล์ และสารอื่นอีก โปรตีนสำหรับการแบ่งเซลล์ขยายยืดออกไปขยายใบกิ่งก้านสาขา คลอโรฟิลล์เป็นสารสีเขียวในใบที่รวมแสงสว่างมาใช้สังเคราะห์แป้งและน้ำตาล ดังนั้นไนโตรเจนซึ่งมีส่วนสร้างน้ำหนักแห้งหรือการเจริญเติบโตของกิ่งก้านสาขาแก่พืช ทำให้พืชไม่ยอมแก่ติดดอกผล ถ้าขาดไนโตรเจนพืชจะแสดงอาการผิดปกติตั้งแต่การทรงต้นจะผอมเกร็ง ไม่อวบอ้วนใบ โดยเฉพาะใบล่างจะเหลืองซีดถ้าขาดมากๆ ทั้งใบบนและใบล่างจะเหลืองซีดเพราะขาดคลอโรฟิลล์ ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไปก้านจะอวบอ้วน ใบสีเขียวจัดใบใหญ่ไม่ยอมแก่ ต้นอาจจะล้มได้ง่ายเพราะน้ำหนักมากและปล้องเปราะ

แหล่งสะสมก๊าซไนโตรเจน **do** บรรยากาศซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 79 แต่สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ไม่สามารถนำก๊าซนี้มาใช้ได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องใช้ไนโตรเจนในรูปของไนเตรต (NO_3^-) หรือแอมโมเนียม (NH_4^+) ถึงแม้ว่าก๊าซไนโตรเจนจะมีอยู่มากมายในโลกของสิ่งมีชีวิต แต่การขาดธาตุไนโตรเจนในดินก็เกิดขึ้นเสมอจนเป็นเหตุให้เป็นปัจจัยจำกัดที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช กระบวนการที่ธาตุไนโตรเจนในดินหมุนเวียนในโลกของสิ่งมีชีวิตเรียกว่าวัฏจักรของไนโตรเจน ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ

fI.) แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

ธาตุไนโตรเจนในดินส่วนมากเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยผู้ย่อยสลายจนได้สารประกอบอินทรีย์ซับซ้อนพวกโปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิกและนิวคลีโอไทด์ สารประกอบอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วต่อไปจนได้สารประกอบอย่างง่ายด้วยสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น แบคทีเรียและเห็ดรา ทำหน้าที่เปลี่ยนโปรตีนและกรดอะมิโนที่มีอยู่ในสารเน่าเปื่อยให้มาเป็นอาหารของตนเองแล้วจึงปล่อยไนโตรเจนที่เหลือใช้ออกมาในรูปของแอมโมเนียม

V.) ไนทริฟิเคชัน **(Nitrification)**

แบคทีเรียในดินหลายชนิดเช่น **Nitrosomonas** ทำหน้าที่ออกซิไดส์แอมโมเนียหรือแอมโมเนียม เพื่อเอาพลังงานไปใช้แล้วปล่อยไนโตรต์ออกมา ไนไตรต์เป็นพิษต่อพืชแต่โดยทั่วไปมักไม่สะสมอยู่ในดิน เนื่องจากมีแบคทีเรียพวกหนึ่ง เช่น **Nitrobacter** มาออกซิไดส์เป็นไนเตรตแล้วนำเอาพลังงานที่ได้ไปใช้

n.) แอสสิมิเลชัน (Assimilation)

เมื่อไนเตรตเข้าสู่พืชแล้ว จะถูกรีดิวซ์ให้กลับมาเป็นแอมโมเนีย สารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในพืชบกจะกลับสู่ดินอีกครั้ง เมื่อพืชตายลงหรือถูกกินโดยสัตว์ แล้วก็จะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้ตามขั้นตอนที่หนึ่ง แต่จะมีไนโตรเจนจำนวนหนึ่งไม่ถูกเปลี่ยนกลับมาให้พืชได้อีกแต่จะกลับคืนเป็นก๊าซไนโตรเจนสู่บรรยากาศด้วยกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (Denitrification) การสูญเสียไนโตรเจนไปจากดินไม่ได้รับการหมุนเวียนกลับคืนมาได้บ่อยนัก การสูญเสียไนโตรเจนไปจากดินถูกนำกลับคืนมาได้ด้วยกระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrification)ซึ่งเป็นกระบวนการที่ก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศถูกนำเข้ารวมกับสารประกอบคาร์บอนจนเกิดเป็นสารประกอบไนโตรเจนขึ้น จึงเป็นการดึงไนโตรเจนเข้ามาสู่วัฏจักรได้

2.3.1.2 ฟอสฟอรัส มีหน้าที่สำคัญในส่วนที่มีชีวิตของพืชคือเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่สำคัญในพันธุกรรมของพืช และจุดชีวิตของเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนสำคัญของสารให้พลังงานต่าง ๆ ในพืชและน้ำย่อย (Enzyme) หลายชนิด สารเหล่านี้แม้ต้องมีอยู่ในปริมาณที่ไม่มากนัก มีตามจุดยอดของพืชหรือส่วนที่มีชีวิตที่กำลังเจริญงอกงาม แต่จะขาดไม่ได้พืชต้องมีฟอสฟอรัสจำนวนเล็กน้อยตลอดเวลา ถ้าไม่เช่นนั้นจะหยุดชะงักการเจริญเติบโตทันทีโดยเฉพาะการสร้างเมล็ด การติดดอกออกผล ต้องการฟอสฟอรัสมากกว่าปกติ พลังงานในพืชเกิดจากสารเคมีที่พืชสังเคราะห์ขึ้น และสารเหล่านี้ต้องมีฟอสฟอรัสอยู่เสมอ พลังงานจำเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการเพื่อการดำรงชีพของพืช เช่น สังเคราะห์สารต่าง ๆ การขนส่ง การสะสม การขยายเซลล์ การสืบพันธุ์

ดังนั้นพืชจะขาดฟอสฟอรัสไม่ได้ไม่ว่าเวลาใดก็ตาม ถ้าพืชยังมีชีวิตอยู่ ถ้าหากพืชได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ ต้นพืชจะแคระแกน ใบเล็ก บางทีอาจมีสีผิดปกติ บางชนิดมีสีม่วง บางชนิดมีสีเขียว สีของใบไม่ค่อยแน่นอนต่างกันไปตามชนิดพืช ถ้าหากพืชได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไปไม่เกิดปัญหาใดๆ ต่อการเจริญเติบโตของพืช

แหล่งสะสมฟอสฟอรัส คือ ดิน หิน เมื่อถูกชะล้างตามธรรมชาติได้สารฟอสเฟต ซึ่งรากพืชดูดซึมนำไปใช้ได้ สารประกอบฟอสฟอรัสที่สร้างขึ้น โดยพืชถูกส่งต่อไปยังสัตว์ทางห่วงโซ่อาหาร (Food chain) เมื่อพืชและสัตว์ตายลงฟอสเฟตจะถูกปล่อยออกมาจากซากผุพังของสิ่งมีชีวิตทับถมลงในดินสู่แหล่งน้ำ ซึ่งไฟโตแพลงก์ตอนสามารถนำไปสังเคราะห์แสงได้ แล้วส่งต่อไปยังห่วงโซ่อาหาร ฟอสเฟตที่ทับถมอยู่ในดินก็ถูกนำมาใช้โดยพืชได้หรือส่วนที่ลงสู่ก้นบ่อทะเลมหาสมุทร ก็นำกลับมาใช้ได้โดยการหมุนเวียนของกระแสน้ำจนมาสู่ระดับที่มีแสงไฟโต-แพลงก์ตอนจึงนำไปใช้ได้ ถ้าไฟโตแพลงก์ตอนตายลงแบคทีเรียเป็นตัวทำให้การย่อยสลายได้ฟอสเฟตกลับมาใช้ได้อีก ฟอสเฟตบางส่วนถูกหมุนเวียนกลับสู่พื้นดินโดยนกกินปลาแล้วถ่ายมูลทับถมไว้ตามถ้ำสามารถนำมูลนกมาทำเป็นปุ๋ยได้ แต่ตามธรรมชาติแล้วการหมุนเวียนฟอสฟอรัส

กลับมาสู่พื้นดินไม่เพียงพอกับส่วนที่เสียลงสู่น้ำและบางส่วนหายไปในมหาสมุทร ดังนั้นในปัจจุบันจึงต้องมีการเติมปุ๋ยฟอสเฟตลงในดินเพื่อให้พืชได้มีฟอสเฟตใช้เพียงพอเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

2.3.1.3 โพแทสเซียม ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของสารใดเลยในพืช แต่ทำหน้าที่เป็นประจุบวกที่กระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยหลายชนิด โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง น้ำตาลและโปรตีน การขนย้ายแป้งและน้ำตาล และทำหน้าที่เดียวกับประจุบวกธาตุอื่นๆ ในการดึงน้ำให้มาสู่พืชมากยิ่งขึ้นและลดความเป็นกรดของกรดอินทรีย์ที่พืชผลิตขึ้นมา

ถ้าพืชขาดโพแทสเซียมต้นพืชแคระแกน แต่แตกกอหรือกิ่งก้านสาขามากต้นล้มง่าย ใบแก่มักมีสีน้ำตาลไหม้หรือไหม้ตามขอบใบ ใบมักจะม้วนจากปลายใบหรือขอบใบก่อน โดยเฉพาะใบล่าง ต้นอ้อยมีไส้กลวงไม่แน่นไม่ค่อยมีน้ำตาลสะสมในอ้อย พืชหัวในหัวไม่มีแป้ง แต่ถ้าพืชได้รับโพแทสเซียมมากเกินพอจะไม่เกิดอันตรายต่อผลผลิตหรือคุณภาพของพืช แต่เสียโพแทสเซียมโดยเปล่าประโยชน์ เพราะตัดออกไปกับส่วนของพืชที่นำออกไป

รูปแบบโพแทสเซียมในดิน

โพแทสเซียมในดินนี้มีความสำคัญโดยเฉพาะในแง่ที่เกี่ยวข้องกับการเป็นอาหารพืชนั้นปริมาณเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ที่อยู่ในสภาพต่างๆ และพอแบ่งได้เป็น 3 รูปใหญ่ ๆ คือ

ก.) รูปที่ละลายน้ำได้ (Water soluble forms) เป็นโพแทสเซียมที่อยู่ในสภาพของไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบวกละลายอยู่ในสารละลายดินซึ่งพืชจะใช้ประโยชน์ได้ทันทีโดยดูดกินไปใช้โดยทางราก เป็นรูปที่มีอยู่ในดินเป็นปริมาณน้อยที่สุด

PL) รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้(Exchangeable forms) ได้แก่โพแทสเซียมที่อยู่ในสภาพของไอออน (K^+) ที่ดูดยึดเอาไว้ที่ผิวของสารคอลลอยด์ดินโดยเฉพาะแร่ดินเหนียว ปริมาณของโพแทสเซียมรูปดังกล่าวนี้ในดินเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช จะมีอยู่ปริมาณที่น้อยกว่ามากแต่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่ายกว่า เพราะบางส่วนจะถูกปลดปล่อยให้ออกมาในสภาพของไอออนละลายอยู่ในสารละลายดินได้ไม่ยากนัก

ค.) รูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Non-exchangeable forms) ได้แก่ รูปของโพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากมากแบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อยๆ คือ

ค.1) โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ชนิดต่าง ๆ ในดิน

n.2) โพแทสเซียมที่ถูกตรึงเอาไว้โดยอนุภาคดินเหนียว (แต่ไม่ใช่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของแร่ดินเหนียว)

มหาวิทยาลัยนเรศวร Naresuan University Pibulsongkram Rajabhat University

2.3.2 ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณที่ค่อนข้างมากแต่พืชไม่ค่อยแสดงอาการออกให้เห็นเนื่องจากดินมีปริมาณมากพอและดินมักได้สารอาหารเหล่านี้จากปูนที่ใส่ลงไปสำหรับปรับความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่เสมอ

2.3.3 ธาตุอาหารเสริมหรือจุลธาตุ ได้แก่ เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส โบลิบดินัม โบรอน คลอรีน เป็นธาตุอาหารเสริมสำหรับพืช ซึ่งพืชต้องการในปริมาณที่น้อย แต่พืชไม่ค่อยแสดงอาการขาดเพราะพืชดูดกลืนไปใช้ในปริมาณน้อย ในดินที่มีอินทรียวัตถุมากมักขาดธาตุอาหารเหล่านี้ แต่ดินที่ปลูกพืชไปนาน ๆ ก็อาจขาดธาตุเหล่านี้ได้เช่นกัน โดยเฉพาะธาตุโบรอน เพราะมีอยู่ในดินเป็นปริมาณต่ำมาก

ตารางที่ 2.11 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมัก [13]

ปุ๋ยหมัก	เปอร์เซ็นต์ธาตุอาหารหลัก		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ใบจามจุรีหมัก	1.45	0.19	0.49
ฟางข้าวหมัก	1.41	1.26	0.90
ฟางข้าวหมักผสมมูลโค	1.82	0.21	0.47
ฟางข้าวหมักผสมมูลไก่	1.07	0.46	0.94
ฟางข้าวหมักในแปลงเห็ด	1.17	0.39	1.16
ผักตบชวา	1.43	0.48	0.48
ผักตบชวาหมักผสมมูลหมู	1.85	4.81	0.79
กระถินหมักผสมมูลหมู	2.06	4.16	2.35
ใบแคหมักผสมมูลไก่	3.15	4.26	2.7.
ใบแคหมักผสมมูลหมู	2.91	4.83	2.70
ตอซังข้าวโพดผสมมูลวัว	2.43	2.24	1.15
ตอซังข้าวโพดผสมมูลไก่	1.73	4.20	1.06
ฟางข้าวผสมเชื้อเฟอร์โตแซน	1.24	0.37	0.41
ฟางข้าวผสมมูลเป็ดและขี้เถ้า	1.16	0.75	0.51
ฟางข้าวผสมเชื้อโปรลัมนัส	2.96	1.20	1.22

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เยาวลักษณ์ [15] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในระหว่างการทำปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนของกรุงเทพมหานคร ซึ่งได้ศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขยะที่ตึกหมักและขยะที่ออกจากตึกหมักแล้วนำไปกองกลางแจ้ง โดยใช้เวลาในการศึกษา 70 วัน โดยทางกายภาพได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น ค่า pH และทางเคมีได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอน ไนโตรเจน อัตราส่วน C/N และสารอินทรีย์ ส่วนทางชีวภาพได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ mesophile และ thermophile ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ คือ protease amylase และ cellulase

ผลจากการศึกษาทางกายภาพและเคมี พบว่า ความชื้นของขยะเริ่มต้นประมาณ 60% ความชื้นสุดท้ายประมาณ 22% อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 30 - 66 องศาเซสเซียส ซึ่งวันสุดท้ายของการศึกษาวัดได้ 51องศาเซสเซียส ค่า pH อยู่ระหว่าง 5 - 8 อัตราส่วน C/N เริ่มต้นประมาณ 34 และค่าสุดท้ายประมาณ 15 ส่วนสารอินทรีย์เริ่มต้นและสุดท้ายคือ 65 และ 27 ตามลำดับ

การศึกษาทางชีวภาพโดยศึกษาจำนวน mesophile กับ thermophile และกิจกรรมของเอนไซม์ 3 ชนิด คือ protease amylase และ cellulase พบว่าจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายปุ๋ยจากขยะชุมชนมี 3 กลุ่ม คือ mesophile, thermotolerance mesophile และ thermophile เอนไซม์ amylase พบมากในช่วง active stage เอนไซม์ protease พบในช่วงท้าย active stage ส่วนเอนไซม์ cellulase มีผลต่อการย่อยสลายในช่วง curing stage-

Chefetz และคณะ [23] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและชีววิทยาของสารอินทรีย์ในระหว่างการทำปุ๋ยหมักจากขยะชุมชน ใช้ระยะเวลาในการศึกษาทั้งหมด 132 วัน โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารอินทรีย์ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิ CM ปริมาณเถ้า สารประกอบฮิวมิก(Humic substance :HS) กรดฮิวมิก (Humic acid : HA) กรดฟัลวิก (Fulvic acid : FA) และสารที่ไม่ใช่ฮิวมิก (Nonhumic fraction : NHF) โดยในการศึกษาได้นำปุ๋ยหมักไปทดสอบกับแตงกวาเพื่อศึกษาการเจริญเติบโต

ผลของการศึกษาพบว่า อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 3 ช่วง คือ ใน 2 วันแรกอุณหภูมิอยู่ในช่วง mesophilic phase(45 องศาเซสเซียส) และใน 4 สัปดาห์ต่อมาอุณหภูมิอยู่ในช่วง thermophilic phase ซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง 72 องศาเซสเซียส ในช่วงสุดท้ายหลังจาก 60 วัน อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะเท่ากับอุณหภูมิในอากาศ ค่า C/N จะลดลงอย่างรวดเร็วคือจาก 28 ถึง 18 ในหลังจากวันที่ 20 ของการหมัก และลดลงไปเรื่อย ๆ จนคงที่เท่ากับ 12 หลังจากการหมักได้ 60 วัน ปริมาณเถ้าเริ่มต้นมีประมาณ 45% ซึ่งในระหว่างการหมักจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าคงที่ 70% ส่วน HS ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำปุ๋ยหมัก FA มีปริมาณ 7.5% ในช่วง 20

