ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแหล่งไนโตรเจนกับเวลาการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก

นางสาวเปรมสุดา จิ๋วนอก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELATION BETWEEN NITROGEN SOURCES AND COMPOST MATURATION TIME

Miss. Preamsuda Jiwnok

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแหล่งไนโตรเจนกับเวลาการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก
โดย	นางสาวเปรมสุดา จิ๋วนอก
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

รองอธิการบดี
..... รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตย์ แทนสถิตย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เปรมสุดา จิ๋วนอก : ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแหล่งไนโตรเจนกับเวลาการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก (RELATION BETWEEN NITROGEN SOURCES AND COMPOST MATURATION TIME) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์, 184 หน้า

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันกับการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสมบูรณ์และคุณภาพของปุ๋ยหมัก ในการทดลองใช้ใบจามจุรีและผักตบชวาเป็นวัตถุดิบหลักผสมกันในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก และนำไปผสมกับของเสียอินทรีย์ 3 ชนิดที่มีปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกัน คือ เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานไก่สดแช่แข็งเติมลงไปเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนและปุ๋ยยูเรียเป็นชุดควบคุม กำหนดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นมีค่า 30:1 ซึ่งปุ๋ยหมักย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์เมื่ออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20:1

จากผลการศึกษา พบว่า แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันมีผลต่อการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยเปรียบเทียบตามระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มีค่า 49, 56, 70 และ 60 วัน ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักเท่ากับ 13.28, 10.38, 14.55 และ 15.51 ตามลำดับ ซึ่งในวัตถุดิบหมักแต่ละชนิดมีปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน เท่ากับ 46, 2.53, 2.81 และ 2.03% ตามลำดับ จะเห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนในวัตถุดิบหมักที่เป็นของเสียอินทรีย์ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์แล้วจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง เศษปลานิลสด มูลสุกร และปุ๋ยยูเรีย มีค่าประมาณ 1.86, 1.83, 1.65 และ 1.65% ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มูลสุกร เศษปลานิลสด และปุ๋ยยูเรีย มีค่าประมาณ 0.16, 0.15, 0.13 และ 0.09% ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณโพแทสเซียมมีค่าประมาณ 0.16, 0.14, 0.13 และ 0.08% ตามลำดับ

จากผลการศึกษา พบว่า ความแตกต่างของแหล่งไนโตรเจนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมักเพราะจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ได้เร็วขึ้น และให้ปริมาณสารอาหารหลักของพืชที่แตกต่างกัน จากการทดลองนี้เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก พบว่า แหล่งไนโตรเจนในของเสียอินทรีย์ที่ดีที่สุด คือ เศษปลานิลสด รองลงมา ได้แก่ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียไก่สดแช่แข็ง และมูลสุกร ตามลำดับ

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต เปรมสุดา จิ๋วนอก

ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

#4889107120 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : NITROGEN SOURCES/COMPOSTING/COMPOSTED MATURATION

PREAMSUDA JIWNOK : RELATION BETWEEN NITROGEN SOURCES AND COMPOST MATURATION TIME. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THARES SRISATIT, Ph.D., 184 pp.

The objectives of this research are to study the relation between the different of nitrogen sources and the compost maturation by comparing with composting time and to analyze the quality of composted products. The leaves of rain tree (*Samenea saman Jacq.*Merr.) and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) were used as the basic composted material with the ratio of 2:1 w/w. Three types of organic waste; eg. fresh fish residual, swine manure and sludge from waste water treatment of chicken frozen factory were added as the different nitrogen sources. Urea fertilizer was used as a control treatment. All treatments was the initial of C/N ration at 30:1 and compared with the maturation time of composting at C/N ratio be equal or below 20:1

The results of experiment found that the different of nitrogen sources were effect on physical and chemical properties of compost by comparing with the maturation time of composting at C/N ratio was below 20:1 for treatment of urea fertilizer, fresh fish residual, swine manure and sludge 49, 56, 70 and 60 day, at C/N ratio 13.28, 10.38, 14.55 and 15.51, respectively and the total nitrogen of materials were 46, 2.53, 2.81 and 2.03%, respectively. The results showed that the different of nitrogen sources did not relate with the maturation time. In addition, the total nitrogen content of the sludge compost was higher than the treatment of fresh fish residual, swine manure and urea fertilizer 1.86, 1.83, 1.65 and 1.65%, respectively. The total P_2O_5 content of the sludge compost was higher than the treatment of swine manure, fresh fish residual and urea fertilizer 0.16, 015, 0.13 and 0.09%, respectively and the same of total K_2O content were 0.16, 0.14, 0.13 and 0.08%, respectively.

Conclusion, the differential nitrogen sources are influence on physical and chemical properties of compost because it stimulated a fermentation of compost and gave the macro-nutrition of the plant in the different amount. This study found the best of nitrogen source of organic waste was the fresh fish residual and second were sludge and swine manure, respectively.

Field of Study : Environmental Science Student's Signature : Preamsuda Jiwnok

Academic Year : 2007 Advisor's Signature : T. Srisatit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาของผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้แนวคิด คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ทัศนคติที่เกิดประโยชน์ต่อการทำงานและการดำรงชีวิตตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ ความเมตตากรุณา รวมทั้งพร้อมที่จะช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในหลายๆ เรื่อง ตลอดระยะเวลาตั้งแต่ก่อนเริ่มต้นทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จออกมาเป็นรูปเป็นเล่ม

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงรองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยตรวจสอบรายละเอียดต่างๆ และได้ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ซีพีเอฟ ผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป จำกัด (อาหารแปรรูป มีนบุรี 2) ที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการเก็บกากตะกอนเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการส่วนอาคารและสถานที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และใบจามจุรีแห้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักปุ๋ย รวมทั้งพี่ๆ เจ้าหน้าที่ที่ประจำการทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในทุกๆ เรื่อง

ขอขอบพระคุณ สหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณพี่สุจนีย์ คุ่ยเสงี่ยมที่ให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และความเอื้อเฟื้อในทุกๆ ด้านในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคนกับความช่วยเหลือสำหรับทุกๆ เรื่อง รวมทั้งกำลังใจ การเตือนสติเป็นระยะๆ และทุกความหวังดีเพื่อให้งานสามารถก้าวเดินไปข้างหน้าต่อไปได้

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณยาย คุณแม่ คุณพ่อ และทุกคนในครอบครัวที่กรุณาให้การสนับสนุนในทุกๆ สิ่ง รวมทั้งความรัก ความห่วงใย และกำลังใจที่ดีเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 สมมติฐาน 3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ปุ๋ยหมัก 4
2.2 การงอกของเมล็ด 21
2.3 แหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมัก 25
2.4 วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทำปุ๋ยหมัก 27
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 41

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 47
3.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย 47
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 47
3.3 การดำเนินการวิจัย 49

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล 55
4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก 55