วันแรก และลดลงเหลือ 4.5% ในช่วงของการหมักที่สมบูรณ์ HA เพิ่มขึ้นถึง 14% หลังจากทำการหมัก 112 วัน ส่วนNHF จะลดลงอย่างรวดเร็วจาก 8.7% - 4.4% หลังจากทำการหมัก 60 วัน

การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีของสารอินทรีย์ในระหว่างกระบวนการหมักพบว่ามีการย่อยสลายของสารอินทรีย์ทำให้เกิดเป็นสารประกอบคาร์บอนต่าง ๆ และการศึกษาผลของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยการนำปุ๋ยที่มีช่วงอายุในการหมักต่าง ๆ กัน พบว่าปุ๋ยหมักในช่วงอายุ 112 และ 132 วันมีผลให้แตงกวามีน้ำหนักแห้งมากที่สุด ซึ่งเป็นช่วงของการย่อยสลายของอินทรีย์สารมากที่สุดด้วย

Eghball และคณะ [24] ได้ศึกษาการสูญเสียธาตุอาหาร ปริมาณคาร์บอนและน้ำหนักในระหว่างการทำปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์ โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ปุ๋ยหมักมีน้ำหนัก ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณคาร์บอน ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และค่าการนำไฟฟ้าลดลงเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น ส่วนฟอสฟอรัส แมงกานีส แคลเซียม และเถ้า มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น สำหรับปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

การศึกษาน้ำชะจากกองปุ๋ยหมักพบว่าในช่วงเวลาการหมัก pH ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีน้ำหนัก ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณโซเดียมทั้งหมด ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดและค่าการนำไฟฟ้าลดลงเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น ส่วนไนเตรต-ไนโตรเจนมีปริมาณเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าในระหว่างกระบวนการหมักปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน และน้ำหนัก มีการสูญเสียมากที่สุด เนื่องจากว่าคาร์บอนได้ถูกจุลินทรีย์ใช้ไปในระหว่างการหมักปุ๋ย ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซ และน้ำหนักถูกเปลี่ยนไปเป็นเถ้า จึงมีค่าลดลงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำปุ๋ย

Flynn และ Wood [25] ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีในระหว่างการทำปุ๋ยหมักจากการผสมระหว่างมูลสัตว์ เศษไม้ และเศษอาหาร โดยทำการหมักร่วมกับเปลือกไม้สน เศษถั่ว เศษฟางข้าว และกากตะกอนจากโรงงานผลิตกระดาษ โดยทำการศึกษาทั้งหมด 84 วัน ซึ่งกำหนด C/N เริ่มต้นเท่ากับ 30 การทำปุ๋ยหมักร่วมกับเปลือกไม้สน พบว่าหลังจากการหมัก 2.58 วัน กองปุ๋ยมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 70 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำปุ๋ยน้ำหนักลดลงประมาณร้อยละ 16 C/N เท่ากับ 20 และ pH เท่ากับ 5.8 ส่วนการทำปุ๋ยหมักร่วมกับเศษถั่ว พบว่าหลังจากการหมัก 2.25 วัน กองปุ๋ยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดถึง 70 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการทำปุ๋ยน้ำหนักลดลงประมาณร้อยละ 33 C/N เท่ากับ 20 และ pH เท่ากับ 6.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ Rajabhat University

การทำปุ๋ยหมักร่วมกับฟางข้าว พบว่าหลังจากการหมัก 3.71 วัน กองปุ๋ยมีอุณหภูมิ 40 องศาเซสเซียส เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำปุ๋ยน้ำหนักลดลงประมาณร้อยละ 73 C/N เท่ากับ 14 pH เท่ากับ 6.7 ส่วนการทำปุ๋ยหมักร่วมกับกากตะกอนจากโรงงานผลิตกระดาษ พบว่าหลังจากการหมัก 3.71 วัน กองปุ๋ยมีอุณหภูมิ 50 องศาเซสเซียส และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำปุ๋ยน้ำหนักลดลงประมาณร้อยละ 16 ค่า C/N เท่ากับ 20 ค่า pH เท่ากับ 6.7

Mondini และคณะ[30] ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณสารอินทรีย์ และ Humification index (HI) ในการทำปุ๋ยหมักโดยใช้วัสดุ 2 ชนิด คือ มูลสัตว์แบบแห้งและแบบเปียก โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ยจากมูลสัตว์ชนิดเปียกมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 82.9 และปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 56.1 ส่วนปุ๋ยจากมูลสัตว์ชนิดแห้งมีปริมาณคาร์บอนใกล้เคียงกัน แต่ในระหว่างการหมักมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 20 ของการหมักค่า HI ลดลงในปุ๋ยหมักทั้งสองชนิด และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ยจากมูลสัตว์ชนิดเปียกมีค่า HI เท่า 0.5 และชนิดแห้งมีค่าเท่ากับ 1.14 และจากศึกษาปริมาณสารประกอบฮิวมิก พบว่าปุ๋ยจากมูลสัตว์ชนิดเปียกมีสารอินทรีย์ที่เสถียรอยู่ในปริมาณสูง จึงเหมาะแก่การปรับปรุงคุณภาพของดิน ส่วนปุ๋ยจากมูลสัตว์ชนิดแห้งเป็นปุ๋ยที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง เหมาะสำหรับเป็นแหล่งธาตุอาหารแก่พืช

Ruzena [33] ได้ศึกษาการงอกและการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพืชที่ทำการศึกษาคือ 5 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม(*Lactuca sativa*) ผักกาดหัวหนู (*Raphanus sativus*) ผักกาดกวางตุ้ง(*Lepidium sativum*) หญ้า(*Lolium perenne*) และ ดาวเรือง (*Tagetes tenuifolia*) พืชทั้ง 5 ชนิดได้ทำการปลูกในตัวกลาง (media) และใส่ปุ๋ยหมักขยะชุมชน ซึ่งมีปริมาณ peat 10% 20% 30% และ 40% โดยในช่วงการเจริญเติบโตรดด้วยปุ๋ยน้ำ Superba S ซึ่งประกอบไปด้วยธาตุอาหาร พบว่าเมล็ดของผักกาดหอมและผักกาดหัวหนูในแปลงที่ปลูกใน peat media ที่มีการใส่ปุ๋ยมีอัตราการงอกช้ากว่าแปลงที่ปลูกใน commercial media ส่วนพืชชนิดอื่นไม่มีความแตกต่างกันมากนัก และหลังจากทำการหว่านเมล็ดพืช 1 เดือน ปรากฏว่าพืชที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยและ peat media มีผลผลิตสูงกว่าหรือเท่ากับพืชที่ปลูกใน commercial media

Gregory [27] ได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของไม้ดอก คือ ต้นแสงอรุณ (Black Eyed Susan) โดยใส่ปุ๋ย 4 ได้แก่ ปุ๋ยหมักจากเศษเหลือในขบวนการผลิตกาแฟ (coffee processing residue : CFPR) ปุ๋ยหมักจากขยะชุมชน (municipal solid waste : MSW) ปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและเศษไม้ (sewage sludge and wood chips : SSWC) และปุ๋ยหมักจากกากตะกอน เศษเถ้า เศษไม้และใบไม้ (sewage sludge, wood ash, wood chips and leaves : SSACL) โดยทำการปลูกในตัวกลางที่ประกอบไปด้วย เศษถ่านหินจากภูเขาไฟ และทราย ในปริมาณ 0% 10% 20% 25% 50% 80% และ 100% ผลปรากฏว่า ต้นแสงอรุณ ที่ปลูกในแปลงที่มีและไม่มีตัวกลางมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนในแปลง CFPR 80% และ 100% และแปลง SSACL 80% มีการเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยในการทดลองไม่มีแปลงชนิดใดที่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Iannotti และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาผลของปุ๋ยจากขยะชุมชนที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช 3 ชนิด ได้แก่ แตงกวา ผักกาด และ หญ้า ทำการปลูกในตัวกลางที่มีส่วนผสมของปุ๋ยจากขยะชุมชน หินภูเขาไฟ และ sphagnum peat moss ในอัตราส่วน 15 : 30 : 55 โดยปรับ pH เท่ากับ 5 และความชื้นร้อยละ 50 โดยปลูกในเรือนกระจกที่มีอุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส แล้วทำการชั่งน้ำหนักแห้งของพืชทดลอง ผลปรากฏว่า พืชมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน โดยหญ้าที่ปลูกในปุ๋ยที่ทำการหมักเป็นเวลา 164 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าต้นที่ปลูกในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผักกาดที่ปลูกในปุ๋ยที่ทำการหมักเป็นเวลา 164 วัน มีการเจริญเติบโตน้อยกว่าต้นที่ปลูกในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนแตงกวาไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุม ซึ่งแสดงว่าปุ๋ยหมักมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของหญ้า และผักกาด แต่ไม่มีอิทธิพลต่อแตงกวา

มหาวิทยาลัยนเรศวร Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1 บ่อหมัก ในการวิจัยใช้วงท่อซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.7 เมตร

3.2. เศษอาหาร โดยรวบรวมเศษอาหารที่ได้จากโรงอาหารสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นเวลา 7 วัน

3.3 เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ผักตบชวา และเศษผัก โดยรวบรวมเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่หาได้ในท้องถิ่น จังหวัดพิษณุโลก

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การศึกษาองค์ประกอบของเศษอาหารและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังนี้ ความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน และอัตราส่วน C/N โดยการนำฟางข้าว ผักตบชวา และเศษผัก นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ให้มีขนาด 1 - 2 เซนติเมตร แล้วทำการสุ่มตัวอย่างเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประมาณ 10 กรัม(น้ำหนักเปียก) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางกายภาพและเคมี โดยทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งวิธีการวิเคราะห์แสดงใน ตารางที่ 3.1

3.2.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีในข้อ 3.2.1 ซึ่งได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนปริมาณคาร์บอน และปริมาณความชื้น มาคำนวณหาปริมาณของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เหมาะสม โดยกำหนด C/N ratio เริ่มต้นของปุ๋ยหมักที่เหมาะสมเท่ากับ 30 [17] จากการคำนวณปริมาณเศษอาหารและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1 : 4 โดยปริมาตร (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค.)

3.2.3 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก โดยใช้อัตราส่วนของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้จากข้อ 3.2.2 โดยทำการหมักเศษอาหารร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จำนวน 3 กอง คือ กองที่ 1ใช้ปริมาณเศษอาหาร 1 กิโลกรัม ต่อ ปริมาณฟางข้าว 4 กิโลกรัม กองที่ 2 ใช้ปริมาณเศษอาหาร 1 กิโลกรัม ต่อ ปริมาณเศษผัก 4 กิโลกรัม และกองที่ 3ใช้ปริมาณเศษอาหาร 1

กิโลกรัม do ปริมาณผักตบชวา 4 กิโลกรัม ในการทดลองได้การควบคุมปริมาณความชื้นตลอดระยะเวลาการหมักให้อยู่ในช่วงร้อยละ50-60 โดยการเติมน้ำลงไปในกองปุ๋ยหมักเพื่อรักษาความชื้น

3.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ อุณหภูมิ(Temperature) ความชื้น (Moisture) ความเป็นกรด-ด่าง(pH), ปริมาณคาร์บอน(C) ปริมาณไนโตรเจน(N) ปริมาณฟอสฟอรัส(P) ปริมาณโพแทสเซียม(K) ปริมาณจุลินทรีย์ประเภท Mesophilic microorganisms และปริมาณจุลินทรีย์ประเภท Thermophilic microorganisms โดยทำการสุ่มตัวอย่างปุ๋ยหมักในแต่ละกองประมาณ 10 กรัม(น้ำหนักเปียก) จากนั้นนำไปวิเคราะคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีและชีวภาพ โดยทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 7 วัน ซึ่งวิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก ดังแสดงในตารางที่ **3.2**

3.2.4 ศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน(N) ปริมาณฟอสฟอรัส(P) และปริมาณโพแทสเซียม(K) โดยทำการสุ่มตัวอย่างปุ๋ยหมักในแต่ละกองประมาณ 10 กรัม(น้ำหนักเปียก) จากนั้นนำไปวิเคราะปริมาณธาตุอาหารหลัก โดยทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักอาหารทุกๆ 7 วัน ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเศษอาหารและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

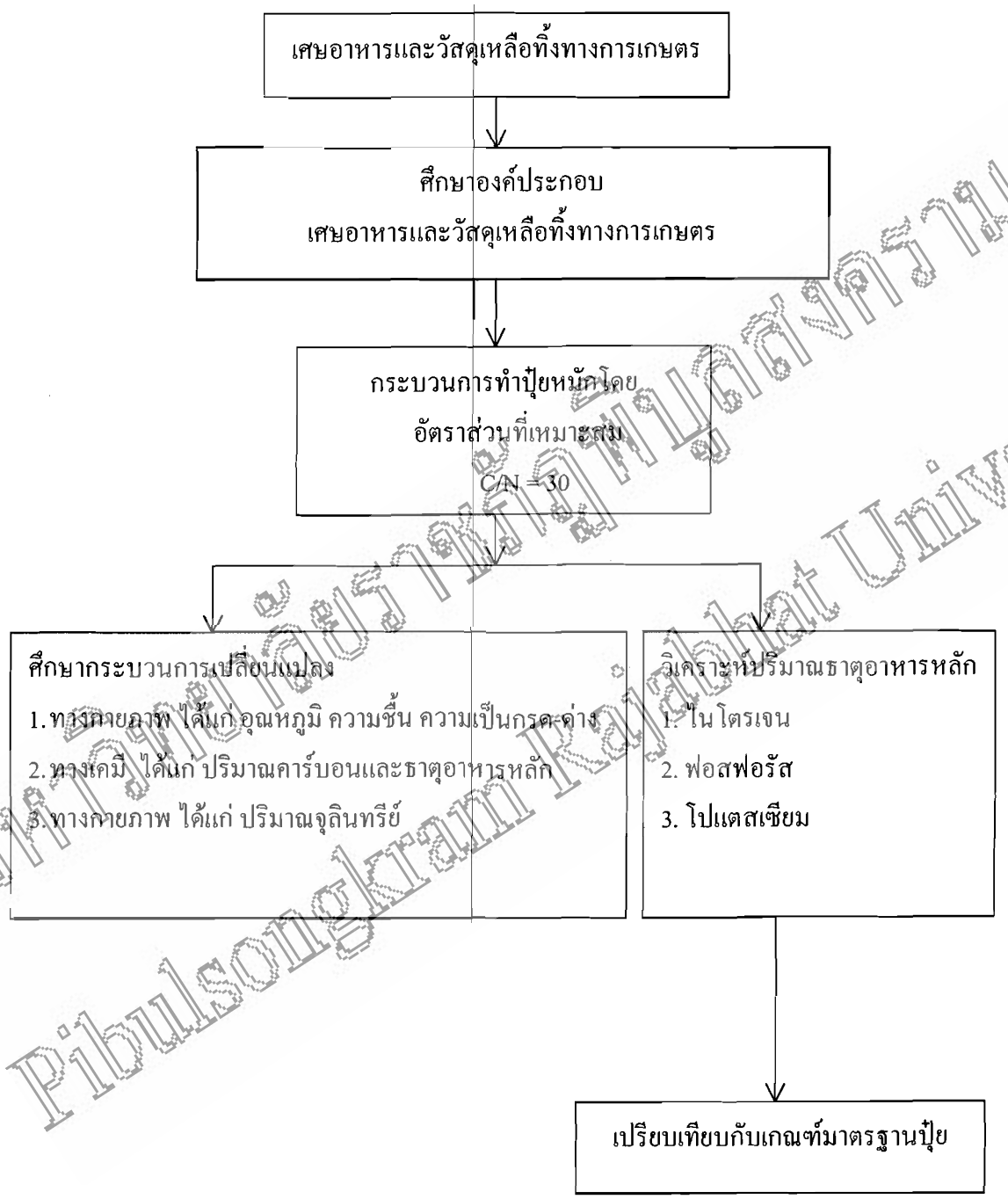
การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	วัดโดยใช้ pH Meter	[5]
ความชื้น (% Moisture)	วิธีการ Oven-drying method	[5]
ปริมาณเถ้า (% Ash)	วิธีของ Carter	[22]
ปริมาณคาร์บอน (% Carbon)	วิธีของ Carter	[22]
ปริมาณไนโตรเจน (% Nitrogen)	วิธี Kjeldahl method	[20]

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ

การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
1.) ทางด้านกายภาพ		
1.1 ความชื้น	วิธีการ Oven-drying method	[5]
1.2 อุณหภูมิ	วัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์	
1.3 ความเป็นกรด-ด่าง	วัดโดยใช้ pH Meter	[5]
2.) ทางด้านเคมี		
2.1 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน	วิธีของ Carter	[22]
2.2 ปริมาณไนโตรเจน	วิธี Kjeldahl method	[20]
2.3 ปริมาณฟอสฟอรัส	วิธี Vanadomolybd-Phosphoric Acid	[36]
2.4 ปริมาณโปแตสเซียม	วิธี Atomic Absorption Spectrophotometer	[36]
3.) ทางจุลินทรีย์		
3.1 ปริมาณเชื้อ Mesophillic Microorganism	วิธี Standard Plate Count (บ่มที่อุณหภูมิห้อง)	[20]
3.2 ปริมาณเชื้อ Thermophillic Microorganism	วิธี Standard Plate Count (บ่มที่อุณหภูมิ 55 ^{0}C)	[20]

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

3.3 แผนการดำเนินการวิจัย



มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าว เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่น ในการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ การศึกษาองค์ประกอบของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ และปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมัก โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.1 การศึกษาองค์ประกอบของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

การทดลองครั้งนี้ใช้เศษอาหารจากโรงอาหารสถาบันราชภัฏพิบูลสงครามร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีเหลืออยู่มากในท้องถิ่น ซึ่งได้แก่ เศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าว มาใช้ในการทำปุ๋ยหมัก จึงจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวก่อน เพราะวัสดุเหลือทิ้งที่อยู่ในรูปของแข็งที่นำมาเป็นส่วนผสมการทำปุ๋ยหมัก ทำหน้าที่เป็นตัวรักษาโครงสร้างของกองปุ๋ยหมักและเพิ่มช่องว่างหรือรูพรุนในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งทำให้กระบวนการหมักมีการระบายอากาศและความร้อนได้ดี นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เริ่มต้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม [16] ดังนั้นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้ โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นต่างๆ ดังนี้ คือ ปริมาณความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) และปริมาณเถ้า ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อกระบวนการหมักและกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยผลการศึกษาองค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

การวิเคราะห์	วัสดุหมักเริ่มต้น			
	เศษอาหาร	ผักตบชวา	ฟางข้าว	เศษผัก
ความชื้น (%)	77.07	15.21	6.99	79.90
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.91	6.10	8.09	6.35
ปริมาณคาร์บอน(%โดยน้ำหนักแห้ง)	50.59	44.53	46.46	38.50
ปริมาณไนโตรเจน(%โดยน้ำหนักแห้ง)	5.52	1.48	0.60	1.22
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N)	9.16	30.09	77.43	31.55
ปริมาณเถ้า(%โดยน้ำหนักแห้ง)	8.90	19.85	16.37	19.60

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเศษอาหาร พบว่าเศษอาหารมีความชื้นอยู่ในระดับสูง คือร้อยละ 77.07 และมีสภาพเป็นกรด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.91 ส่วนปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน และปริมาณเถ้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 50.59, 5.52 และ 8.90 ตามลำดับ และพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์ต่ำคือ 9.16 ส่วนการศึกษาองค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่า เศษผักมีความชื้นอยู่ในระดับสูงคือร้อยละ 79.90 ผักตบชวาและฟางข้าวมีความชื้นอยู่ในระดับต่ำโดยมีค่าร้อยละ 15.21 และ 6.99 ตามลำดับ เศษผักและผักตบชวามีความเป็นกรดอ่อน ๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.01 - 6.35 ส่วนฟางข้าวมีความเป็นด่างคือมีค่าเท่ากับ 8.09 โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักคือ 6 – 8 [11]

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุหมัก พบว่าปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วงร้อยละ 38.50 - 46.46 ส่วนปริมาณไนโตรเจนนั้น พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.60 – 1.48 และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ C/N wuii วัสดุหมักจัดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่ายเนื่องจากมีอัตราส่วน C/N ต่ำกว่า 100 [17] โดยมีค่าอยู่ในช่วง 30.09 - 77.43 อย่างไรก็ตามวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรยังมีอัตราส่วน C/N สูง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับอัตราส่วน C/N เริ่มต้นของการหมักให้เหมาะสม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30 ส่วนปริมาณเถ้าของวัสดุหมัก พบว่ามีค่าไม่สูงจนเกินไป คืออยู่ช่วงร้อยละ 8.90 - 19.85 ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุหมักได้ เพราะทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณเถ้าไม่สูงมากนัก

4.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก

จากการศึกษาองค์ประกอบของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่นำมาศึกษาทั้ง 3 ชนิด คือ เศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าว มีคุณสมบัติเบื้องต้นที่มีศักยภาพในการนำมาทำปุ๋ยหมักในการศึกษาได้มีการควบคุมอัตราส่วน C/N เริ่มต้นของการหมักให้อยู่ในช่วง 30-40 จากการคำนวณปริมาณเศษอาหารและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค.) พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1 : 4 โดยปุ๋ยหมักที่ใช้เศษอาหารร่วมกับฟางข้าว และ มีค่า C/N ratio เริ่มต้นประมาณ 30 ส่วนปุ๋ยหมักที่ใช้เศษอาหารร่วมกับเศษผักและผักตบชวามีค่า C/N ratio เริ่มต้นประมาณ 20 เนื่องจากเศษผักและผักตบชวามี 61 C/N ratio เริ่มต้นใกล้เคียงกับ 30 อยู่แล้ว ดังนั้นการปรับให้ปุ๋ยหมักเริ่มต้นมีค่า C/N ratio เริ่มต้นเท่ากับ 30 จะต้องใช้ปริมาณเศษอาหารน้อยมาก ทำให้ความชื้นในกองปุ๋ยหมักน้อย ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมะสมในการทำปุ๋ยหมัก ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนปริมาณเศษอาหารต่อเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเท่ากับ 1:4 และควบคุมความชื้นตลอดการทดลองให้อยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 และติดตามผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ตลอดระยะเวลาในการหมัก 90 วัน

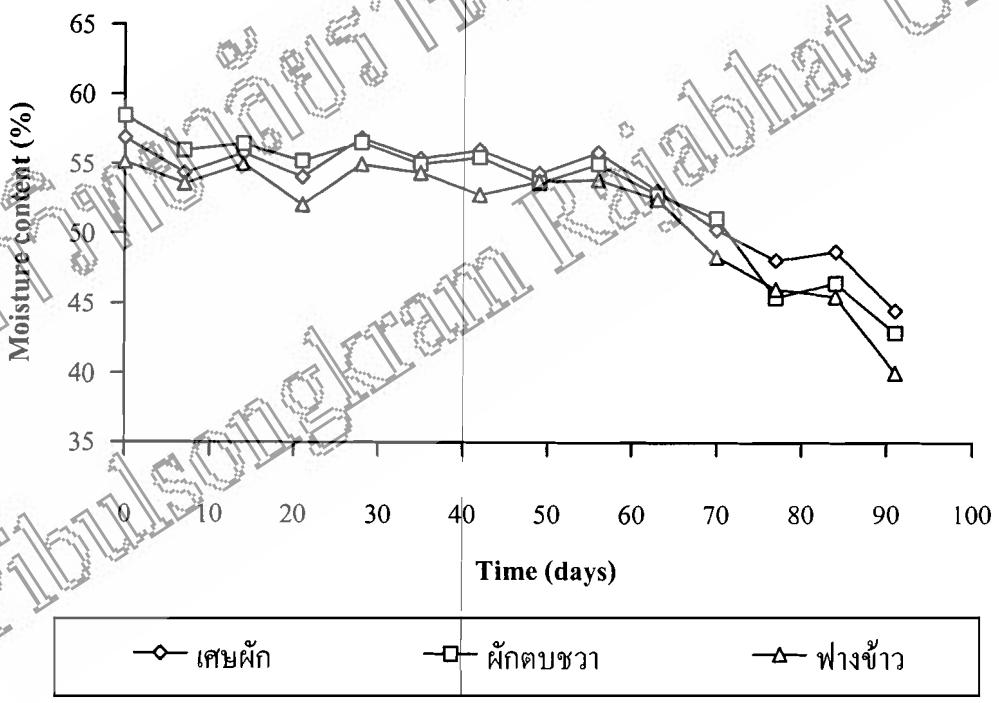
4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ

4.3.1 ปริมาณความชื้น

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการควบคุมปริมาณความชื้นให้อยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 50-60 โดยการเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมัก จากการวัดปริมาณความชื้นเริ่มต้นของการหมัก พบว่าผักตบชวามีปริมาณความชื้นสูงสุด คือร้อยละ 58.44 รองลงมาคือ เศษผักและฟางข้าว ตามลำดับ เมื่อการหมักผ่านไประยะหนึ่งในทุกชุดการทดลองได้มีการเติมน้ำลงไปเพื่อรักษาปริมาณความชื้นให้เหมาะสมกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ตลอดระยะเวลาในการหมัก (ร้อยละ 50-60)

จากรูปที่ 4.1 พบว่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในทุกชุดการทดลองคล้ายคลึงกัน เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมักพบว่าชุดการทดลองที่ใช้เศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 44.43, 42.85 และ 40.02 ตามลำดับ และพบว่าปริมาณความชื้นของชุดการทดลองที่ใช้ฟางข้าวมีปริมาณความชื้นลดลงมากกว่าชุดทดลองอื่น ๆ ซึ่งการลดลงของปริมาณความชื้นสอดคล้องกับผลของอุณหภูมิในรูปที่ 4.2 เพราะเมื่อความร้อนภายในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นทำให้น้ำภายในวัสดุหมักระเหยออกไปบางส่วน รวมทั้งฟางข้าวมีคุณสมบัติไม่เก็บกักความชื้น ทำให้ปริมาณความชื้นอยู่ในระดับต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่น

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมักซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกำหนดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนพื้นผิวของวัสดุหมัก เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหาร และก๊าซออกซิเจนจากวัสดุหมักและอากาศไปยังจุลินทรีย์ และยังเป็นตัวกลางในการส่งเอนไซม์เข้าย่อยสลายวัสดุหมักด้วย โดยปกติภายในกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงทำให้น้ำระเหยจากกองปุ๋ยตลอดเวลา ถึงแม้ว่าสารอินทรียวัตถุมีคุณสมบัติที่อุ้มน้ำได้ดีก็ตาม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้ปริมาณความชื้นมากหรือน้อยเกินไป ระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายประมาณร้อยละ 50-60 ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายเกิดขึ้นช้าเพราะมีน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ถ้าความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 ทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไปการระบายอากาศไม่ดี จนทำให้เกิดสภาพไม่มีอากาศ กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้า เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการอากาศหรือต้องการออกซิเจนในการสร้างพลังงาน [9]



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในระหว่างการหมัก

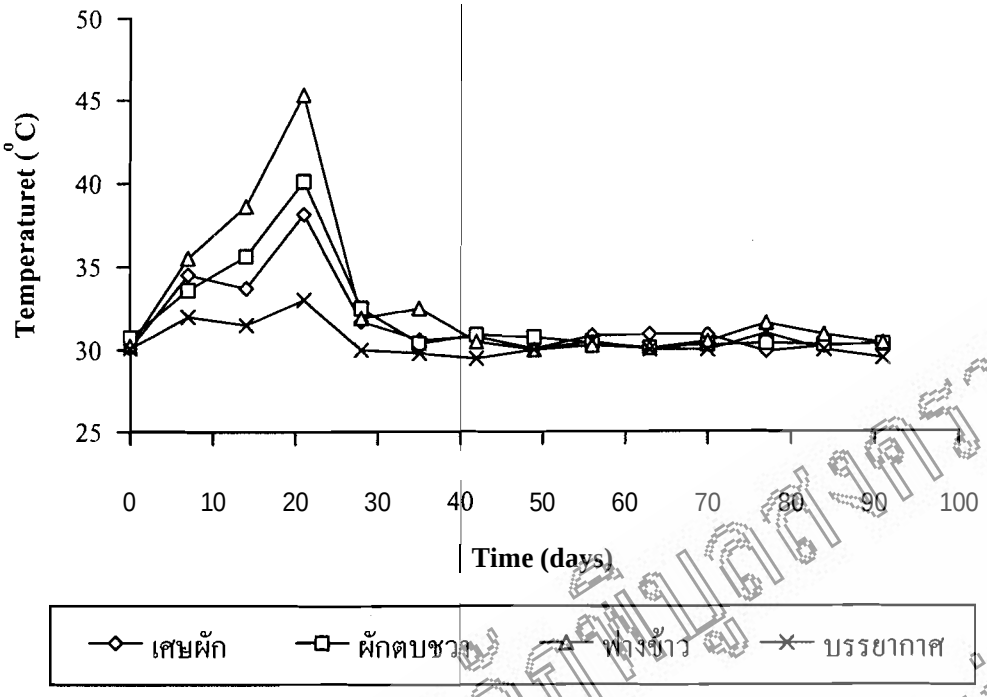
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

4.3.2 อุณหภูมิ

จากการศึกษาพบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในทุกชุดการทดลองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยอุณหภูมิในทุกชุดการทดลองเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการหมัก ซึ่งส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงด้วย(ดังรูปที่4.1) โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของการหมักมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ โดยในช่วงระยะเวลาการหมัก 21 วันแรก อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ฟางข้าวมีอุณหภูมิสูงสุด คือ 45.3 องศาเซลเซียส ส่วนชุดการทดลองที่ผักตบชวาและเศษผักเป็นวัสดุหมักมีอุณหภูมิเท่ากับ 40.1 และ 38.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสอดคล้องกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ประเภท Thermophile ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าวเช่นกัน (ดังรูป 4.10) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นนั้นมาจากกิจกรรมในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบมีมากขึ้น และหลังจากวันที่ 21 ของการหมัก พบว่าอุณหภูมิภายในระบบลดลงและค่อนข้างntd โดยชุดการทดลองทั้ง 3 ชุดมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 29.9 - 32.5 องศาเซลเซียส ดังนั้นในช่วงนี้จุลินทรีย์ประเภท Mesophile จึงมีบทบาทในการย่อยสลายกองปุ๋ยหมัก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น (ดังรูป 4.9) โดยอุณหภูมิในช่วงสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก 90 วัน พบว่ามีค่าเท่ากับ 30.40 - 30.33 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ (ดังรูปที่ 4.2)

นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าอุณหภูมิบรรยากาศสูงขึ้น อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักมีค่าสูงขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทำปุ๋ยหมัก[17] และเมื่อพิจารณาถึงรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้น พบว่าในช่วงแรกของการหมักเป็นช่วง Therrnophilic stage เพราะอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักได้สูงขึ้นกว่าระดับปกติอย่างเห็นได้ชัด หลังจากนั้นเป็นช่วง Mesophilic stage เพราะอุณหภูมิในระหว่างการทำปุ๋ยหมักมีค่าสูงกว่าระดับปกติเพียงเล็กน้อย

มหาวิทยาลัยนเรศวร Pibulsongkram Rajabhat University



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการหมัก

4.3.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

จากการทดลอง พบว่าในช่วง 20 วันแรกของการหมัก ค่า pH ในแต่ละชุดการทดลองได้มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมัก (ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10) โดยจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน เกิดกรดอินทรีย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นในช่วงวันที่ 20 ถึงวันที่ 63 ของการหมัก พบว่าค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า pH ที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียที่เกิดขึ้น โดยสังเกตได้จากกลิ่นของแอมโมเนียที่อยู่ในวัสดุหมักระเหยขึ้นมาขณะทำการกลับกองปุ๋ยหมักที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในวัสดุหมักที่ย่อยสลายสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบให้อยู่ในรูปของแอมโมเนีย ส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้น และพบว่าการทดลองที่ใช้ฟางข้าวมีค่า pH เริ่มต้นสูงที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 5.21 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่า pH ของฟางข้าวนั้นมีค่าสูงกว่าวัสดุหมักชนิดอื่น จึงทำให้ค่า pH ระหว่างการหมักมีค่าค่อนข้างสูง ส่วนในการทดลองชุดอื่นๆ ค่า pH เริ่มต้นอยู่ในช่วง 4.59 – 4.85 และในช่วงวันที่ 63 -90 ของการหมักพบว่าค่า pH ในทุกชุดมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่

โดยฟางข้าว ผักตบชวา และเศษผักมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 7.25 – 7.56, 7.11 – 7.2, และ 6.75 – 7.07 (ดังรูปที่ 4.3)

การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในกระบวนการหมักนี้ Girovich [26] ได้อธิบายไว้ว่า pH จะเพิ่มขึ้นชั่วระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากการเกิดบัฟเฟอร์ (Buffer) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กรดอ่อน แอมโมเนีย และเบสอ่อน โดยค่า pH ที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการระเหยของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียที่เกิดขึ้นระหว่างการเติมอากาศ หรือการพลิกกลับของวัสดุที่ทำการหมักทำให้ค่า pH มากกว่า 8 ดังสมการที่ (1)

neutral		alkaline	
NH^+_4	$\longleftrightarrow$	$NH_3 + H^+$	(1)
non-volatile		volatile	