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 อัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก 60
4.3 ลักษณะสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของปุ๋ยหมัก ในระหว่างการหมักและเมื่อสิ้นสุดการหมัก 62
4.4 คุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ 110

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 112
5.1 สรุปผลการศึกษา 112
5.2 ข้อเสนอแนะ 113

รายการอ้างอิง 114
ภาคผนวก 120
ภาคผนวก ก 121
ภาคผนวก ข 126
ภาคผนวก ค 141
ภาคผนวก ง 178
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 184

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงค่าวิเคราะห์เคมีของวัสดุเหลือใช้ที่ย่อยสลายได้ชนิดต่างๆ 8
2.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวัตถุดิบที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก 26
2.3 องค์ประกอบในใบจามจุรี 29
2.4 ผักตบชวามีองค์ประกอบของธาตุต่างๆ 32
2.5 การประมาณค่าส่วนประกอบของปลานิล 35
2.6 ปริมาณแร่ธาตุของปลานิล 36
2.7 ธาตุอาหารพืชในมูลสัตว์บางชนิด 38
2.8 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ในมูลสุกรสด 38
3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์วัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก 50
3.2 พารามิเตอร์ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง และวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยหมักตัวอย่าง 53
4.1 สรุปผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบหมัก 60
4.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนและปริมาณของวัตถุดิบหมักที่ใช้ 61
4.3 อัตราส่วนของวัตถุดิบในกองปุ๋ยหมัก 62
4.4 การลดลงของปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมัก 84
4.5 ปริมาณอินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นตามระยะเวลาของการหมักของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด 86
4.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด 91
4.7 การลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก 93
4.8 การลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักเมื่อครบ 90 วัน 97
4.9 คุณสมบัติของปุ๋ยหมักแต่ละชนิดที่ได้จากการวิเคราะห์ในวันที่ 90 ของการหมัก 111
ค.1 ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ 142
ค.2 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของวัตถุดิบหมัก 144
ค.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัตถุดิบหมัก 145
ค.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียระหว่างกระบวนการหมัก 146
ค.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดระหว่างกระบวนการหมัก 148
ค.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักมูลสุกรระหว่างกระบวนการหมัก 150
ค.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักกากตะกอนระหว่างกระบวนการหมัก 152
ค.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย กองที่ 1 154
ค.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย กองที่ 2 155

ตารางที่ หน้า

ค.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด กองที่ 3 156
ค.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด กองที่ 4 157
ค.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักมูลสุกร กองที่ 5 158
ค.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักมูลสุกร กองที่ 6 159
ค.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักกากตะกอน กองที่ 7 160
ค.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักกากตะกอน กองที่ 8 161
ค.16 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 162
ค.17 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักเศษปลานิล 164
ค.18 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักมูลสุกร 166
ค.19 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักกากตะกอน 168
ค.20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมัก 170
ค.21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมัก 172
ค.22 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด 174
ค.23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัส (% P_2O_5) ของปุ๋ยหมัก 175
ค.24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียม (% K_2O) ของปุ๋ยหมัก 176
ค.25 ดัชนีการงอกของเมล็ดเมื่อทดสอบกับปุ๋ยหมัก 177

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก	13
2.2	วัฏจักรคาร์บอนและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดในดิน	15
2.3	วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen cycle)	18
2.4	วัฏจักรฟอสฟอรัส (Phosphorus cycle)	20
2.5	ลักษณะและส่วนประกอบของต้นจามจุรี	28
2.6	ลักษณะของผักตบชวา	31
2.7	โครงสร้างของยูเรีย (Urea)	33
2.8	ส่วนประกอบของปลานิล (Nile tilapia)	35
3.1	ลักษณะของถังหมักปุ๋ย	51
3.2	แผนผังการดำเนินการวิจัย	54
4.1	ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัตถุดิบหมัก	56
4.2	ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบหมักที่มีปริมาณน้อย	57
4.3	ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบหมักที่มีปริมาณมาก	57
4.4	ปริมาณอินทรียวัตถุของวัตถุดิบหมัก	58
4.5	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของวัตถุดิบหมัก	58
4.6	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัตถุดิบหมัก	59
4.7	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย	63
4.8	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด	64
4.9	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักมูลสุกร	64
4.10	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักกากตะกอน	65
4.11	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง	68
4.12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย	69
4.13	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด	70
4.14	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักมูลสุกร	71
4.15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักกากตะกอน	71
4.16	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง	72
4.17	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย	74
4.18	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด	74

ภาพที่ หน้า

4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักมูลสุกร 75
4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักกากตะกอน 75
4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง 78
4.22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 81
4.23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด 81
4.24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักมูลสุกร 81
4.25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักกากตะกอน 81
4.26 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 82
4.27 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด 82
4.28 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักมูลสุกร 82
4.29 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักกากตะกอน 82
4.30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง 85
4.31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 88
4.32 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด 88
4.33 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักมูลสุกร 88
4.34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักกากตะกอน 88
4.35 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 89
4.36 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด 89
4.37 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักมูลสุกร 89
4.38 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักกากตะกอน 89
4.39 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง 92
4.40 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 95
4.41 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักเศษปลานิล 95
4.42 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักมูลสุกร 95
4.43 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักกากตะกอน 95
4.44 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง 96
4.45 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 98
4.46 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด 98
4.47 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักมูลสุกร 98
4.48 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักกากตะกอน 98

ภาพที่ หน้า

4.49 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 98
4.50 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด 98
4.51 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักมูลสุกร 98
4.52 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักกากตะกอน 99
4.53 ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง 100
4.54 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 103
4.55 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด 103
4.56 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักมูลสุกร 103
4.57 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักกากตะกอน 103
4.58 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 104
4.59 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด 104
4.60 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักมูลสุกร 104
4.61 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักกากตะกอน 104
4.62 ปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง 105
4.63 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย 108
4.64 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด 108
4.65 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมักมูลสุกร 108
4.66 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมักกากตะกอน 108
4.67 ดัชนีการงอกของเมล็ดในปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง 109
ง.1 ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียในวันที่ 14 ของการหมัก 179
ง.2 ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดในวันที่ 14 ของการหมัก 179
ง.3 ปุ๋ยหมักมูลสุกรในวันที่ 14 ของการหมัก 179
ง.4 ปุ๋ยหมักกากตะกอนในวันที่ 14 ของการหมัก 179
ง.5 ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียในวันที่ 28 ของการหมัก 180
ง.6 ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดในวันที่ 28 ของการหมัก 180
ง.7 ปุ๋ยหมักมูลสุกรในวันที่ 28 ของการหมัก 180
ง.8 ปุ๋ยหมักกากตะกอนในวันที่ 28 ของการหมัก 180
ง.9 ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียในวันที่ 42 ของการหมัก 181
ง.10 ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดในวันที่ 42 ของการหมัก 181
ง.11 ปุ๋ยหมักมูลสุกรในวันที่ 42 ของการหมัก 181