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยที่ buffer pH ของแอมโมเนีย จะทำปฏิกิริยากับกรดระเหยง่ายและสารประกอบที่เป็นกรดต่าง ๆ เช่น acetic acid ทำให้กรดเหล่านี้เป็นกลาง มีผลทำให้กลิ่นเหม็นเปรี้ยวลดลง ดังสมการที่ (2)

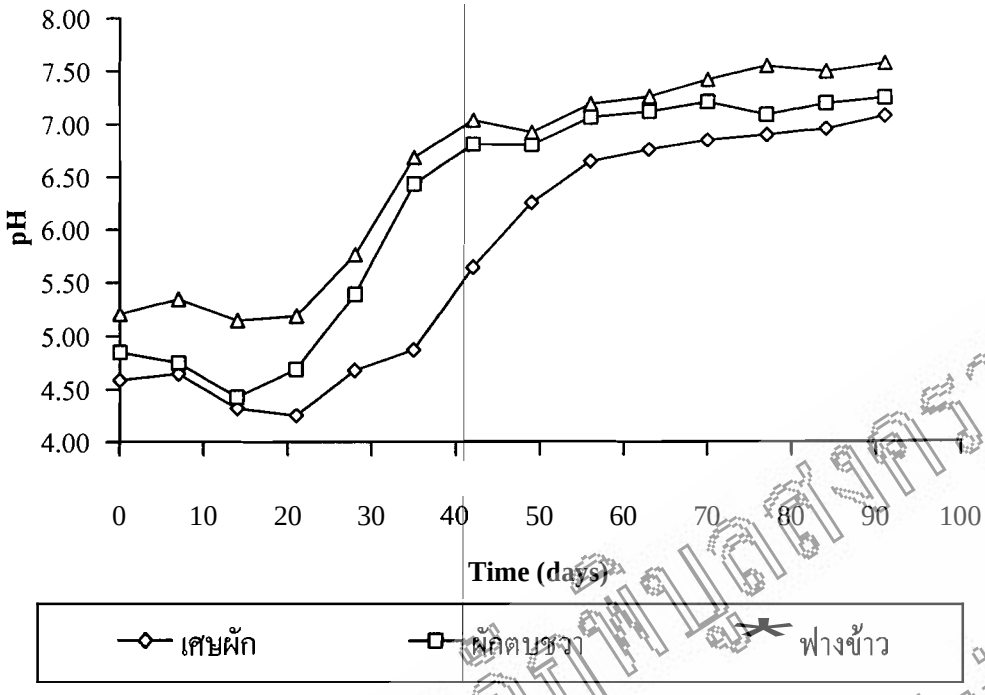
acetic acid	ammonia		ammonium	acetate	
CH_3COOH	$+ NH_3$	$\longleftrightarrow$	NH^+_4	$+ CH_3COO^-$	(2)
volatile			non – volatile		

ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักมักมีก๊าซ CO_2 และกรดอ่อนเกิดขึ้น ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาการเป็น buffer ที่ผันกลับได้ โดยส่งผลทำให้ค่า pH ลดต่ำลงด้วยปฏิกิริยา buffer ของ CO_2 ความเป็นด่าง (alkalinity) ดังสมการที่ (3)

$$CO_2 + OH^- \longleftrightarrow HCO^-_3 \longleftrightarrow CO^{2-}_3 + H^+ \qquad (3)$$

ภายหลังจากการเกิดปฏิกิริยา Buffer ของแอมโมเนีย และ CO_2 ทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีค่า pH อยู่ในช่วง 7.0 - 7.5 ถึงแม้ว่าค่า pH ของวัสดุผสมที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีค่าแตกต่างกันมากจาก pH 5 ถึง pH 8 และตลอดระยะเวลาของการหมักนั้นพบว่าในแต่ละชุดของการทดลองมีค่า pH ไม่แตกต่างกันมากนัก และมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันตลอดช่วงการหมัก (ดังรูปที่ 4.3)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา Rajabhat University



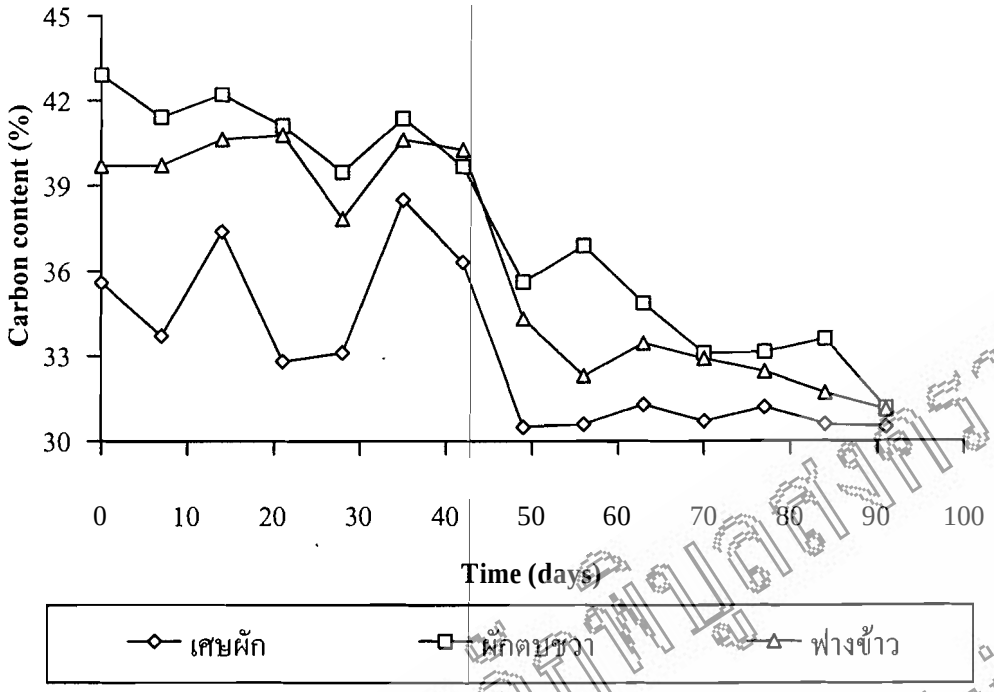
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมัก

4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านเคมี

4.4.1 ปริมาณคาร์บอน

จากการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในแต่ละชุดของการทดลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ยกเว้นการทดลองชุดที่ใช้เศษผักเป็นวัสดุหมักมีปริมาณคาร์บอนในตลอดระยะเวลาของการหมักน้อยกว่าการทดลองชุดอื่น ทั้งนี้เพราะปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่าวัสดุหมักชนิดอื่น จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นของการทดลองที่ใช้ผักตบชวามีค่าสูงสุดคือร้อยละ 42.90 ส่วนชุดการทดลองที่ใช้ฟางข้าวและเศษผักมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 39.70 และ 35.60 ตามลำดับ โดยปริมาณคาร์บอนมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงตลอดระยะเวลาของการหมัก และลดลงอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 50 ของการหมัก โดยในวันที่ 90 ของการหมักพบว่ามีปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วงร้อยละ 30.50 - 31.15 ซึ่งการลดลงของปริมาณคาร์บอนในปุ๋ยหมักนั้นเป็นผลอันเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตและการสร้างเซลล์ และเปลี่ยนให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ดังรูปที่ 4.4)

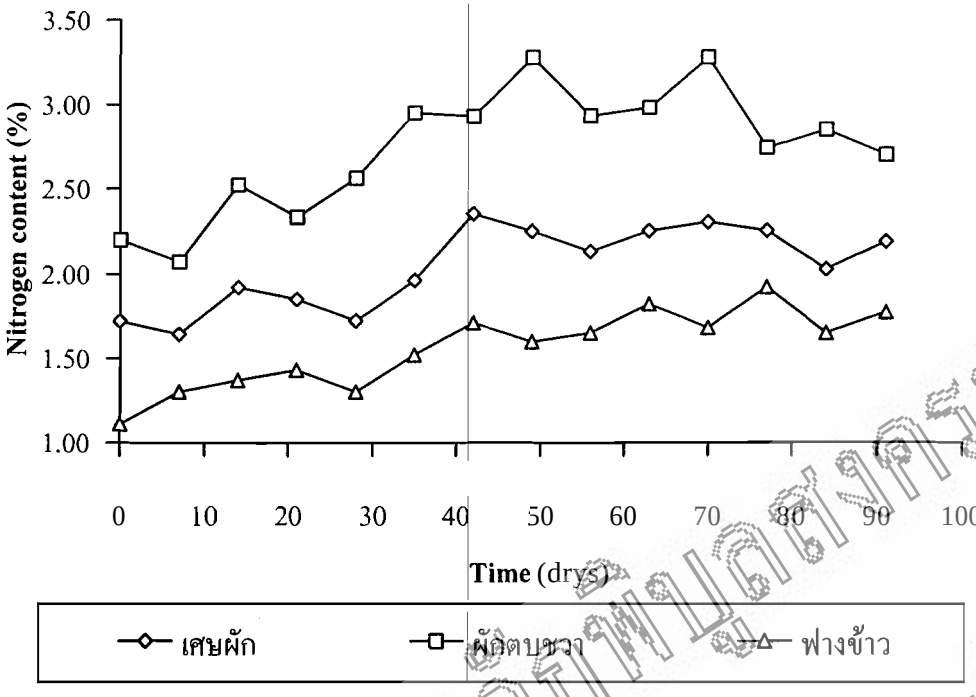
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา Phranakhon Rajabhat University



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในระหว่างการหมัก

4.4.2 ปริมาณไนโตรเจน

จากการทดลองพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยในชุดที่ใช้ผักตบชวาเป็นวัสดุหมักมีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดคือมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงร้อยละ 2.07-3.28 ทั้งนี้เพราะปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นของผักตบชวามีค่ามากกว่าชนิดอื่น ส่วนชุดการทดลองที่ใช้เศษผักและฟางข้าวเป็นวัสดุหมักมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 1.64 – 2.35 และ 0.11 – 1.77 ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนนี้อาจเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการใช้ไนเตรทในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ในรูปที่มีอินทรีย์ไนโตรเจนหรือมีการตรึงไนโตรเจนจากสิ่งแวดล้อมในระหว่างการย่อยสลายเซลลูโลสในวัสดุหมัก จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าปริมาณไนโตรเจนยังมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 90 ปริมาณไนโตรเจนในชุดการทดลองที่ใช้ ผักตบชวา เศษผัก และฟางข้าว เป็นวัสดุหมักมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.17, 2.18 และ 1.77 ตามลำดับ

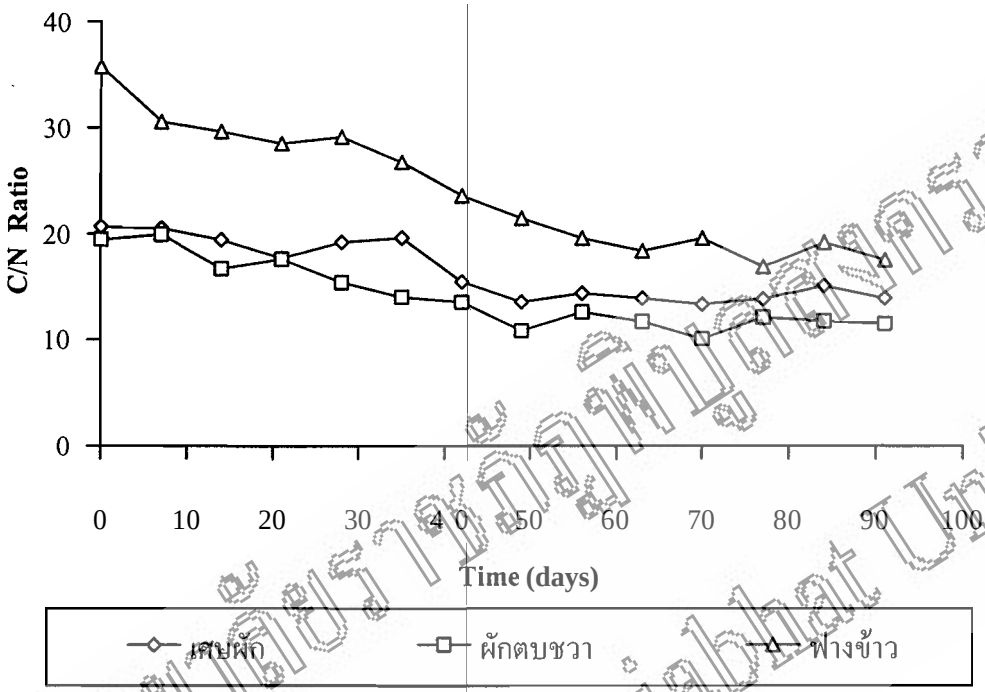


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในระหว่างการหมัก

4.4.3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

ในการทดลองนี้ได้มีการควบคุมอัตราส่วนของ C/N เริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 35-40 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนเริ่มต้นที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักสำหรับจุลินทรีย์ที่นำคาร์บอนและไนโตรเจนไปใช้ในกิจกรรมสร้างเซลล์ โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนจนกระทั่งได้โมเลกุลเล็กและนำเข้าไปในเซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งของพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ สำหรับสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายเช่นกัน เพื่อนำไปใช้สร้างส่วนประกอบของเซลล์ เช่น โปรตีน และ Nucleic Acid เป็นต้น โดยปรกติเซลล์จุลินทรีย์มีอัตราส่วน C/N ประมาณ 10-15 หมายความว่าการที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรียคาร์บอนเข้าไปในเซลล์ 10-15 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไป 1 หน่วย จึงจะทำให้เกิดความสมดุลของสารประกอบทั้งสองในเซลล์และจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี [17] จากการทดลองพบว่าอัตราส่วน C/N เริ่มต้นของชุดการทดลองที่มีการใช้ฟางข้าว มีค่าสูงสุดคือ 35.77 ส่วนชุดที่ใช้ผักตบชวาและเศษผักมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอัตราส่วน C/N มีค่าเท่ากับ 19.50 และ 20.69 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นของผักตบชวาและเศษผัก มีค่าค่อนข้างสูงจึงทำให้อัตราส่วนของ C/N ต่ำ ถึงแม้ได้พยายามปรับค่า C/N จากรูปที่ 4.6 พบว่าตลอดระยะเวลาของการหมักอัตราส่วนของ C/N ใน

ทุกชุดของการทดลองมีแนวโน้มลดลงโดยในวันที่ 90 ของการหมัก อัตราส่วนของ C/N ของชุดการทดลองที่ใช้ผักตบชวา มีค่าต่ำที่สุด คือ 11.53 ส่วนชุดการทดลองอื่นๆที่ใช้ฟางข้าวและเศษผักเป็นวัสดุหมักมีอัตราส่วนของ C/N เท่ากับ 17.57 และ 13.94 ตามลำดับ

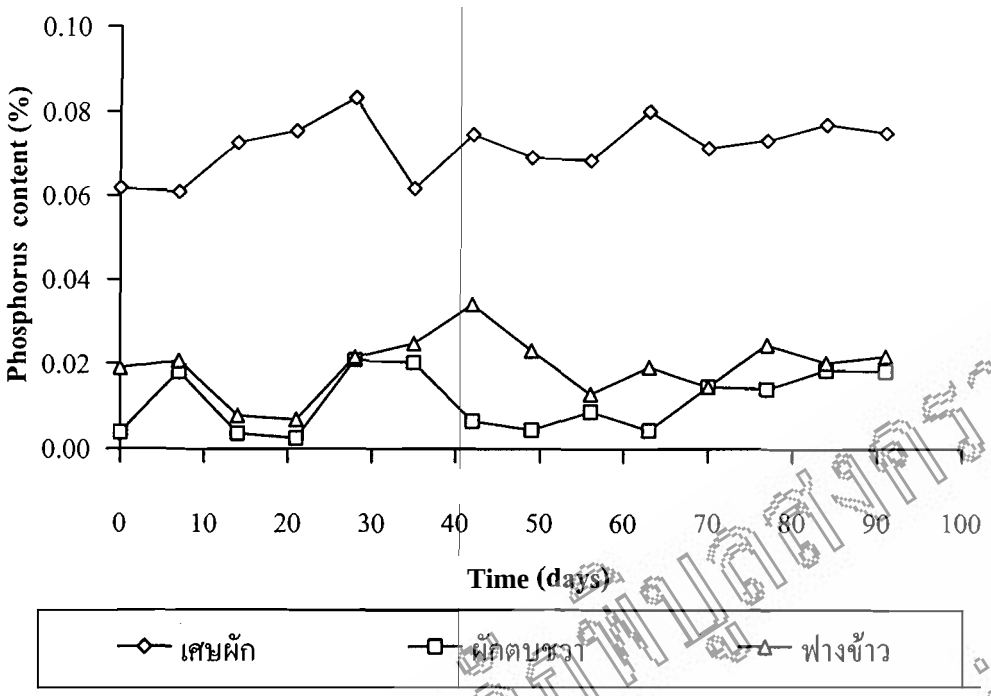


รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมัก

4.4.4 ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5)

จากการทดลองพบว่าปริมาณฟอสฟอรัส ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยในการทดลองที่ใช้เศษผักเป็นวัสดุหมักมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดคือมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงร้อยละ 0.06 – 0.08 ทั้งนี้เพราะปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นของเศษผักมีค่ามากกว่าชนิดอื่นๆ ส่วนชุดที่ใช้ฟางข้าวและผักตบชวาเป็นวัสดุหมักมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 – 0.03 และ 0.01 – 0.02 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสนี้อาจเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการใช้ฟอสฟอรัสในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ จากรูปที่ 4.7 พบว่าในวันที่ 84 ของการหมัก ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าเริ่มคงที่ จนถึงวันที่ 90 ปริมาณฟอสฟอรัสในชุดการทดลองที่ใช้ เศษผัก ฟางข้าว และผักตบชวา เป็นวัสดุหมักมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.07, 0.02 และ 0.01 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Chiangrai Rajabhat University

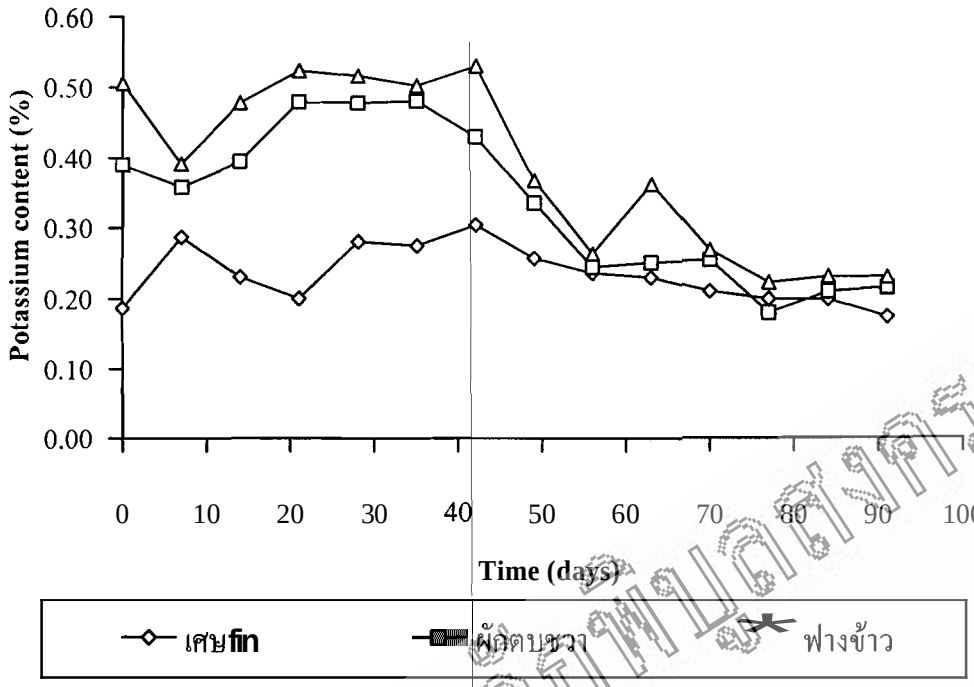


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมัก

4.4.5 ปริมาณโพแทสเซียม (K_2O)

จากการทดลองพบว่าปริมาณโพแทสเซียมของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยในการทดลองที่ใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุหมักมีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดคือมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงร้อยละ 0.22 – 0.53 ทั้งนี้เพราะปริมาณโพแทสเซียมเริ่มต้นของฟางข้าวมีค่ามากกว่าชนิดอื่น ส่วนผักตบชวาและเศษผักมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18 – 0.48 และ 0.17 – 0.28 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมนี้อาจเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีการใช้โพแทสเซียมในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ จากรูปที่ 4.8 พบว่าในวันที่ 77 ของการหมัก ปริมาณโพแทสเซียมมีค่าเริ่มคงที่ จนถึงวันที่ 90 ปริมาณโพแทสเซียมในชุดการทดลองที่ใช้ เศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าว เป็นวัสดุหมักมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.17, 0.21 และ 0.23 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี Phetchaburi Rajabhat University



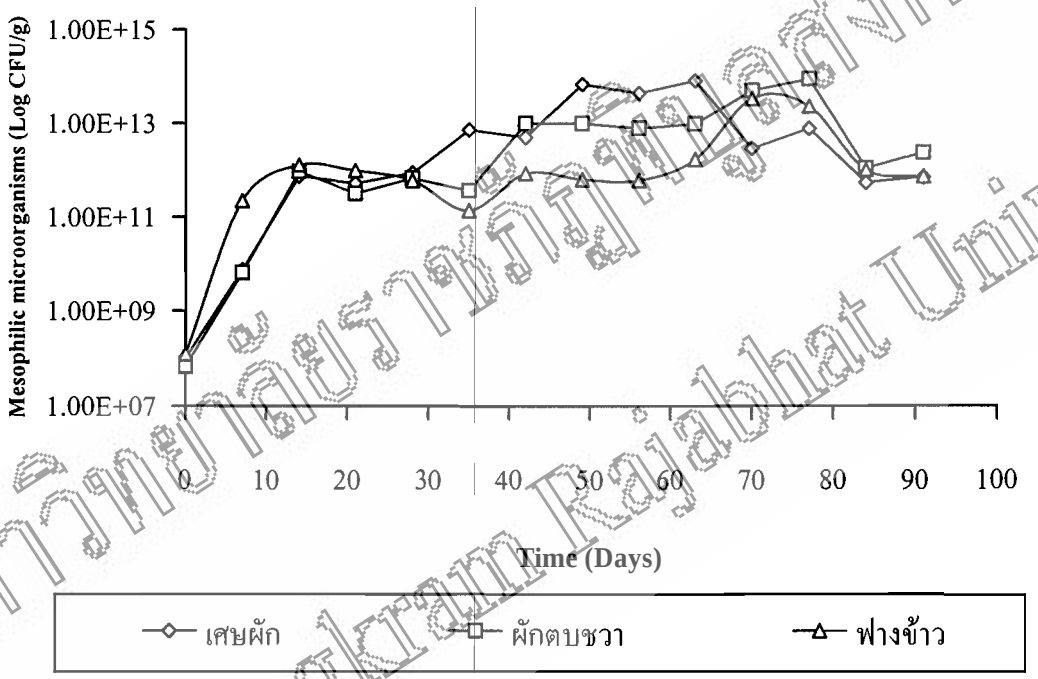
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในระหว่างการหมัก

4.5 การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ

4.5.1 ปริมาณ Mesophilic microorganisms

จากการทดลองพบว่าปริมาณ Mesophillic microorganism เริ่มต้นในแต่ละชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง $6.75x10^{7}$ - $1.23x10^{8}$ CFU/g ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้เศษอาหารเป็นวัสดุร่วมในการทำปุ๋ยหมัก โดยเศษอาหารเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย จึงทำให้ปริมาณ Mesophillic microorganism ที่วัดได้มีปริมาณสูง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 14 วันแรกของการหมัก ทั้งนี้เพราะในกองปุ๋ยหมักมีปริมาณธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการและสามารถนำไปใช้ได้ง่าย ทำให้มีปริมาณ Mesophillic microorganisms เพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นในช่วงเวลา 14 – 28 วัน มีค่าคงที่อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ $3.20x10^{11}$ - $1.00x10^{12}$ CFU/g เพราะเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในวัสดุหมักใช้เวลาในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลใหญ่และย่อยสลายยากให้มีขนาดเล็กลงและจุลินทรีย์สามารนำไปใช้ได้ จนถึงวันที่ 42 ของการหมัก มีปริมาณของ Mesophillic microorganisin มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนอีกครั้ง ทั้งนี้เพราะมีการใช้สารอาหารที่ได้จากการย่อยในช่วงที่ผ่านมา ทำให้จุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และเริ่มลดลงอีกครั้งในการหมักวันที่ 84 โดยมีแนวโน้ม

ลดลงเรื่อยๆ เพราะในระยะนี้ธาตุอาหารในวัสดุหมักมีปริมาณจำกัด ทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์เริ่มลดลง ปริมาณของ Mesophillic inicroorganisms ในทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันคือ $7.00x10^{11}$ - $2.40x10^{12}$ CFU/g โดยตลอดระยะเวลาของการหมักพบว่าการทดลองทุกชุดมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ Mesophillic microorganisms คล้ายคลึงกัน และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการหมัก 90 วัน ชุดการทดลองที่ผักตบชวามีปริมาณของ Mesophillic microorganisms มีค่าเท่ากับ $2.40x10^{12}$ CFU/g ส่วนฟางข้าวและเศษผักมีค่าเท่ากับ $7.40x10^{11}$ และ $7.00x10^{11}$ CFU/g ตามลำดับ



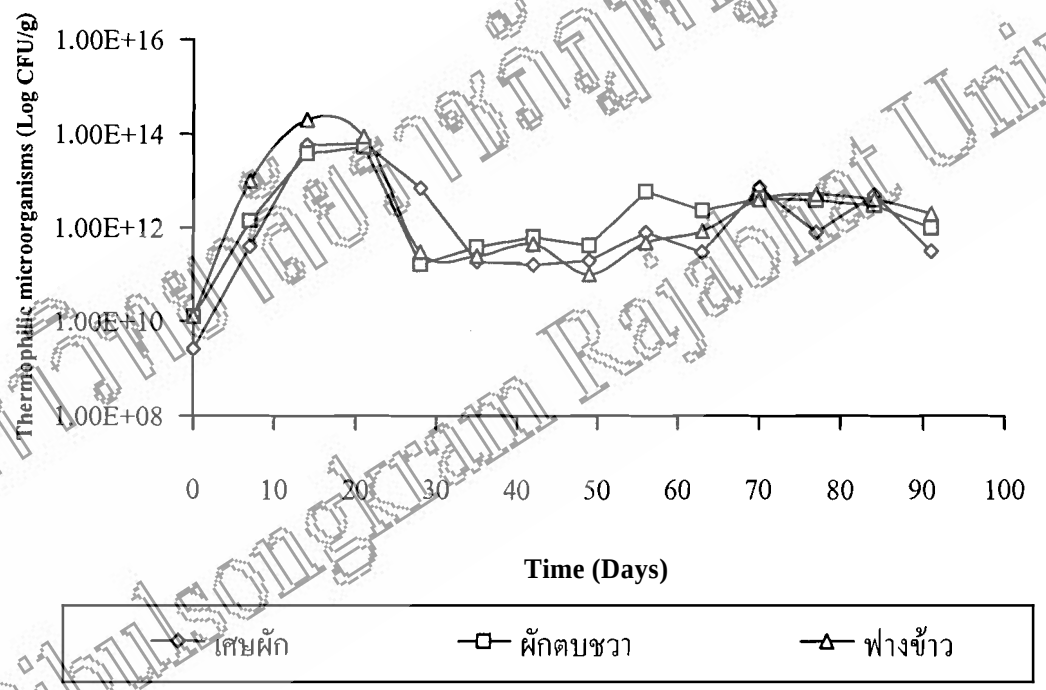
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ Mesophilic microorganisms ในระหว่างการหมัก

4.5.2 ปริมาณ Thennophilic microor anisms

จากการทดลองพบว่ารูปแบ การเจริญเติบโตตลอดช่วงระยะเวลาการหมักนั้นมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน โดย บว่าในช่วง 7 วันแรกของการหมัก ทุกชุดการทดลองมีปริมาณของ Thermophillic microo ganisms เพิ่มสูงขึ้นจากค่าเริ่มต้นประมาณ 10^2-10^3 เท่า ทั้งนี้เพราะมีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะส ต่อการเจริญของ Thermophillic microorganisms ทำให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอ คล้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในระบบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงเวลาดังกล่าว จนกระทั่งมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 14 ของการหมัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง $3.80x10^{13}$ - $2.00x10^{14}$ CFU/g แล้วค่อยๆ ลดลงหลังจากวันที่ 21 ของการหมัก และพบว่าปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ อีกครั้งในช่วงวันที่ 56 ของการหมัก โดยมีลักษณะค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ใช้เวลาในการย่อยสลายอินทรียสารที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง และเชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ หลังจากวันที่ 84 ของการหมักปริมาณ Thermophillic microorganisms ได้มีแนวโน้มลดลง เพราะกิจกรรมของจุลินทรีย์เริ่มลดลง เนื่องจากมีปริมาณอาหารจำกัด โดยในวันที่ 90 ของการหมัก แต่ละกองปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ มีปริมาณ Thermophillic microorganisms ดังนี้ ชุดที่ใช้ฟางข้าวมีค่าเท่ากับ $2.00x10^{12}$ CFU/g ชุดที่ใช้ผักตบชวามีค่าเท่ากับ $1.00x10^{12}$CFU/g และชุดที่ใช้เศษผักมีค่าเท่ากับ $3.20x10^{11}$ CFU/g



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ Thermophilic microorganisms ในระหว่างการหมัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

4.6 ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมัก

ในการทำปุ๋ยหมักควรมีการพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัสดุหมักที่ใช้ และต้องมีการตรวจสอบว่าปุ๋ยที่ได้ว่ามีธาตุอาหารหลัก N, P และ K ตามมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดินหรือไม่ โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักที่ได้ เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดเอาไว้ คือ ปุ๋ยหมักต้องมีธาตุอาหาร $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ร้อยละไม่ต่ำกว่า 1-1-0.5 [3] และจากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักได้แสดงค่าในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในปุ๋ยหมัก

ชนิดของวัสดุหมัก	ธาตุอาหาร (ร้อยละ)		
	ไนโตรเจน (TKN)	ฟอสฟอรัส (P_2O_5)	โพแทสเซียม (K_2O)
เศษผัก	2.18	0.77	0.17
ผักตบชวา	2.70	0.01	0.21
ฟางข้าว	1.77	0.02	0.23
มาตรฐาน*	มากกว่า 1	มากกว่า 1	มากกว่า 0.5

* มาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [3]

จากการวิเคราะห์พบว่าได้ว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนสูงสุดคือ ร้อยละ2.70 ส่วนเศษผักและฟางข้างมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.18 และ 1.77 โดยปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองมีค่าไนโตรเจนสูงกว่ามาตรฐาน และพบว่าทุกชุดการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน ดังนั้นในการใช้งานควรมีการปรับปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมให้ได้ตามเกณฑ์ โดยอาจจะใช้ P_2O_5 ปรับโดยตรง หรือพวกธาตุอาหารที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงๆ เช่น กระดูกป่น ขี้เถ้ากระดูก เป็นต้น ก่อนนำปุ๋ยหมักไปใช้งาน และจากการสังเกตลักษณะภายนอกของปุ๋ยหมักที่ได้พบว่ามีลักษณะอ่อนนุ่ม ยุ่ย ขาดง่าย มีกลิ่นคล้ายดิน และสีของวัสดุหมักมีสีน้ำตาลเข้ม ดังแสดงลักษณะปุ๋ยที่ได้ในรูปที่ 4.11

12.5 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันเศษวัสดุที่ไม่ต้องการเช่น หิน กรวด ทราย และวัสดุอันตรายชนิด

ในการทำปุ๋ยหมักนั้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้ด้วย ดังนั้นคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้จากการทดลองในระยะเวลาการหมัก 90 วัน แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก

ชนิดของวัสดุหมัก	Organic Matter (%)	C/N ratio	Electrical Conductivity (dS/m)	pH	Moisture Content (%)
เศษผัก	30.5	13.94	1.8	7.07	44.43
ผักตบชวา	31.15	11.53	2.1	7.24	42.85
ฟางข้าว	31.1	17.57	2.4	7.56	40.02
มาตรฐาน*	25-50	<20/1	<3.5	5.5-8.5	<35

* มาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [3]

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยหมักพบว่า ปุ๋ยหมักที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ เศษผัก ผักตบชวาและฟางข้าว มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) และค่าความเป็นกรด- ด่าง (pH) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนปริมาณความชื้น(Moisture Content) มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานควรผึ่งปุ๋ยหมักให้แห้งและร่อนผ่านตะแกร่งขนาด 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันเศษวัสดุที่ไม่ต้องการเช่น หิน กรวด ทราย และวัสดุอันตรายชนิดอื่นๆ [3]

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

รูปที่ 4.11 ลักษณะของปุ๋ยหมัก

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ เศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าว โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน คือ 1) การศึกษาองค์ประกอบของเศษอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 2) การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก 3) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ และ 4) ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมัก โดยมีผลการทดลองดังนี้