ภาพที่ หน้า

ง.12 ปุ๋ยหมักกากตะกอนในวันที่ 42 ของการหมัก 181
ง.13 ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน 182
ง.14 ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 2 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน 182
ง.15 ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 3 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน 182
ง.16 ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 4 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน 182
ง.17 ปุ๋ยหมักมูลสุกรกองที่ 5 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน 183
ง.18 ปุ๋ยหมักมูลสุกรกองที่ 6 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน 183
ง.19 ปุ๋ยหมักกากตะกอนกองที่ 7 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน 183
ง.20 ปุ๋ยหมักกากตะกอนกองที่ 8 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน 183

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันขยะชุมชนที่เกิดขึ้นในประเทศต่างๆ ในเอเชียมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น โดยเป็นขยะอินทรีย์ในสัดส่วนที่อาจสูงถึงร้อยละ 79 ซึ่งจัดเป็นขยะที่มีความสำคัญเป็นลำดับต้นๆ ในการจัดการโดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดระบบเก็บรวบรวมและกำจัดจะต้องดำเนินการอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ในประเทศไทยได้มีแนวทางการจัดการขยะครบวงจร สำหรับการจัดการขยะอินทรีย์วิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ คือ การทำปุ๋ยหมัก โดยส่งเสริมให้ประชาชนนำขยะจากครัวเรือนกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์และมีการเสนอแนวทางให้หน่วยงานเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมมากขึ้น นอกจากนั้นยังมีการสนับสนุนการนำขยะอินทรีย์จากผู้ประกอบการ เช่น อุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า ศูนย์อาหาร และโรงแรม เป็นต้น มาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตปุ๋ยหมัก เพราะเป็นขยะอินทรีย์ที่มีคุณภาพมากกว่าขยะมูลฝอยตามบ้านเรือน อันจะส่งผลให้ปุ๋ยหมักมีคุณภาพดีมากยิ่งขึ้น และยังเป็นการประหยัดต้นทุนที่ใช้ในการกำจัดขยะเหล่านี้ รวมทั้งสามารถนำขยะอินทรีย์กลับมาสร้างประโยชน์ได้ใหม่อีกครั้ง

ขณะนี้ทั่วโลกตื่นตัวในการนำขยะอินทรีย์มาทำปุ๋ยหมักมากขึ้น ซึ่งการทำปุ๋ยหมักสามารถทำได้เองตามครัวเรือน โดยวัตถุดิบที่ใช้นั้นอาจจะเป็นขยะจากเศษอาหาร ใบไม้ กิ่งไม้ หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เป็นขยะจากสวนในบ้าน ถือว่าเป็นการจัดการกับขยะอินทรีย์ในรูปแบบหนึ่ง ส่วนใหญ่สารอินทรีย์ในพืชนั้นประกอบด้วยเซลลูโลส ประมาณ 15-60% เฮมิเซลลูโลส ประมาณ 10 -30% และลิกนิน ประมาณ 5-30% (สมศักดิ์ วังใน, 2528) และมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ ถ้าจะย่อยวัตถุดิบเหล่านี้ให้เป็นปุ๋ยหมักในระยะเวลาสั้น จำเป็นต้องเติมแหล่งไนโตรเจนชนิดอื่นลงไปเพื่อปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ให้ลดลงมีค่าที่สมดุล โดย Alexander (1961) กล่าวว่า อินทรีย์คาร์บอนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักควรมีค่าระหว่าง 20-40% นอกจากนั้นภาวนา ลิขขนานนท์ (2528) กล่าวว่า ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนควรมีค่าประมาณ 25:1 และกรมวิชาการเกษตร (2548) พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 30:1 อย่างไรก็ตาม ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการหมักปุ๋ยนั้น จะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมาหมัก ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปริมาณที่นำมาทำปุ๋ยหมักเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์อันมีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในการหมักนั้นเพื่อไม่ให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนทัศนียภาพที่ไม่สวยงามและการรบกวนจากสัตว์อื่นๆ จึงได้มีการหมักปุ๋ยในภาชนะหรือถังสำหรับ

หมักโดยเฉพาะ ซึ่งเป็นถังที่อากาศสามารถถ่ายเทได้ และผลผลิตที่เป็นปุ๋ยหมักนั้นก็สามารถนำกลับมาใช้เป็นสารอาหารของพืชที่ใช้ในการเจริญเติบโตได้อีก

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารอนินทรีย์ในรูปธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งปุ๋ยหมักเป็นแหล่งอินทรียวัตถุที่สำคัญในดิน เนื่องจากสามารถช่วยทำให้ดินร่วมซุย มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง เพิ่มช่องว่างในดิน ทำให้การถ่ายเทอากาศในดินได้สะดวก ช่วยดูดซับธาตุอาหารไว้ไม่ให้สูญหายไปจากดินได้โดยง่าย (บุปผา คำวัน, 2545) ปัจจัยที่สำคัญที่สุดของปุ๋ยหมักที่มีผลต่อการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางการเกษตรต่อพืช คือ ต้องอยู่ในรูปที่เสถียรมีความคงตัวและมีการย่อยสลายที่สมบูรณ์ การนำปุ๋ยหมักมาใช้เมื่อยังไม่เสถียรหรือยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์อาจจะส่งผลยับยั้งการงอกของเมล็ดพืช ลดการเจริญเติบโตและเป็นอันตรายต่อพืชโดยจะเกิดการแย่งใช้ออกซิเจนกับพืชเพื่อนำมาใช้ย่อยสลายปุ๋ยหมัก หรืออาจเกิดสารที่เป็นพิษกับพืชในระหว่างที่เกิดการย่อยสลายเพื่อเป็นอินทรียวัตถุ (Brewer และ Sullivan, 2003; Cooperband และคณะ, 2003; Said-Pullicino และคณะ, 2007; Wu และคณะ, 2000) โดยข้อสังเกตที่ใช้ในปัจจุบัน คือ ดูจากสี อุณหภูมิ การใช้นิ้วมือบี้ สังเกตกลิ่นของปุ๋ย ซึ่งวิธีเหล่านี้ไม่มีความแน่นอนและบางครั้งไม่สามารถบ่งบอกว่าปุ๋ยหมักนั้นพร้อมใช้งานได้แล้ว ดังนั้นการพิจารณาว่ากองปุ๋ยหมักนั้นย่อยสลายอย่างสมบูรณ์พร้อมที่จะนำปุ๋ยหมักมาใช้ได้นั้นก็เป็นสิ่งสำคัญ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร ดังนนั้นกรมวิชาการเกษตรจึงกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เรื่องการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์ที่ต้องผ่านมาตรฐาน คือมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 พร้อมทั้งได้รับการรับรองและประกาศใช้เป็นมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : ปุ๋ยหมัก พ.ศ. 2548 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2548) โดยวิธีการทดสอบความพร้อมใช้ของปุ๋ยหมักนั้นมีวิธีการอย่างง่ายและเชื่อถือได้ คือ การทดสอบการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักด้วยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักกับการย่อยสลายสมบูรณ์ที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักที่ใช้วัตถุดิบแตกต่างกัน ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก มี 2 แหล่ง คือ แหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน สำหรับการวิจัยนี้จะใช้วัตถุดิบของแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันทำปุ๋ยหมัก โดยจะเปรียบเทียบให้เห็นผลจากแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันว่าจะมีผลกับการย่อยสลายของปุ๋ยหมักหรือไม่ นอกจากนั้นจะทำให้ทราบระยะเวลาที่ใช้ในการหมักปุ๋ยที่แน่นอนของวัตถุดิบที่ใช้หมักในแต่ละชนิด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรที่หมักปุ๋ยใช้เอง อันจะส่งผลต่อรูปแบบการทำการเกษตรที่เน้นให้เป็นเกษตรอินทรีย์ที่ไม่มีการใช้หรือใช้สารเคมีน้อยที่สุด และผลผลิตที่ได้มีความปลอดภัยจากสารพิษเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนในการทำการเกษตร ลดการใช้สารเคมีส่งผลให้สารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมลดลง อีกทั้งยังเป็นการช่วยกำจัดและลดปริมาณขยะของประเทศได้อีกหนึ่งทาง

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของปุ๋ยหมักที่มีแหล่งไนโตรเจนแตกต่างกันกับระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสมบูรณ์
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักแต่ละชนิดที่เวลาหมักแตกต่างกัน

1.3 สมมติฐาน

การใช้วัตถุดิบหมักที่แตกต่างกันมีผลต่อระยะเวลาและการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก

1.4 ขอบเขตในการศึกษา

1. ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากการใช้วัตถุดิบหมักที่มีแหล่งไนโตรเจนแตกต่างกัน คือ ปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง
2. ภาชนะที่ใช้ในการหมักเป็นถังทรงกระบอกสูง 1 เมตร ปริมาตร 0.79 ลูกบาศก์เมตร
3. ในการศึกษากำหนดตัวแปร ดังนี้

ตัวแปรต้น คือ ชนิดของแหล่งไนโตรเจน

ตัวแปรตาม คือ เวลาของการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก ค่าร้อยละของการย่อยสลายสมบูรณ์ อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

ตัวแปรควบคุม คือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น และความชื้นของกองปุ๋ยหมัก

4. การเปลี่ยนแปลงและสมบัติของปุ๋ยหมัก ดังนี้

ทางกายภาพ คือ ค่าที่ได้จากอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และความเป็นกรดเป็นด่าง

ทางเคมี คือ ปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

ทางชีวภาพ คือ การย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักทดสอบด้วยดัชนีการงอกของเมล็ด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบระยะเวลาที่แน่นอนที่ใช้ในการหมักปุ๋ยด้วยวัตถุดิบหมักประเภทต่างๆ จนได้เป็นปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์พร้อมนำไปใช้ได้ โดยไม่เป็นพิษต่อพืช
2. เสริมสร้างแนวทางในการกำจัดขยะอินทรีย์ให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้กับพื้นที่การเกษตร โดยการทำปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพสูง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปุ๋ยหมัก

2.1.1 ความหมายของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก (compost) มาจากคำในภาษาละตินว่า componere หมายถึง การนำสิ่งต่างๆ มารวมเข้าด้วยกัน ในแง่ของปุ๋ยหมายถึงปุ๋ยที่ได้จากการนำเอาเศษอินทรียสารมากองสะสมกันเข้าแล้วปล่อยให้เน่าเปื่อยไปหลังจากที่อินทรียสารเหล่านี้เน่าเปื่อยจนถึงขั้นเป็นฮิวมัสแล้วจึงนำมาใช้

ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเศษพืชหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ โดยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในสภาพที่เหมาะสมในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน รวมทั้งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน จนกระทั่งได้สารอินทรียวัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น สีน้ำตาลปนดำ มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เมื่อกระบวนการย่อยสลายเศษพืชและวัสดุเสร็จสมบูรณ์จะได้ปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงบำรุงดิน ซึ่งการผุพังขึ้นอยู่กับระยะเวลาและกรรมวิธีการหมัก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยธรรมชาติที่ได้มาจากการนำเอาเศษซากพืช เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด ต้นถั่วต่างๆ หญ้าแห้ง ผักตบชวา ของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนขยะมูลฝอยตามบ้านเรือนมาหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมีหรือสารเร่งจุลินทรีย์ เป็นต้น และเมื่อหมักระยะเวลาหนึ่งแล้ว เศษพืชจะเปลี่ยนสภาพจากของเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ยสีน้ำตาลปนดำ นำไปใส่ในไร่นาหรือพืชสวน เช่น ไม้ผล พืชผัก และไม้ดอกไม้ประดับ เป็นต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550)

จากความหมายและคำนิยามของปุ๋ยหมักสามารถสรุปได้ว่า ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยกลุ่มจุลินทรีย์หลากหลายชนิด สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายจะแปรสภาพไปเป็นสารอนินทรีย์ในรูปของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์และพืชสามารถนำไปใช้ได้ โดยกระบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้นได้ดีและรวดเร็วเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์มีลักษณะเนื้อปุ๋ยเปื่อย นุ่ม ยุ่ย ขาดจากกันได้ง่าย มีความคงตัวเสถียร ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่า มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ และมีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชครบถ้วน (เจนวิทย์ กรอบทอง, 2544 ; บุปผา คำวัน, 2545)

2.1.2 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก (Composting)

กระบวนการทำปุ๋ยหมัก เป็นกระบวนการแปรสภาพของสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยอาศัยการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์กับพืช ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์แล้วจะมีลักษณะเป็นขุยสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม พรุน เปื่อย นุ่ม ร่วนซุย มีความชื้นเล็กน้อย และไม่มีกลิ่นเหม็น โดยเศษวัตถุดิบที่หมักได้ที่แล้วปริมาตรจะลดลง 30-60% (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547) กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการแปรสภาพวัตถุดิบหมักมากที่สุดได้แก่ ราและแบคทีเรีย ระบบที่ใช้ในการหมักปุ๋ย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. การหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic composting) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ เมื่อจุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนและสารอาหารที่เพียงพอ รวมทั้งอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม เช่น มีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอ อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม เป็นต้น จะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นแร่ธาตุได้รวดเร็วขึ้น การหมักประเภทนี้เป็นการหมักแบบอัตราเร็ว ซึ่งจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อนจากการออกซิเดชั่นของสารอินทรีย์ จะให้ผลผลิตสุดท้ายที่มีความเสถียร (final-stabilized products) วิธีนี้ไม่ก่อให้เกิดปัญหามากนักจะให้ผลผลิตของปฏิกิริยาต่างกันกับสภาวะการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากผลของการหมักวิธีนี้ไม่เกิดก๊าซชนิดที่มีกลิ่นเหม็น แต่จะได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดีมีองค์ประกอบของไนเตรต (NO_3^-) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังนี้