จากการศึกษาองค์ประกอบของอาหารและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักคือใช้ปริมาณเศษอาหารต่อวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเท่ากับ 1 : 4 (โดยปริมาตร) และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของปุ๋ยหมักเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของผักตบชวามีค่าสูงสุดคือร้อยละ 58.44 รองลงมาคือ เศษผักและฟางข้าว โดยตลอดระยะเวลาในการหมักปริมาณความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 90 วัน พบว่าเศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 44.43, 42.85 และ 40.02 ตามลำดับ อุณหภูมิในทุกชุดการทดลองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยในช่วงระยะเวลาการหมัก 21 วันแรก อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้น พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ฟางข้าวมีอุณหภูมิสูงสุด คือ 45.3 องศาเซลเซียส หลังจากวันที่ 21 ของการหมัก พบว่าอุณหภูมิลดลงและค่อนข้างคงที่ในช่วงสุดท้ายของการหมัก โดยมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 29.9 - 32.5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างในกองปุ๋ยหมักในช่วง 20 วันแรกของการหมักมีค่าลดลง ระยะเวลาต่อมามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในช่วงวันที่ 63 -90 ของการหมัก พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในทุกชุดการทดลองมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยฟางข้าว ผักตบชวา และเศษผักมีค่าอยู่ในช่วง 7.25 – 7.56, 7.11 – 7.2, และ 6.75 – 7.07 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี พบว่าปริมาณคาร์บอนมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงตลอดระยะเวลาของการหมัก และลดลงอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 50 ของการหมัก โดยในวันที่ 90 ของการหมักปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วงร้อยละ 30.50 - 31.15 ปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 2.07-3.28 ส่วนเศษผักและฟางข้าวมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 1.64 – 2.35 และ 0.11 – 1.77 ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนมี

ค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 90 ชุดการทดลองที่ใช้ ผักตบชวา เศษผัก และฟางข้าว เป็นวัสดุหมักมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.17, 2.18 และ 1.77 ตามลำดับ

อัตราส่วน C/N เริ่มต้นของฟางข้าวมีค่าสูงสุดคือ 35.77 ส่วนผักตบชวาและเศษผักมีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 19.50 และ 20.69 ตามลำดับ โดยตลอดระยะเวลาของการหมักอัตราส่วนของ C/N ในทุกชุดของการทดลองมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 90 ของการหมัก อัตราส่วนของ C/N ของชุดการทดลองที่ใช้ผักตบชวามีค่าต่ำที่สุดคือ 11.53 ส่วนฟางข้าวและเศษผักมีอัตราส่วน C/N เท่ากับ 17.57 และ 13.94 ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเศษผักมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.06 – 0.08 ส่วนชุดที่ใช้ฟางข้าวและผักตบชวาเป็นวัสดุหมักมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.01 – 0.03 และ 0.01 – 0.02 ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยฟางข้าวมีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดคืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.22 – 0.53 ส่วนผักตบชวาและเศษผักมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18 – 0.48 และ 0.17 – 0.28 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Mesophillic microorganisms ในแต่ละการทดลองมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยปริมาณเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง $6.75x10^{7}$ - $1.23x10^{8}$ CFU/g และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 14 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นในช่วงเวลา 14 – 28 วัน มีค่าคงที่อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ $3.20x10^{11}$ - $1.00x10^{12}$ CFU/g จนถึงวันที่ 42 ของการหมัก ปริมาณของ Mesophillic microorganisms มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนอีกครั้งและเริ่มลดลงอีกครั้งในการหมักวันที่ 84 โดยมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนสิ้นสุดระยะเวลาการหมักปริมาณของ Mesophillic microorganisms ในทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันคือ $7.00x10^{11}$ - $2.40x10^{12}$ CFU/g

รูปแบบการเจริญเติบโตของ Thermophillic microorganisms มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน โดยพบว่าในช่วง 7 วันแรกของการหมัก ทุกชุดการทดลองมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากค่าเริ่มต้นประมาณ 10^{2}-10^{3} เท่า จนกระทั่งมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 14 ของการหมัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง $3.80x10^{13}$ - $2.00x10^{14}$ CFU/g แล้วค่อยๆ ลดลงหลังจากวันที 21 ของการหมัก และพบว่าปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ อีกครั้งในช่วงวันที่ 56 ของการหมัก โดยมีลักษณะค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน หลังจากวันที่ 84 ของการหมักปริมาณ Thermophillic microorganisms ได้มีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 90 ของการหมัก ฟางข้าวมีค่าเท่ากับ $2.00x10^{12}$ CFU/g ชุดที่ใช้ผักตบชวามีค่าเท่ากับ $1.00x10^{12}$CFU/g และชุดที่ใช้เศษผักมีค่าเท่ากับ $3.20x10^{11}$ CFU/g ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในปุ๋ยหมัก พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนสูงสุดคือร้อยละ 2.70 ส่วนเศษผักและฟางข้างมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.18 และ 1.77 โดยปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองมีค่าไนโตรเจนสูงกว่ามาตรฐาน และพบว่าทุกชุดการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัส

และโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน ดังนั้นในการใช้งานควรมีการปรับปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมให้ได้ตามเกณฑ์ โดยอาจจะใช้ P_2O_5 ปรับโดยตรง หรือพวกธาตุอาหารที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงๆ เช่น กระดูกป่น ขี้เถ้ากระดูก เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก โดยพิจารณาค่า C/N ratio เท่ากับ 30 นั้น พบว่าจากคุณสมบัติของเศษอาหารซึ่งมีค่า C M ratio ต่ำและฟางข้าวซึ่งมีค่า C M ratio สูง เมื่อนำมาผสมกันสามารถปรับค่า C/N ratio ได้ประมาณ 30 แต่สำหรับผักตบชวาและเศษผักซึ่งมีค่า C/N ratio ประมาณ 30 อยู่แล้ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้ปริมาณเศษอาหารมากนัก แต่จะส่งผลให้ปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยหมักมีค่าต่ำมาก และในเศษอาหารยังเป็นแหล่งที่มีจุลินทรีย์อยู่มากด้วย ดังนั้นในการทดลองจึงใช้ปริมาณเศษอาหารต่อวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในอัตราส่วนที่เท่ากัน คือ 1 : 4 โดยปริมาตรเป็นปริมาณวัสดุเริ่มต้นในการหมัก และเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 90 วัน ค่า C/N ratio ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่า 20 ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมตามมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร

5.2.2 ในระหว่างการหมักปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยหมักจะมีค่าลดลง เนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องเติมน้ำลงไปในกองปุ๋ยหมัก เพื่อรักษาระดับความชื้นให้อยู่ช่วงร้อยละ 50 – 60 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และควรกลับกองปุ๋ยหมักเพื่อให้เกิดการระบายอากาศ เพื่อให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน(Aerobic process)

5.2.3 ในระหว่างการหมักอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักอาจมีค่าสูงขึ้นถึง 70 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถฆ่าจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคได้ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้อุณหภูมิสูงสุดในระหว่างการหมัก คือ 45 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมัก จึงส่งผลให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลง

5.2.4 ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักอาจเติมเชื้อจุลินทรีย์ เช่น WR. 1 ของกรมวิชาการเกษตร เพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ เร่งกระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก และย่นระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมัก

5.2.5 ก่อนนำไปใช้งานควรผึ่งปุ๋ยหมักให้แห้งและร่อนผ่านตะแกร่งขนาด 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันเศษวัสดุที่ไม่ต้องการเช่น หิน กรวด ทราย และวัสดุอันตรายชนิดอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ, 2546. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย W.R2545, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพ r. หน้า 24-28.
2. กรมควบคุมมลพิษ, 2546. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ.2546, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพ r. หน้า 20.
3. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2544, มาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ r.
4. จงกล พูนทวี, 2533. "การจัดการของเสียที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste) โดยวิธีการทำปุ๋ยหมัก", การสัมมนาทางวิชาการสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 8-28.
5. จักรพงษ์ เจิมศิริ และพรรณพิมล ชัญญาวัตร, 2536. วิธีวิเคราะห์ปุ๋ย, คณะทำงานปรับปรุงมาตรฐานการวิเคราะห์ดิน พืช น้ำ และปุ๋ยเคมี, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 57 หน้า.
6. ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิโรจน์, พิทยากร ลิ่มทอง, อรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และ เสียงแจ้ว วิริยพฤนต์, 2535. "ระดับธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมัก", รวบรวมงานวิชาการ เรื่อง : การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ, กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
7. ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิโรจน์, 2531. การประเมินประสิทธิภาพการย่อยสลายเศษพืชของเชื้อจุลินทรีย์เร่งปุ๋ยหมัก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์, 158 หน้า.
8. ปรีดี ดีรักษา, 2535. "ประโยชน์ปุ๋ยหมักและการใช้ปุ๋ยหมัก".รวบรวมงานวิชาการเรื่อง : fllr ปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ, กองอนุรักษ์ดิ■ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 62-63.
9. พิทยากร ลิ่มทอง และ เสียงแจ้ว พิริยพฤนต์, 2537, "จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายและประโยชน์บางประการของการกองปุ๋ยหมัก", คู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ:เรื่อง การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ, กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 63-74.
10. พิทยากร ลิ่มทอง และ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิโรจน์, 2537, "ระดับธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมัก", คู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ เรื่อง : การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ, โครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ Kasetsart University

11. พิทยากร ลิ่มทอง, วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, เสียงแจ้ว พิริยพฤนต์, ประโสด ธรรมเขต, ชูศรี ยสินธร และ ปรัชญา ธัญญาดี, 2534, "ผลของวิธีการระบายอากาศต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว", รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ(2556-2532), กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 35-43.
12. ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น:ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมัก, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 541-544.
13. มุกดา สุขสวัสดิ์, 2545, ปุ๋ยอินทรีย์, สำนักพิมพ์บ้านและสวน. กรุงเทพ ฯ. 216 หน้า
14. ยงยุทธ โอสถสภา, 2546, ธาตุอาหารพืช, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ ฯ. 424 หน้า.
15. เยาวลักษณ์ จันดาวงค์, 2534, "การศึกษาทางจุลชีววิทยาจากขยะชุมชนกรุงเทพมหานคร", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
16. วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, พิทยากร ลิ่มทอง, ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิโรจน์ และ เสียงแจ้ว พิริยพฤนต์, 2535, "การผลิตปุ๋ยหมักแบบไร่นา", รวบรวมงานวิชาการ:เรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
17. เสียงแจ้ว พิริยพฤนต์ และ นวลจันทร์ ภาสดา, 2537, "ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก", คู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ : เรื่อง การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ, กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 50-62.
18. อรลัดา บุญแสน, 2537, "การศึกษาการสร้างเอนไซม์จากจุลินทรีย์อุณหภูมิสูงแยกได้จากปุ๋ยหมักขยะชุมชน" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
19. Allen, S.D. and Brock, T.D., 1967, "The Temperature Optimum of the Intestinal Flora of the Rat", Canadian Journal of Microbiology, Vol.14, pp. 699-704.
20. APHA, AWWA and WPCF, 1990, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 16th ed., New York, American Public Health Association, pp. 84-500.
21. Britt Faucette, K.C. Das, and Mark Riss, 2000, Evaluation of Aerated Container Cornposting of University Preconsumer and Postconsumer Food Waste, Proceedings of The 2000 Conference : Y2K Composting on the Southeast, October 9-11,2000, Charlottesville, Virginia , pp 167-176.

22. Carter, M.R., 1993, Ash Content and Organic Matter Content, Soil Sampling and Methods of Analysis, pp. 459-463.

23. Chefetz, B., Hatcher, G., Hadar, Y. and Chen, Y., 1996, "Chemical and Biological Characterization of Organic Matter during Composting of Municipal Solid Waste," Journal of Environmental Quality, Vol. 25, pp. 776-785.

24. Eghball, B., Power, F., Gilley, E. and Doran, W., 1997, "Nutrient, Carbon, and Mass Loss during Composting of Beef Cattle Feedlot Manure," Journal of Environmental Quality, Vol. 26, pp. 189-193.

25. Finstein, M.S. and Morris, M.L., 1975, "Microbiology of Municipal Solid Waste Coinposting", Advance in Applied Microbiology, Vol. 19, pp.113-151.

26. Flynn, R.P. and Wood, C.W., 1996, "Temperature and chemical changes during composting of broiler litter," Compost Science and Utilization, Vol. 4, No. 3, pp. 62-70.

27. Girovich, M.J., 1996, Biosolid Treatment and Management : Processes for Beneficial Use, New York, Marreel Dekker, pp. 195-263.

28. Gregory, J., 1994, "Growth of rudbeckia and leaching of nitrogen in potting media amended with compost coffee processing residue, municipal solid waste and sewage sludge," Compost Science and Utilization, Vol. 2, No. 1, pp. 72-79.

29. Iannotti, D.A., Grebus, M.E., Toth, B.L., Madden, L.V. and Hoitink, H.A.J., 1994, "Oxygen Respirometry to Assess Stability and Maturity of Composted Municipal Solid Waste," Journal of Environmental Quality, Vol. 23, pp. 1177-1183.

30. Martin, A.M., Evans, J., Porter, D' and Fatel, T.R., 1993, "Comparative Effects of Peat and Sawdust Employed as Bulking Agent in Composting", Bioresource Technology, Vol. 44, pp. 65-69.

31. Mondini, C., Chiumenti, R., Da. Borso, F., Leita, L. and De. Nobili, M., 1996, "Changes during process in the organic matter of composted and air dried poultry manure," Bioresource Technology, Vol. 55, No. 3, pp. 243-249.

32. Obeng, L.A., and Wright, F.W., 1987, The Co-Composting of Domestic and Human Waste, Litton Education Publishing., New York, pp. 4-10.

33. Paroni, J.L., Heer, J.E. and Hargerty, D, J., 1973, Solid Waste Management, Litton Education Publishing, New York., pp.103-213.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

34. Ruzena, G., 1997, "Effects of two compost and seven commercial cultivation media on germination and yield," Compost Science and Utilization, Vol. 5, No. 1, pp. 16-37

35. Stutzenberger, F.J., Kaufinan, A.J. and Lossin, R.D., 1969, "Cellulolytic Activity in Municipal Solid Waste Composting," Canadian Journal of Microbiology, Vol. 16. pp. 553- 560.

36. Suler, D.I. and Finstein, M.S., 1977, " Effect of Temperature, Aeration and Moisture on CO_2 Formation in Bench-Scale Continuously Thermophillic Composting of Solid Waste", Applied and Environmental Microbiology, Vol. 33, pp.345-350.

37. TheAssociation Office Analytical Chemists International, 1989, Mathods of Analysis,16th ed., Verginia, AOAC, pp.5-25.

38. Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y. and Hodgkiss, I.J., 1996, "Microbial Activities during Composting of Spent Pig-Manure Sawdust Litter at Different Moistures Content", Bioresource Technology, Vol.55, pp.201-206.

39. Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y. and Hodgkiss, I.J., 1998, "Change in Chemical Properties during Composting of Spent Pig Litter at Different Moisture Contents", Agriculture, Ecosystems and Environment , Vol. 67, pp.79-89.

40. Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y. and Hodgkiss, I.J., 1997, "Composting of Spent Pig Litter at Different Seasonal Temperatures in Subtropical Climate", Environmental Pollution, Vol.98. No.1, pp.161-171.

41. Vangnai, S., 1985, Composting, Soil, Water, Cropping Systems Research Data Bases Relevant to Rainfed Agriculture in Northeast Thailand, Department of Soil, Kasetsart University, pp.1711-1718.

มหาวิทยาลัยนเรศวร Pibulsongkram Rajabhat University

ภาคผนวก fl.

ผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง ก.1 ปริมาณความชื้นในระหว่างการหมัก

ระยะเวลาหมัก (วัน)	ปริมาณความชื้นในระหว่างการหมัก (%)		
	เศษผัก	ผักตบชวา	ฟางข้าว
0	56.87	58.44	55.14
7	54.34	55.98	53.56
14	55.76	56.43	54.98
21	54.04	55.2	52.03
28	56.84	56.52	54.95
35	55.34	54.95	54.32
42	55.98	55.45	52.76
49	54.29	53.6	53.69
56	55.79	54.95	53.84
63	53.04	52.75	52.41
70	50.23	51.05	48.3
77	48.04	45.39	45.98
84	48.65	46.4	45.46
91	44.43	42.85	40.02

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง ก.2 อุณหภูมิในระหว่างการหมัก

ระยะเวลาหมัก (วัน)	อุณหภูมิในระหว่างการหมัก (°C)			
	เศษผัก	ผักตบชวา	ฟางข้าว	บรรยากาศ
0	30.1	30.75	30.25	30.1
7	34.5	33.6	35.5	32
14	33.69	35.6	38.6	31.5
21	38.1	40.1	45.3	33
28	31.7	32.5	31.9	30
35	30.6	30.4	32.5	29.8
42	30.8	30.92	30.5	29.5
49	30.08	30.75	30	30
56	30.83	30.42	30.25	30.5
63	30.92	30.1	30.08	30
70	30.9	30.3	30.5	30
77	29.9	30.4	31.6	31
84	30.2	30.3	30.9	30
91	30.4	30.33	30.4	29.5

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง ก.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างในระหว่างการหมัก

ระยะเวลาหมัก (วัน)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)ในระหว่างการหมัก		
	เศษผัก	ผักตบชวา	ฟางข้าว
0	4.59	4.85	5.21
7	4.65	4.75	5.35
14	4.32	4.43	5.15
21	4.25	4.69	5.19
28	4.68	5.39	5.76
35	4.87	6.425	6.675
42	5.64	6.805	7.035
49	6.25	6.8	6.92
56	6.64	7.06	7.185
63	6.75	7.11	7.25
70	6.84	7.2	7.41
77	6.89	7.08	7.54
84	6.95	7.19	7.49
91	7.07	7.24	7.565

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง ก.4 ปริมาณคาร์บอนในระหว่างการหมัก (%)

ระยะเวลาหมัก (วัน)	ปริมาณคาร์บอนในระหว่างการหมัก (%)		
	เศษผัก	ผักตบชวา	ฟางข้าว
0	35.6	42.9	39.7
7	33.7	41.4	39.72
14	37.4	42.2	40.62
21	32.8	41.1	40.78
28	33.1	39.47	37.85
35	38.5	41.35	40.6
42	36.3	39.66	40.26
49	30.5	35.6	34.3
56	30.6	36.9	32.3
63	31.3	34.87	33.45
70	30.7	33.09	32.9
77	31.2	33.13	32.45
84	30.6	33.6	31.7
91	30.5	31.15	31.1

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง ก.5 ปริมาณไนโตรเจนในระหว่างการหมัก (%)

ระยะเวลาหมัก (วัน)	ปริมาณไนโตรเจนในระหว่างการหมัก (%)		
	เศษผัก	ผักตบชวา	ฟางข้าว
0	1.72	2.2	1.11
7	1.64	2.07	1.3
14	1.92	2.52	1.37
21	1.85	2.33	1.43
28	1.72	2.56	1.3
35	1.96	2.95	1.52
42	2.35	2.93	1.71
49	2.25	3.28	1.60
56	2.13	2.93	1.65
63	2.25	2.98	1.82
70	2.3	3.28	1.68
77	2.25	2.74	1.92
84	2.03	2.85	1.65
91	2.19	2.70	1.77

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง ก.6 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมัก

ระยะเวลาหมัก (วัน)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมัก (C/N ratio)		
	เศษผัก	ผักตบชวา	ฟางข้าว
0	20.70	19.50	35.77
7	20.55	20.00	30.55
14	19.48	16.75	29.65
21	17.73	17.64	28.52
28	19.24	15.42	29.12
35	19.62	14.02	26.71
42	15.45	13.54	23.54
49	13.56	10.85	21.44
56	14.37	12.59	19.58
63	13.91	11.70	18.38
70	13.35	10.09	19.58
77	13.87	12.09	16.90
84	15.11	11.79	19.21
91	13.94	11.54	17.57

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง ก.7 ปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมัก (%)

ระยะเวลาหมัก (วัน)	ปริมาณฟอสฟอรัสในระหว่างการหมัก (%)		
	เศษผัก	ผักตบชวา	ฟางข้าว
0	0.06	0.00	0.02
7	0.06	0.02	0.02
14	0.07	0.00	0.01
21	0.08	0.00	0.01
28	0.08	0.02	0.02
35	0.06	0.02	0.02
42	0.07	0.01	0.03
49	0.07	0.00	0.02
56	0.07	0.01	0.01
63	0.08	0.00	0.02
70	0.07	0.01	0.01
77	0.07	0.01	0.02
84	0.08	0.02	0.02
91	0.07	0.02	0.02

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง ก.8 ปริมาณโพแทสเซียมในระหว่างการหมัก (%)

ระยะเวลาหมัก (วัน)	ปริมาณโพแทสเซียมในระหว่างการหมัก (%)		
	เศษผัก	ผักตบชวา	ฟางข้าว
0	0.19	0.39	0.51
7	0.29	0.36	0.39
14	0.23	0.39	0.48
21	0.20	0.48	0.52
28	0.28	0.48	0.52
35	0.27	0.48	0.50
42	0.30	0.43	0.53
49	0.26	0.34	0.37
56	0.24	0.24	0.26
63	0.23	0.25	0.36
70	0.21	0.25	0.27
77	0.20	0.18	0.22
84	0.20	0.21	0.23
91	0.17	0.22	0.23

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง fl.9 ปริมาณจุลินทรีย์ประเภท Mesophilic microorganisms ในระหว่างการหมัก

ระยะเวลาหมัก (วัน)	Mesophilic microorganisms (CFU/g)		
	เศษi n	ผักตบชวา	ฟางข้าว
0	$1.01X10^{8}$	$6.75X10^{7}$	$1.24X10^{8}$
7	$7.50X10^{9}$	$6.50X10^{9}$	$2.21X10^{11}$
14	7.35~10"	$9.40X10^{11}$	$1.28X10^{12}$
21	$5.29X10^{11}$	$3.20X10^{11}$	$1.00X10^{12}$
28	$8.95X10^{11}$	$6.80X10^{11}$	$6.10X10^{11}$
35	$7.35X10^{12}$	$3.70X10^{11}$	$1.38X10^{11}$
42	$5.05X10^{12}$	$1.00X10^{13}$	$8.50X10^{11}$
49	$6.80X10^{13}$	$1.00X10^{13}$	$6.30X10^{11}$
56	$4.45X10^{13}$	$7.90X10^{12}$	$6.00X10^{11}$
63	$8.10X10^{13}$	$9.60X10^{12}$	$1.70X10^{12}$
70	$2.92X10^{12}$	$5.00X10^{13}$	$3.40X10^{13}$
77	$7.75X10^{12}$	$8.80X10^{13}$	$2.30X10^{13}$
84	5.37~10"	$1.10X10^{12}$	$1.00X10^{12}$
91	$7.00X10^{11}$	$2.40X10^{12}$	$7.40X10^{11}$

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง ก.10 ปริมาณจุลินทรีย์ประเภท Thermophilic microorganisms ในระหว่างการหมัก

ระยะเวลาหมัก (วัน)	Thermophilic microorganisms (CFU/g)		
	เศษผัก	ผักตบชวา	ฟางข้าว
0	$2.60X10^{9}$	$1.26X10^{10}$	$1.27X10^{10}$
7	$4.00X10^{11}$	$1.40X10^{12}$	$9.95X10^{12}$
14	$5.80X10^{13}$	$3.80X10^{13}$	$2.00X10^{14}$
21	$6.40X10^{13}$	$5.40X10^{13}$	$8.90X10^{13}$
28	$7.00X10^{12}$	$1.70X10^{11}$	$3.10X10^{11}$
35	$1.90X10^{11}$	$3.90X10^{11}$	$2.50X10^{11}$
42	$1.64X10^{11}$	$6.40X10^{11}$	$4.50X10^{11}$
49	$2.00X10^{11}$	$4.20X10^{11}$	$1.00X10^{11}$
56	$8.00X10^{11}$	$5.80X10^{12}$	$4.80X10^{11}$
63	$3.00X10^{11}$	$2.30X10^{12}$	$8.50X10^{11}$
70	$7.20X10^{13}$	$4.20X10^{12}$	$4.00X10^{12}$
77	$8.00X10^{11}$	$3.80X10^{12}$	$5.10X10^{12}$
84	$5.00X10^{12}$	$3.00X10^{12}$	$4.00X10^{12}$
91	$3.20X10^{11}$	$1.00X10^{12}$	$2.00X10^{12}$

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ภาคผนวก ข.

วิธีการวิเคราะห์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

วิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในระหว่างการทำปุ๋ยหมัก

1. การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ

1.1 ปริมาณความชื้น โดยวิธีการตาม วิธีการ Oven-drying method [5] ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

อุปกรณ์

1. เตาอบ (Hot air oven)
2. โถทำแห้ง (Desiccator)
3. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical Balance)
4. ถ้วยทนไฟ (Crucible)

วิธีวิเคราะห์

1. เผาถ้วยทนไฟ (Crucible) แล้ว ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง เมื่อเย็นแล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกไว้

2. นำวัสดุหมักประมาณ 10-20 กรัม ใส่ถ้วยทนไฟ แล้วบันทึกไว้ นำไปอบแห้งในเตาอบ โดยให้ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกมาใส่ในโถทำแห้ง 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก บันทึกไว้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% Moisture Content)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักแห้ง})}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

1.2 ความเป็นกรด-ด่าง วิเคราะห์โดย pH Meter [5] ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

นำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มาเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 1o คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง คนให้เข้ากันอีกครั้งก่อนทำการวัดด้วย pH Meter

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2. การวิเคราะห์ทางด้านเคมี

2.1 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณคาร์บอน (Carbon Content) และปริมาณเถ้า (Ash Content) โดยวิธีของ Carter [21]

<u>อุปกรณ์</u>

1. เตาอบ (Hot air oven)
2. โถอบแห้ง (Desiccator)
3. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical Balance)
4. ถ้วยตวงทนความร้อน (Porcelain Crucible)

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

นำวัสดุหมักอบไล่ความชื้น 24 ชั่วโมง แล้วนำออกใส่โถทำแห้ง เผาถ้วยทนความร้อน ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น เมื่อแห้งสนิทแล้วจึงชั่งน้ำหนักบันทึกไว้ ชั่งวัสดุหมักใส่ในถ้วยตวงประมาณ 2-5 กรัม นำเข้าไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600°C นาน 2 ชั่วโมง ปล่อยไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักสารที่คงเหลือไว้

$$\text{ค่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (\% Volatile Solid)} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุหมักที่หายไป} \times 100}{\text{น้ำหนักวัสดุหมักก่อนเผา}}$$

น้ำหนักวัสดุหมักที่หายไป = น้ำหนักวัสดุหมักก่อนเผา – น้ำหนักที่เหลือหลังจากเผา

หน่วยของค่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ = ร้อยละของวัสดุหมัก

ประเมินคาร์บอน (Carbon Content)

$$\text{\% Carbon Content} = \frac{\text{\% Volatile Solid}}{1.8}$$

ประเมินเถ้า (% Ash Content)

$$\text{\% Ash Content} = 100 - \text{\% Volatile Solid}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Chiang Rai Rajabhat University

2.2 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen Content) โดยวิธี Kjeldahl ตาม Standard Method [20]

ปริมาณไนโตรเจน คือ ส่วนประกอบที่เป็นไนโตรเจนที่มีอยู่ในวัสดุหมักโดยจะอยู่ในรูปของออกานิคไนโตรเจน หรือ แอมโมเนียไนโตรเจน

<u>อุปกรณ์</u>

1. เตาอบทีสามารถควบคุมอุณหภูมิ (Hot Air Oven)
2. โถทำแห้ง (Desiccator)
3. เครื่องชั่งละเอียด (Analytical Balance)
4. แผ่นทำความร้อน (Hot Plate)
5. ชุดเครื่องกลั่น (Kjeldahl Equipment)
6. ตู้ควัน (Hood)

<u>สารเคมี</u>

1. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
2. เมอร์คิวริกออกไซด์ (HgO)
3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (95-98 %)
4. หินภูเขา (fuming stone/Pumic stone)
5. สารละลายแอลคาไลน์ ไทโอซัลเฟต : ละลาย 450 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในน้ำกลั่น ประมาณ 70 นท. ทำให้เย็นลง เติม 80 กรัม โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) เติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1000 ลบ.ซม.
6. สารละลายกรดบอริก : aeลาย 40 กรัม กรดบอริกในน้ำกลั่น I ลบ.ดม.
7. สารละลายเมทิล เพอเพิล (อินดิเคเตอร์) : ละลาย 0.3125 กรัม เมทิลเรด และ 0.2062 กรัม เมทิลีน บลู ในน้ำกลั่น หรือ 0.1 % เอทิล แอลกอฮอล์ แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 250 ลบ.ซม. (สารละลายนี้จะมีอายุ 1 เดือน)
8. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.05 นอร์มัล : ละลาย 15 ลบ.ซม กรดซัลฟิวริกเข้มข้นในน้ำกลั่น ให้มีปริมาตรเป็น 1 ลบ.ดม.

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

นำตัวอย่างวัสดุหมักที่อบไล่ความชื้น 24 ชั่วโมงมาประมาณ 0.5-1 กรัม จึงนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl method ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. การย่อยสลายตัวอย่าง

โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5-1 กรัม ใส่ในขวดเจลดาห์ เติมโพแทสเซียมซัลเฟต 15 กรัม เติมเมอร์คิวริกออกไซด์ 0.7 กรัม กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มล. ทำการย่อยสลายจนสารละลายที่ได้มีลักษณะใส

2. การกลั่น

เติมน้ำกลั่นประมาณ 250 ลบ.ซม. หยดฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ จากนั้นเติมสารละลายผสมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 75 ลบ.ซม. จะได้สีชมพู กลั่นโดยใช้กรดบอริก 4 % ในปริมาตร 50 ลบ.ซม. เป็นตัวจับแอมโมเนีย กลั่นจนได้ปริมาตร 200 ลบ.ซม. นำมาไทเทรตหาแอมโมเนีย

3. การไทเทรต

นำสารละลายที่กลั่นได้มาไทเทรตด้วยกรดซัลฟิวริก 0.05 นอล์มัล โดยใช้เมทิลเพอเพิล อินดิเคเตอร์ เป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งถึงจุดยุติ โดยสีของสารละลายที่ได้จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

4. การเตรียมแบลงค์

ทำตามขั้นตอนของข้อ 1. ถึง 3. โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่างวัสดุหมัก

การคำนวณ

$$\% N = \frac{(A-B) \times (N) \times (14) \times (100)}{C}$$

โดยที่ A=ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างวัสดุหมัก (ลบ.ซม.)

B =ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรตแบลงค์ (ลบ.ซม.)

C =น้ำหนักของตัวอย่างวัสดุหมัก

N=นอมัลริตี้ ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Phibulsongkram Rajabhat University

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส โดยวิธี Vanadomolybdophosphoric Acid Colorimetric ตาม AOAC International [20]

อุปกรณ์

1. เตาไฟฟ้า
2. แว่นตานิรภัย
3. ขวดรูปชมพู่
4. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
5. เครื่องแก้ว

สารเคมี

1. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH 6 N
3. Conc. H_2SO_4
4. สารละลาย Vanadate-Molybdate Reagent

fl. สารละลาย A: ละลาย 25 กรัม แอมโมเนียมโมลิบเดท $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$ ในน้ำกลั่น 400 มล.

ข. สารละลาย B : ละลาย 1.25 กรัม แอมโมเนียมเมตาวานาเดท (NH_4VO_3) โดยการต้มให้เดือดในน้ำกลั่น 300 มล. ทำให้เย็นแล้วเติม Conc. HCl 300 มล.

สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

ละลายแอนไฮดรัสโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 0.2195 กรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางให้เป็น 1000 มล. สารละลายนี้จะมีปริมาณฟอสเฟต 50 มก./ล.

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างวัสดุหมักประมาณ 0.5-1 กรัม ใส่ใน Kjeldahl Flask เติม conc. HNO_3 5 มล. และ Conc. H_2SO_4 1 มล.

2. Digest ตัวอย่างจนได้ปริมาตร 1 มล. แล้ว Digest ต่อไป จนกระทั่งได้สารละลายที่ไม่มีสีเพื่อไล่ HNO_3

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Chiangrai Rajabhat University

3. ทำให้เย็น เติมน้ำกลั่นประมาณ 20 มล. และฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด ค่อยๆ เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N จนได้สีชมพูอ่อน เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 ua.

4. นำตัวอย่าง 35 มล. หรือน้อยกว่านี้ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มล. เติมน้ำยาแวนนาเดทโมลิบเดท 10 มล. เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบนขวด ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนตั้งทิ้งไว้ 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับแบลงค์ที่ความยาวคลื่น 470 nm.