สารอินทรีย์ (CHON) (โปรตีน, กรดอะมิโน, ลิกนิน, คาร์โบไฮเดรต, เซลลูโลส, เถ้า) —ออกซิเจน, Aerobic microorganism→ คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ + ซัลเฟต + ไนเตรต + ความร้อน + กาก

2. การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic composting) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ โดยวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหมักจะอยู่ในลักษณะที่กึ่งของเหลว (Slurry) เมื่อได้รับสารอาหารและอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและย่อยสลายสารอินทรีย์ให้แปรสภาพเป็นแร่ธาตุ ลักษณะเฉพาะของการหมักแบบนี้ คือ การย่อยสลายที่อุณหภูมิต่ำและได้ผลผลิตที่มีกลิ่น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะให้ผลผลิตสุดท้ายที่มีความเสถียร (final-stabilized products) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในส่วนที่เป็นก๊าซจะหายไป และส่งกลิ่นเหม็น เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) รวมทั้งคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จะค่อนข้างต่ำและใช้เวลาในการหมักนานกว่าการหมักแบบใช้ออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังนี้

สารอินทรีย์ (CHON)
(โปรตีน, กรดอะมิโน, ลิกนิน,
คาร์โบไฮเดรต, เซลลูโลส, เถ้า)

Anaerobic microorganism

คาร์บอนไดออกไซด์ + ก๊าซมีเทน
+ ก๊าซแอมโมเนีย + ความร้อน
+ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
+ กาก

2.1.3 ปัจจัยที่ควบคุมการย่อยสลายกองปุ๋ยหมัก

การย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นปุ๋ยหมักที่มีแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์กับพืชนั้นต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์เป็นหลัก ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการทนทานต่อสภาพสภาวะแวดล้อมและความสามารถในการย่อยสลายที่แตกต่างกัน ดังนั้นการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับสภาวะและสภาพแวดล้อมของกองปุ๋ยหมักการทำงาน การเจริญเติบโตและการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ ซึ่งมีปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1.3.1 ลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก (Characteristic materials)

วัตถุดิบที่ใช้ทำปุ๋ยหมักในปัจจุบันมีความหลากหลายมากขึ้น แต่หลักการยังคงต้องเป็นสารอินทรีย์ดังเดิม วัตถุดิบที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก เช่น ของเหลือทางการเกษตรและปศุสัตว์ (Agricultural wastes) ของเหลือจากทางภาคอุตสาหกรรม (Industrial wastes) ของเสียจากชุมชน (Municipal solid wastes) ของเสียอื่นๆ เช่น วัชพืช ใบไม้แห้ง และกิ่งไม้ เป็นต้น ส่วนใหญ่การทำปุ๋ยหมักนิยมใช้วัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากการเกษตร แต่ปัจจุบันวัตถุดิบที่นำมาทำปุ๋ยหมักมีความหลากหลายมากขึ้น โดยหลักการของลักษณะวัตถุดิบหมักที่ใช้นั้นจะมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เช่น ขนาดและความสดของวัตถุดิบ เป็นต้น

ขนาดของวัตถุดิบมีผลทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้มากและรวดเร็วขึ้น ดังนั้นในวัตถุดิบที่เป็นพืชจึงต้องมีการหั่นหรือบดให้มีขนาดเล็กลง เพื่อเพิ่มผิวสัมผัส สามารถผสมคลุกเคล้าได้ทั่วถึงและมีสภาพเป็นฉนวนซึ่งจะช่วยรักษาอุณหภูมิภายในกองหมักได้ (Gray และคณะ, 1971) นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงความพรุน (Bulking Agent) ของวัตถุดิบหมัก เนื่องจากวัตถุดิบหมักที่มีขนาดเล็กมากเกินไปจะมีความพรุนน้อย ซึ่งอาจขัดขวางการระบายอากาศของกองปุ๋ยหมัก จึงต้องนำมาผสมกับวัตถุดิบเพื่อเพิ่มความพรุน เช่น ใบไม้แห้ง และขี้เลื่อย เป็นต้น ก่อนนำไปหมัก โดยขนาดของวัตถุดิบหมักที่เหมาะสม คือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 1.3-7.6 เซนติเมตร

ความสดของวัตถุดิบหมักมีผลต่อปริมาณความชื้นและการระบายอากาศในกองปุ๋ยหมัก โดยวัตถุดิบที่แห้งจะมีความสะดวกในการทำกองปุ๋ย การควบคุมความชื้น และการระบายอากาศ ซึ่งการนำวัตถุดิบสดนั้นสามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ต้องควบคุมปริมาณความชื้น เพราะปริมาณน้ำที่มีมากเกินไปอาจมีผลทำให้การระบายอากาศไม่ดี รวมทั้งเกิดการเน่าเสียและส่งกลิ่นเหม็น

2.1.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบหมัก (Chemical component materials)

จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจำเป็นต้องใช้แหล่งอาหารและแหล่งพลังงานในการดำรงชีพ โดยสารอินทรีย์จะมีองค์ประกอบของคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ซึ่งคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลักของเซลลูโลสและลิกนินที่มีอยู่ในพืช และไนโตรเจนจะพบในรูปของโปรตีนและสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่นอกเซลล์พืช นอกจากนั้นจุลินทรีย์ยังใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเป็นสารที่สำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึม สำหรับกระบวนการหมักปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นสารที่สำคัญและมีผลต่อการจำกัด (Limiting Factor) อัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (Richard, 1992) ธาตุทั้ง 2 ชนิดนี้มีความเกี่ยวข้องกันในวัตถุดิบแต่ละชนิด โดยความสัมพันธ์นี้จะเรียกว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ซึ่งเป็นค่าที่คิดจากค่าพื้นฐานของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของคาร์บอนและไนโตรเจนในวัตถุดิบแต่ละชนิด

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสามารถบ่งบอกการย่อยสลายของวัตถุดิบชนิดนั้นๆ ได้ โดยวัตถุดิบที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำนั้น จะมีการย่อยสลายเร็วและง่ายกว่าวัตถุดิบที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง (ตารางที่ 2.1) ดังนั้นในการทำปุ๋ยหมักจึงคัดเลือกชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่นำมาหมักให้เหมาะสม อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการหมักและคุณภาพของปุ๋ยหมัก (Golueke, 1977; Michel และคณะ, 1996; Huang และคณะ, 2004) การทำปุ๋ยหมักให้มีคุณภาพภายในระยะเวลาสั้นนั้นต้องคำนึงถึงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของกองปุ๋ยหมัก ซึ่งค่าที่เหมาะสม คือ 25-30 (Fong และคณะ, 1999; Zhu, 2007) นอกจากนี้ยังใช้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมาพิจารณาสมบัติของปุ๋ยหมัก โดยต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 (กรมวิชาการเกษตร, 2548; สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2548) จึงถือว่าปุ๋ยหมักนั้นย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อพืช

2.1.3.3 ความชื้น (Moisture)

ความชื้นมีความสำคัญต่อการดำรงชีพและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก โดยปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายมีมากกว่าน้ำที่สูญเสียในกองปุ๋ยหมักจากการระบายอากาศและการระเหยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนั้น จะมีผลให้การระบายอากาศถูกขัดขวาง เกิดสภาพแอนแอโรบิคและการย่อยสลายช้าลง รวมทั้งมีผลทำให้สูญเสียธาตุอาหารในระหว่างการทำปุ๋ยหมัก (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2547; ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547; Gray และคณะ, 1971 อ้างถึงในสรพรรณ อมตธรรม, 2546) ระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมักประมาณ 50-70% ถ้ามีน้อยกว่า 40% จะทำให้การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ถ้ามีมากกว่า 80% กองปุ๋ยหมักจะแฉะเกินไปอากาศระบายได้ไม่สะดวก

ตารางที่ 2.1 ค่าวิเคราะห์เคมีของวัสดุเหลือใช้ที่ย่อยสลายได้ชนิดต่างๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)

ชนิดของวัตถุดิบ	ปริมาณธาตุอาหาร (%)		C/N ratio
	คาร์บอน	ไนโตรเจน	
วัตถุดิบที่ย่อยสลายง่าย			
ฟางข้าว	48.82	0.55	88.76
ผักตบชวา	43.56	1.27	34.30
หญ้าขน	48.66	1.38	35.26
ต้นข้าวโพด	33.00	0.53	62.26
เปลือกเมล็ดกาแฟ	65.05	0.93	69.94
เปลือกถั่วลิสง	58.36	0.73	79.94
เปลือกสับปะรด	46.80	1.79	26.15
เปลือกมันสำปะหลัง (แห้ง)	48.85	0.60	81.42
เปลือกมันสำปะหลัง (สด)	31.52	0.59	53.42
วัตถุดิบที่ย่อยสลายยาก			
ขี้เลื่อยไม้เบญจพรรณ	62.70	0.32	195.93
ขี้เลื่อยไม้ยางเก่า	56.37	0.25	225.48
เศษใบอ้อย	51.52	0.49	105.14
กากอ้อย	57.69	0.40	144.23
ขุยมะพร้าว	60.13	0.36	167.03
แกลบ	54.72	0.36	152.00
เปลือกเมล็ดปาล์มบด	60.95	0.52	117.21

2.1.3.4 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกระบวนการหมัก อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของกองปุ๋ยหมักเกิดจากความร้อนที่เป็นผลของกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ซึ่งอุณหภูมิจะเป็นปัจจัยที่บ่งบอกชนิดของจุลินทรีย์และอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้น (Miller, 1992 อ้างถึงใน สรพรรณ อมตธรรม, 2546) การควบคุมอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเพื่อให้เกิดอัตราการย่อยสลายสูงสุด และกำจัดเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 45-59 องศาเซลเซียส (Richard, 1992) ถ้าสูงเกิน 70 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์ตายหรือหยุดชะงักการเจริญเติบโต จึงจำเป็นต้องกลับกองปุ๋ยเพื่อให้อุณหภูมิลดลง จากนั้นจุลินทรีย์

จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอีก ซึ่งจะเกิดสภาพเช่นนี้จนกระทั่งการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ โดยอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักมีหลายปัจจัย อาทิ สภาพแวดล้อม ชนิดและลักษณะของวัตถุดิบหมัก และขนาดของกองปุ๋ยหมัก เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับการเติมปัจจัยบางชนิดร่วมกับวัตถุดิบหมัก เช่น การเติมมูลสัตว์ และสารเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น จะช่วยส่งเสริมการเพิ่มอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงการเพิ่มประสิทธิภาพอัตราการย่อยสลาย และมีความสอดคล้องกับการลดลงของค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมัก

2.1.3.5 การระบายอากาศ (Aeration)

กลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเศษพืชประมาณ 90% เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2547) เพราะต้องใช้ในกระบวนการหายใจและสร้างพลังงาน จุลินทรีย์จึงสร้างเอนไซม์ออกมาย่อยสลายเศษพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นต้องมีการกลับกองปุ๋ยหมักเพื่อให้เกิดการระบายอากาศ ซึ่งจะส่งผลต่อการระเหยของความชื้นในกองปุ๋ยหมัก ดังนั้นต้องควบคุมให้มีการระบายอากาศและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์

การระบายอากาศที่เกิดขึ้นต้องคำนึงถึงขนาดของกองปุ๋ยที่ไม่ควรมีความสูงมากเกินไป เพราะส่วนล่างจะถูกกดทับทำให้อัดตัวแน่นไม่สามารถระบายอากาศได้ และไม่ควรกว้างเกินไป เพราะจะทำให้การระบายอากาศจากทางด้านข้างไม่ดี นอกจากนั้นไม่ควรเตี้ยหรือแคบเกินไป เพราะกองปุ๋ยจะไม่มีความร้อนมากเท่าที่ควร ดังนั้นขนาดของกองปุ๋ยที่ดีไม่ควรเล็กกว่า 1 ลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้การทำช่องระบายอากาศเป็นวิธีการเพิ่มการระบายอากาศภายในกองปุ๋ยหมัก โดยใช้ไม้ที่มีลักษณะเป็นท่อกลวงหรือท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3-4 นิ้ว ปักตั้งไว้บนพื้นบริเวณจะตั้งกองปุ๋ย เมื่อตั้งกองปุ๋ยแล้วท่อเหล่านี้จะกระจายอยู่ทั่วกอง ทำให้การระบายอากาศเกิดขึ้นทั่วถึงภายในกองปุ๋ยหมัก

2.1.3.6 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ในสภาวะปกติแบคทีเรียและเชื้อราเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 6.0-7.5 และ 5.5-8.0 ตามลำดับ ดังนั้นการทำงานของจุลินทรีย์นั้นจะเกิดขึ้นได้ดีในปุ๋ยหมักที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0-9.0 (สรพรรณ อมตธรรม, 2546) การใช้วัตถุดิบเหลือทิ้งจากการเกษตรจะไม่ค่อยมีปัญหาเพราะค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเศษพืชอยู่ในช่วงที่เป็นกลางหรือกรดเล็กน้อย ปัจจุบันมีการใช้วัตถุดิบเหลือทิ้งจากทางอุตสาหกรรม เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้นเป็นวัตถุดิบหมักจึงอาจจะมีผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของกองปุ๋ยหมัก เพราะกากตะกอนมีความเป็นด่างมาก ดังนั้นจึงต้องปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างก่อนนำมาหมักและก่อนนำไปใช้กับพืช

2.1.4 บทบาทของจุลินทรีย์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภายในกองปุ๋ยหมัก