5. การเตรียมกราฟมาตรฐาน เจือจางสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 0.0, 2.0, 5.0, 10.0, 30.0 และ 50.0 มล. ให้เป็น 50 มล. ด้วยน้ำกลั่นและทำให้เกิดสีตามวิธีข้อ 6.3.3 และ 6.3.4 วัดสีที่ความยาวคลื่น 470 nm. สารละลายมาตรฐานเจือจางนี้จะมีฟอสเฟต 0, 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.5 มก. ตามลำดับ สร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง มก. P เทียบกับค่าการดูดกลืนแสง หรือ ค่าการกระจายแสง

$$\% P = \frac{\text{mg P (จากกราฟ)} \times 100}{\text{mg Sample}}$$

$$\% P_2O_5 = \% P \times 2.29$$

3.4 การวิเคราะห์หาค่าปริมาณโพแทสเซียม โดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotorneter ตาม AOAC International [21]

อุปกรณ์

1. เตาไฟฟ้า
2. แว่นตานิรภัย
3. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล.
4. เครื่องแก้ว
5. อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์พร้อมด้วยอุปกรณ์
6. หัวเตาที่มีช่องสามช่อง (three-slot burner head)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี Phetchaburi Rajabhat University

สารเคมี

1. อากาศ : จะใช้อากาศในห้องโดยใช้เครื่องอัดอากาศ (air compressor) หรือใช้อากาศที่อัดอยู่ในท่อ (cylinder) ก็ได้ อากาศที่ใช้ต้องสะอาดและแห้ง ทำได้โดยผ่านเครื่องกรองที่เหมาะสม เพื่อกำจัดน้ำมัน (oil) น้ำและสารแปลกปลอมอื่นๆ

2. ก๊าซอะเซทิลีน : ใช้ชนิดมาตรฐานการค้า (standard commercial grade) ที่บรรจุอยู่ในท่อควรจะหยุดใช้เมื่อความดันของก๊าซในถึงลดลงถึง 7 กก./ตร.ซม. (หรือ 10 psig) เพื่อป้องกันมิให้อะซิโทน (acetone) ซึ่งอยู่ในถังปนออกมาด้วย

3. น้ำกลั่นดีอิออนไนซ์ (deinonized distilled water) ซึ่งต่อไปนี้จะเขียนแทนด้วยคำสั้นๆ ว่า "น้ำกลั่น"

4. กรดซัลฟุริกเข้มข้น

5. กรดไนตริกเข้มข้น

6. เตรียม standard solution 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm K จาก Stock Standard Solution 1000 ppm K

วิธีการวิเคราะห์

นำตัวอย่างวัสดุหมักมาประมาณ 0.5-1กรัม เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มล. และกรดซัลฟุริกเข้มข้น 1 มล. Digest ตัวอย่างไปเรื่อยๆ ถ้าสารละลายยังไม่ใส เติมกรดทั้งสองปริมาณเท่าเดิม Digest จนใส ปล่อยทิ้งให้เย็น แล้วค่อยๆ ปรับปริมาตรให้เป็น 50 ua. จากนั้นจึงนำไปทำ Dilution เตรียมไว้

1. ขั้นตอนของวิธีใช้เครื่องมือ (Instrument Operation)

เนื่องจากอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีหลายแบบขึ้นอยู่กับบริษัทที่จำหน่าย การที่จะรวบรวมวิธีใช้เครื่องมือทุกๆ แบบย่อมเป็นไปได้ โดยทั่วไปแล้วผู้ใช้เครื่องมืออาจดำเนินการตามขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

1.1 เลือกฮอลโลวคาโทดแลมพ์ของโลหะโพแทสเซียม นำไปติดตั้งให้เข้าที่ตามวิธีแนะนำโดยบริษัทที่ทำเครื่องมือนั้น แล้วจัดโมโนโครมาเตอร์ให้มีความยาวคลื่น (Wavelength) 776.5 nm

1.2 จัดความกว้างของช่องแสงผ่าน (Slit Width) ตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องมือ

1.3 เปิดสวิทช์ของเครื่องมือ จัดปริมาณกระแสไฟฟ้า (โดยทั่วๆ ไปคิดเป็นไมโครแอมแปร์) ให้ผ่านฮอลโลวคาโทดแลมพ์ ด้วยปริมาณพอเหมาะตามคำแนะนำในคู่มือ

1.4 อุ่นเครื่องนานประมาณ 10-20 นาที เพื่อให้เครื่องมือถึงจุดเสถียร **(Stable)**

1.5 นำหัวเตา(Burner Head)ชนิดที่ใช้กับอากาศ-อะเซทิลีน ติดตั้งให้เข้าที่

1.6 ปล่อยอากาศ (จากเครื่องอัดอากาศหรือจากท่อ) ให้ผ่านเข้าไปในเครื่องมือ จัดอัตราการไหลผ่าน **(Flow Rate)** ซึ่งดูได้จากเครื่องวัดอัตราการไหล **(flow** meter) ให้เหมาะสมสำหรับโลหะที่จะทำการวิเคราะห์ตามคำแนะนำในคู่มือ

1.7 ปล่อยก๊าซอะเซทิลีนเข้าไป จัดอัตราการไหลตามคู่มือ เสร็จแล้วเริ่มจุดเปลวไฟด้วยความระมัดระวัง

1.8 จุ่มหลอดพลาสติกรูเล็กของเครื่องอะตอมไมเซอร์ลงไปในน้ำกลั่น (ซึ่งทำเป็นกรดด้วยกรดไนตริก 1.5 ลบ.ซม./ล .คม.) นานมากกว่า 1 นาที ซึ่งในเวลาเดียวกันต้องตรวจสอบอัตราการฉีด **(Aspiration Rate)** ห้อยู่ระหว่าง 3-5 ลบ.ซม./นาที พร้อมกันนั้นก็จัดเครื่องมือให้อ่านศูนย์

1.9 จุ่มหลอดพลาส กรูเล็กของเครื่องอะตอมไมเซอร์ ลงในสารละลายมาตรฐาน (โดยปกติความเข้มข้นขนาด 0.5 ก./ลบ.ดม. เป็นความเข้มข้นกำลังพอเหมาะ) ในขณะเดียวกันผู้ทดลองต้องจัดแนวและระดับข งหัวเตาให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งดูได้จากตำแหน่งที่ทำให้มาตรของระบบอ่าน **(readou system)** ของเครื่องมือมีผลตอบสนอง **(response)** มากที่สุด

1.10 เมื่อจัดเครื่องมือตามขั้นตอนข้างบนแล้ว เครื่องมือก็พร้อมที่จะใช้ทำการวิเคราะห์ได้ และเมื่อทำการวิเคราะห์เสร็จแล้ว ให้ดับเปลวไฟโดยปิดท่ออะเซทิลีนก่อนแล้วจึงปิดทางเดินอากาศ

2. การสร้างกราฟมาตรฐาน

เพื่อให้ได้สิ่งแวดล้อมเดียวกันจำเป็นต้องสร้างกราฟมาตรฐานทุกครั้งสำหรับการวิเคราะห์แต่ละครั้ง

2.1 ทำสารละลายโลหะโพแทสเซียมที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน อย่างน้อย 3 ความเข้มข้น (ซึ่งเตรียมได้จากที่กล่าวมาแล้ว) จุ่มหลอดพลาสติกรูเล็กลงในสารละลายแต่ละความเข้มข้น แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง

2.2 สร้างกราฟมาตรฐาน โดยเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของสารละลายโลหะโพแทสเซียมดังกล่าวไว้ในข้อ ก2.

3. การวิเคราะห์สารตัวอย่าง

3.1 ล้างอะตอมไมเซอร์ ตามข้อ 1.8 จนกระทั่งมาตรของระบบอ่านให้ค่าคงที่แล้วจัดเครื่องมือให้อ่านศูนย์ ทุกครั้งก่อนที่จะทำการวิเคราะห์สารละลายแต่ละตัวอย่าง รวมทั้งการทำกราฟมาตรฐานจะต้องล้างอะตอมไมเซอร์ก่อน

3.2 จุ่มหลอดพลาสติกรูเล็กลงในสารละลายตัวอย่าง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง

$$K_{(mg)} = \frac{\text{ppm จาก Curve x Dilution Factor x 50}}{10^3}$$

$$\%\,K = \frac{(mg)\,K \times 100}{\text{mg sample}}$$

$$\%\,K_2O = \%\,K \times 1.21$$

3. การวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณ Mesophillic Microorganism โดยวิธีนับโคโลนีในจานเพาะเชื้อมาตรฐาน (Standard Plate Count) ซึ่งบ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง (25-30°C) และการตรวจวิเคราะห์ปริมาณ Thermophillic Microorganismโดยวิธีนับโคโลนีในจานเพาะเชื้อมาตรฐาน (Standard Plate Count) ซึ่งบ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55-60°C ตาม Standard Method [38] โดยการนับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเป็นเทคนิคการทำให้เชื้อหรือตัวอย่างเจือจางลง (Dilution) ด้วยน้ำกลั่นหรือน้ำเกลือ 0.85 % (Normal Saline) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว การทำให้เชื้อเจือจางเพื่อให้มีการแจกจ่ายของโคโลนีเดี่ยวๆ ของจุลินทรีย์จำนวนที่เหมาะสม ซึ่งความเจือจางที่เหมาะสม ควรเป็นความเจือจางที่มีโคโลนีของเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อระหว่าง 30-300 โคโลนี โดยปกติจะทำให้เจือจางเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 เท่าเป็นลำดับ (Ten Fold Serial Dilution) เพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติ และการคำนวณจำนวนโคโลนีต่อหน่วยนับ (กรัมหรือมิลลิลิตร)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี Phetchaburi Rajabhat University

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างวัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีจุลินทรีย์
2. อาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar (NA) หรือ Plate Count Agar (PCA)
3. จานเพาะเชื้อที่อบฆ่าเชื้อแล้ว
4. น้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว บรรจุขวดละ 99 ua.
5. ปิเปตที่อบฆ่าเชื้อแล้ว

วิธีวิเคราะห์

การทำความเจือจางของวัสดุหรือเชื้อที่ตรวจนับ

1. ชั่งวัสดุหมัก 11 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 99 ua. จะได้ความเจือจาง 1:10 เขย่าให้เข้ากันดีประมาณ 25 ครั้ง

2. ใช้ปิเปตดูดเชื้อที่ทำเจือจาง 1:10 แล้วทำความเจือจางที่จะนำมาใช้ กรณีการนับจำนวนแบคทีเรียมักใช้ความเจือจาง $1:10^3 - 1$

2.1 ดูดเชื้อที่ความเจือจาง 1:10 จำนวน I มล. ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 99 มล. จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^3$ เขย่าให้เข้า

2.2 ดูดเชื้อที่ความเจือจาง $1:10^3$ จำนวน 11 ua. ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 99 มล. จะเท่ากับความเจือจางเท่ากับ $1:10^4$

2.3 ดูดเชื้อที่ความเจือจาง 1:10 จำนวน 1 ua. ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 99 มล. จะเท่ากับความเจือจางเท่ากับ $1:10^5$

2.4 ดูดเชื้อที่ความเจือจาง $1:10^4$ จำนวน I มล. ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 99 มล. จะเท่ากับความเจือจางเท่ากับ $1:10^6$

2.5 ทำความเจือจางจนถึงระดับความเจือจางที่มีโคโลนีของเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อระหว่าง 30-300 โคโลนี โดยทำตามข้อ 2.1 เปลี่ยนความเจือจางไปเรื่อยๆ

3. การเทอาหารและผสมเชื้อในจานเพาะเชื้อ

3.1 หลอมอาหาร TGY แล้ววางไว้ให้เย็นลงประมาณ 45 องศาเซลเซียส

3.2 ดูดเชื้อที่ความเจือจางที่ต้องการ 3 ความเจือจาง ความเจือจางละ I มล. ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ความเจือจางละ 2 จาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

3.3 เทอาหารจาก ข้อ 3.1 ลงในจานเพาะเชื้อทั้งหมดใน ข้อ 3.2 แล้วหมุนจานตามเข็มนาฬิกา 5 รอบ ทวนเข็มนาฬิกา 5 รอบ ทวนเข็มนาฬิกา 5 รอบ เคลื่อนจานขึ้น ลง 5 ครั้ง และเคลื่อนจานไปซ้าย V31 อีก 5 ครั้ง (shake plate) เพื่อให้เชื้อผสมและกระจายทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อ วางไว้จนอาหารเย็นและวุ้นแข็งตัว

3.4 นำไปบ่มโดยการกลับด้านล่างจานเพาะเชื้อไว้ข้างบน (สำหรับแบคทีเรีย) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน

4. การตรวจผล

4.1 การนับจำนวนโคโลนีให้เลือกชุดจานเพาะเชื้อ ที่มีจำนวนโคโลนีเจริญอยู่ประมาณ 30-300 โคโลนี จากความเจือจางเดียว ถ้าทำ 2 จาน (Replicate) ในแต่ละความเจือจาง ให้รวมจำนวนโคโลนี ของทั้ง 2 จาน แล้วหารด้วย 2 จะเท่ากับจำนวนเฉลี่ยของโคโลนีที่นับได้ต่อ 1 ความเจือจางต่อจาน

4.2 คำนวณจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่างวัสดุ 1 กรัม หรือ 1 มล. ได้ดังนี้

หาจำนวนโคโลนีในแต่ละจานเพาะเชื้อ และคูณด้วยการเจือจาง (dilution) แล้วนำมาเฉลี่ย

สมมุติว่า จำนวนของโคโลนีแบคทีเรียเท่ากับ 99.9 โคโลนี นับได้ที่ความเจือจาง $1:10^5$ ดังนั้น จำนวนโคโลนีต่อตัวอย่างวัสดุ 1 กรัม หรือ 1 มล. คำนวณได้ดังนี้

ตัวอย่างวัสดุ $1/10^5$ กรัม นับแบคทีเรียได้ = 99.9 โคโลนี

วัสดุ 1 กรัม นับแบคทีเรียได้ = 99.9×10^5 โคโลนี

= 9.99×10^6 โคโลนี

นิยมรายงานในหน่วย CFU (Colony Forming Unit) ต่อกรัมหรือต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพิษณุโลก Pibulsongkram Rajabhat University

ภาคผนวก ค.

การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

1. <u>กรณีที่ใช้เศษอาหารร่วมกับฟางข้าว</u>

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเศษอาหารมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 77.07 ปริมาณคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 50.59 (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 5.52 (โดยน้ำหนักแห้ง) ส่วนฟางข้าวมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 6.99 ปริมาณคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 46.46 (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 0.60 (โดยน้ำหนักแห้ง)

คุณสมบัติ	เศษอาหาร	ฟางข้าว
ปริมาณความชื้น (%)	77.07	6.99
ส่วนที่เป็น Dry Matter (%)	100 – 77.07 = 22.93	93.01
ปริมาณคาร์บอน (% dry wt.)	50.59	46.46
ปริมาณไนโตรเจน (% dry wt.)	5.52	0.60

ในการคำนวณใช้เศษอาหารจำนวน 1 กิโลกรัม และใช้ฟางข้าวจำนวน 4 กิโลกรัม ซึ่งสามารถคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น ได้ดังนี้

$$C/N = \frac{\text{คาร์บอนรวมของเศษอาหารกับฟางข้าว}}{\text{ไนโตรเจนรวมของของเศษอาหารกับฟางข้าว}}$$

$$C/N = \frac{0.5059 + 0.4646\,(4)}{0.0552 + 0.006\,(4)}$$

$$C/N = \frac{2.3643}{0.0792}$$

$$C/N = 29.85$$

จากคำนวณหา อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของวัสดุหมักที่ได้มีค่าเท่ากับ 29.85

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

2. <u>กรณีที่ใช้เศษอาหารร่วมกับเศษผัก</u>

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเศษอาหารมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 77.07 ปริมาณคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 50.59 (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 5.52 (โดยน้ำหนักแห้ง) ส่วนเศษผักมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 77.90 ปริมาณคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 38.50 (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 1.22 (โดยน้ำหนักแห้ง)

คุณสมบัติ	เศษอาหาร	เศษผัก
ปริมาณความชื้น (%)	77.07	79.90
ส่วนที่เป็น Dry Matter (%)	100 – 77.07 = 22.93	20.10
ปริมาณคาร์บอน (% dry wt.)	50.59	38.50
ปริมาณไนโตรเจน (% dry wt.)	5.52	1.22

ในการคำนวณใช้เศษอาหารจำนวน 1 กิโลกรัม และใช้ฟางข้าวจำนวน 4 กิโลกรัม ซึ่งสามารถคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น ได้ดังนี้

$$C/N = \frac{\text{คาร์บอนรวมของเศษอาหารกับเศษผัก}}{\text{ไนโตรเจนรวมของของเศษอาหารกับเศษผัก}}$$

$$C/N = \frac{0.5059 + 0.3850\,(4)}{0.0552 + 0.0122\,(4)}$$

$$C/N = \frac{2.0459}{0.104}$$

$$C/N = 19.67$$

จากคำนวณหา อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของวัสดุหมักที่ได้มีค่าเท่ากับ 19.67

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี Phetchaburi Rajabhat University

3. กรณีที่ใช้เศษอาหารร่วมกับเศษผัก

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเศษอาหารมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 77.07 ปริมาณคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 50.59 (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 5.52 (โดยน้ำหนักแห้ง) ส่วนผักตบชวามีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 15.21 ปริมาณคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 44.53 (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 1.48 (โดยน้ำหนักแห้ง)

คุณสมบัติ		เศษอาหาร	ผักตบชวา
ปริมาณความชื้น **(%)**		**77.07**	**15.21**
ส่วนที่เป็น Dry **Matter** (%)	**100 – 77.07 = 22.93**		**84.79**
ปริมาณคาร์บอน **(% dry wt.)**		**50.59**	**44.53**
ปริมาณไนโตรเจน (% **dry wt.)**		**5.52**	**1.48**

- ในการคำนวณใช้เศษอาหารจำนวน 1 กิโลกรัม และใช้ฟางข้าวจำนวน 4 กิโลกรัม ซึ่งสามารถคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น ได้ดังนี้

$$C/N = \frac{\text{คาร์บอนรวมของเศษอาหารกับผักตบชวา}}{\text{ไนโตรเจนรวมของของเศษอาหารกับผักตบชวา}}$$

$$C/N = \frac{0.5059 + 0.4453\,(4)}{0.0552 + 0.0148\,(4)}$$

$$C/N = \frac{2.2871}{0.1144}$$

$$C/N = 19.99$$

จากคำนวณหา อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของวัสดุหมักที่ได้มีค่าเท่ากับ 19.99

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University