จุลินทรีย์เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีบทบาททำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อจำแนกกลุ่มจุลินทรีย์ตามชนิดของสารอาหารคาร์บอนแล้ว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เฮเทอโรโทรพ (Heterotroph) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อใช้เป็นอาหาร ซึ่งเป็นพวกที่มีปริมาณมากที่สุดในดินและมีบทบาทในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ และอีกประเภทหนึ่ง คือ ออโตโทรพ (Autotrop) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อสังเคราะห์สารอินทรีย์ออกมาสร้างเป็นองค์ประกอบของเซลล์ ในการทำปุ๋ยหมักจะมีปริมาณสารอินทรีย์เป็นจำนวนมากจึงพบจุลินทรีย์ทั้งสองประเภทอาศัยอยู่ สำหรับกระบวนการหมักปุ๋ยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ตลอดเวลา อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการแบ่งประเภทของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในกระบวนการหมัก สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) จุลินทรีย์ที่ชอบอากาศเย็น (Psychrophiles) สามารถเจริญเติบโตที่อุณหภูมิต่ำๆ ประมาณ 0-20 องศาเซลเซียส บางครั้งถึง -10 องศาเซลเซียส อาจจะพบได้ในน้ำแข็งบริเวณขั้วโลก

2) จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (Mesophiles) สามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 20-45 องศาเซลเซียส

3) จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophiles) สามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 45-70 องศาเซลเซียส

4) จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงมาก (Hyperthermophiles) มักพบในบริเวณเปลือกโลกที่มีความร้อนสูง เช่น บริเวณน้ำพุร้อน เจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 82-110 องศาเซลเซียส

ในช่วงอุณหภูมิเดียวกันกลุ่มจุลินทรีย์ที่พบอาจจะมีหลายชนิด เช่น เชื้อรา แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิท สาหร่าย โปรโตซัว และไวรัส เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันออกไปอันเป็นสมบัติเฉพาะของกลุ่มจุลินทรีย์

2.1.4.1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมัก

จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกระบวนการหมักเป็นจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไป ไม่ว่าจะอยู่ในวัตถุดิบหมัก น้ำ อากาศ หรือดิน ซึ่งความแตกต่างของชนิดจุลินทรีย์นั้นมีผลทำให้ปุ๋ยหมักมีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูงเพิ่มขึ้น อันจะมีผลทำให้เกิดกระบวนการหมักที่รวดเร็วขึ้น รวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของการหมักอย่างต่อเนื่อง หากแบ่งตามระบบการจำแนกสิ่งมีชีวิตสามารถแบ่งจุลินทรีย์ได้หลายประเภท เช่น เชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซิท เป็นต้น โดยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการหมัก ดังนี้

1) เชื้อรา (Fungi) เป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและบางชนิดไม่ใช้ออกซิเจน เชื้อราจัดเป็นจุลินทรีย์พวก aerobic heterotroph คือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและต้องการออกซิเจนในการหายใจ ส่วนใหญ่กินเศษซากอินทรียวัตถุเป็นอาหาร โดยทั่วไปเชื้อราเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เป็นกลาง มีลักษณะเด่น คือ มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น นอกจากนี้เชื้อรายังเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการความชื้นค่อนข้างสูงในการเจริญเติบโต โดยทั่วไปจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 95-100% แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำกว่า 80% การเจริญเติบโตของเชื้อราส่วนใหญ่จะชะงักลง

ในกองปุ๋ยหมักจะพบเชื้อราอยู่เสมอ โดยชนิดและปริมาณของเชื้อราที่พบขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก ในระยะแรกของกระบวนการหมักเชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดี เนื่องจากในระยะแรกกองปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก เพราะถ้ากองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความชื้นสูงจะเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงมักพบเชื้อราอยู่บริเวณผิวนอกของกองปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำกว่าภายในกองปุ๋ยหมัก โดยจะไม่พบเชื้อราเลยเมื่อกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอยู่ในสภาพที่แห้งในอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เชื้อรายังสามารถเจริญอยู่ได้

เชื้อราที่มีบทบาทในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักให้มีขนาดเล็กลงมีหลายชนิด ในระยะแรกของการหมักอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักยังไม่สูงมากนัก เชื้อราที่พบเป็นพวก *Geotrichum candidium* และ *Aspergillus fumigatus* เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึงช่วง 45-55 องศาเซลเซียส จะตรวจพบเชื้อราพวก *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้จะพบเชื้อราพวก *Penicillium duponti* โดยชนิดของเชื้อราที่พบอาจจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก (อานัฐ ตันโช, 2549)

2) แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุดในกองปุ๋ยหมัก ประมาณ 80-90% ของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณที่พบในกองปุ๋ยหมักประมาณ 2.3×10^8 เซลล์ต่อกรัม โดยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก (อานัฐ ตันโช, 2549) โดยทั่วไปแบคทีเรียเจริญได้ดีในสภาพที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ค่อนข้างเป็นกลางประมาณ 6-8 และไม่ชอบค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ต่ำกว่า 5.5 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) การที่แบคทีเรียเป็นเซลล์ขนาดเล็กมีจำนวนมาก และเจริญเติบโตได้รวดเร็ว เมื่อมีปัจจัยต่างๆ เหมาะสม รวมทั้งมีความหลากหลายในการดำรงชีวิตสูงส่งผลให้แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่ประสบความสำเร็จในการดำรงชีวิตอยู่รอดและเข้าไปมีบทบาทสำคัญในกิจกรรมต่างๆ เกือบทุกสภาพแวดล้อม

แบคทีเรียมีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายและความร้อนภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งในระยะแรกของการหมักอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะไม่สูงมากนัก แบคทีเรียส่วนใหญ่ที่พบมากจะเป็นพวก *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Cellulomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococcus* sp. และ *Achromobacter* sp. ระยะต่อมาเมื่อกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงมากขึ้นประมาณ 50-55 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่เจริญได้ดีจะเป็นพวก *Bacillus subtilis* และ *Bacillus stearothermophilus* และบางช่วงที่อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นประมาณ 65-70 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่เจริญได้และสามารถทนความร้อนได้สูง ได้แก่ พวก *Thermus* sp. และ *Bacillus* sp. นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ได้เช่นเดียวกัน แต่เจริญในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ได้แก่ *Clostridium* sp.

3) แอคติโนมัยซิท (Actinomycetes) เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตและสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 65-75 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 75 องศาเซลเซียส จะไม่พบเชื้อแอคติโนมัยซิท นอกจากนี้ความเป็นกรดเป็นด่างก็มีผลต่อการเจริญเติบโต ซึ่งจะเจริญได้ดีที่ความเป็นกรดเป็นด่างในช่วงเป็นกลางและด่างอ่อน และไม่ทนทานต่อสภาพความเป็นกรด จึงพบจุลินทรีย์ชนิดนี้น้อยมากในสภาพที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 5 แอคติโนมัยซิทมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าเชื้อราและแบคทีเรีย ลักษณะของเชื้อแอคติโนมัยซิสที่พบบนกองปุ๋ยหมักจะเจริญเป็นกลุ่มเห็นเป็นจุดสีขาวคล้ายๆ ผงปูน หลังจากอุณหภูมิสูงขึ้นจนสูงมาก

แอคติโนมัยซิทมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนที่ย่อยสลายยากได้หลายชนิด เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ไคติน และโปรตีน เป็นต้น ในกองปุ๋ยหมักที่อยู่ในสภาพที่อุณหภูมิสูงแอคติโนมัยซิทที่พบ ได้แก่ พวก *Thermoactinomyces* sp. และ *Thermomonospora* sp. ซึ่งเป็นพวกที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพและอาจพบ *Streptomyces* sp. และ *Micropolyspora* sp. ในกองปุ๋ยหมักได้เช่นกัน (ธงชัย มาลา, 2546)

2.1.4.2 การเปลี่ยนแปลงภายในกองปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมักเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายและแปรสภาพจากสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งมีกลไกที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ

1) การย่อยสลายอย่างเข้มข้น (Intensive rotting phase)

ในระยะเริ่มของการหมักอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะเท่ากับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม จุลินทรีย์ที่อยู่ในกองปุ๋ยหมักจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ผลของการย่อยสลายจะได้สารที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักมีค่าอยู่ในช่วง 20-45 องศาเซลเซียส จะพบจุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิก ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ชอบ

อุณหภูมิปานกลางทำหน้าที่ย่อยสลายวัตถุดิบหมัก โดยชนิดของจุลินทรีย์หลักที่ทำหน้าที่นี้ คือ พวกเชื้อรา แบคทีเรียที่สร้างกรด และแอคติโนมัยซิทบางชนิดที่จะเจริญเติบโตได้ช้า ในการย่อยสลายจะมีการคายความร้อนจากปฏิกิริยาออกมาจนอุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับที่สามารถไปยับยั้งการเจริญเติบโตและการแพร่พันธุ์ของจุลินทรีย์กลุ่มที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง และเมื่ออุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นจนเข้าสู่ช่วงเทอร์โมฟิลิก คือประมาณ 45-70 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิกทั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซิท จะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วและดำเนินการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อไป ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 70-80 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 65 องศาเซลเซียส เชื้อราและแอคติโนมัยซิทจะมีปริมาณลดลง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียเป็นหลัก และเมื่ออุณหภูมิลดลงมาอยู่ในช่วง 40-60 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 2-3 วัน เชื้อรากลุ่มที่ชอบอุณหภูมิสูงจะเริ่มทำงานและเป็นกลุ่มหลักในการย่อยสลายผนังเซลล์ของเศษพืชในส่วนที่เป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำหนักของเศษพืชหายไปประมาณครึ่งหนึ่งภายในเวลาประมาณ 20 วัน นับจากวันที่ความร้อนขึ้นสูงสุด

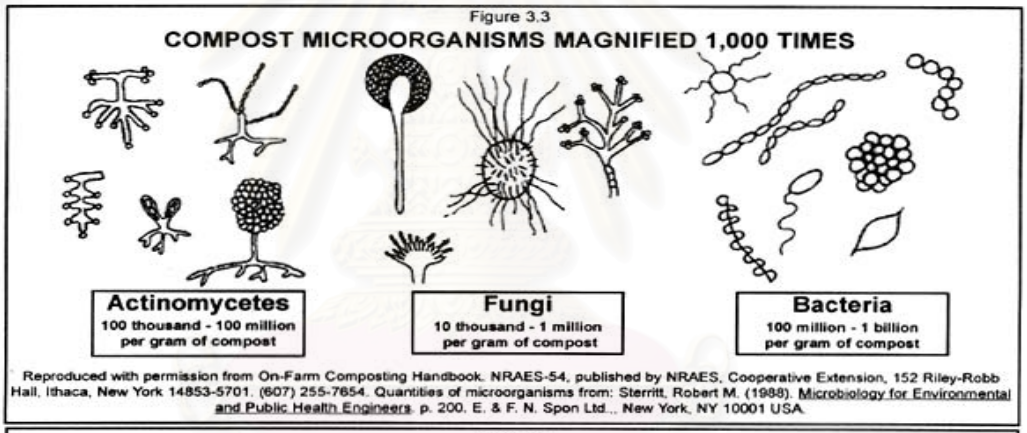


Table 3.6
MICROORGANISMS IN COMPOST

Actinomycetes	Fungi	Bacteria
Actinobifida chromogena	*Aspergillus fumigatus*	*Alcaligenes faecalis*
Microbispora bispora	*Humicola grisea*	*Bacillus brevis*
Micropolyspora faeni	*H. insolens*	*B. circulans* complex
Nocardia sp.	*H. lanuginosa*	*B. coagulans* type A
Pseudocardia thermophilia	*Malbranchea pulchella*	*B. coagulans* type B
Streptomyces rectus	*Myriococcum themophilum*	*B. licheniformis*
S. thermofuscus	*Paecilomyces variotti*	*B. megaterium*
S. thermoviolaceus	*Papulaspora thermophila*	*B. pumilus*
S. thermovulgaris	*Scytalidium thermophilim*	*B. sphaericus*
S. violaceus-ruber	*Sporotrichum thermophile*	*B. stearothermophilus*
Thermoactinomyces sacchari		*B. subtilis*
T. vulgaris		*Clostridium thermocellum*
Thermomonospora curvata		*Escherichia coli*
T. viridis		*Flavobacterium* sp.
		Pseudomonas sp.
		Serratia sp.
		Thermus sp.

Source: Palmisano, Anna C. and Barlaz, Morton A. (Eds.) (1996). Microbiology of Solid Waste. Pp. 125-127. CRC Press, Inc., 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, FL 33431 USA.

ภาพที่ 2.1 กลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

ที่มา : http://weblife.org/humanure/chapter3_10.html

2) การย่อยสลายขั้นสุดท้าย (Final rotting phase)

ในช่วงสุดท้ายของการหมักอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักลดลงจนอยู่ในช่วงเมโซฟิลิก จะพบจุลินทรีย์กลุ่มเชื้อราและแอคติโนมัยซิทที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส เป็นต้น (Beffa และคณะ, 1996) นอกจากนั้นอาจจะมีเชื้อราที่ชอบอุณหภูมิสูงบางชนิดสามารถทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 12-55 องศาเซลเซียส ยังคงทำงานร่วมกันได้ ในระหว่างกระบวนการหมักค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยในช่วงแรกของการหมักจะมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักย่อยสลายสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดกรดอินทรีย์ต่างๆ เมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นจะมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อสิ้นสุดการหมัก พบว่า ความเป็นกรดเป็นด่างจะอยู่ระหว่าง 7-9

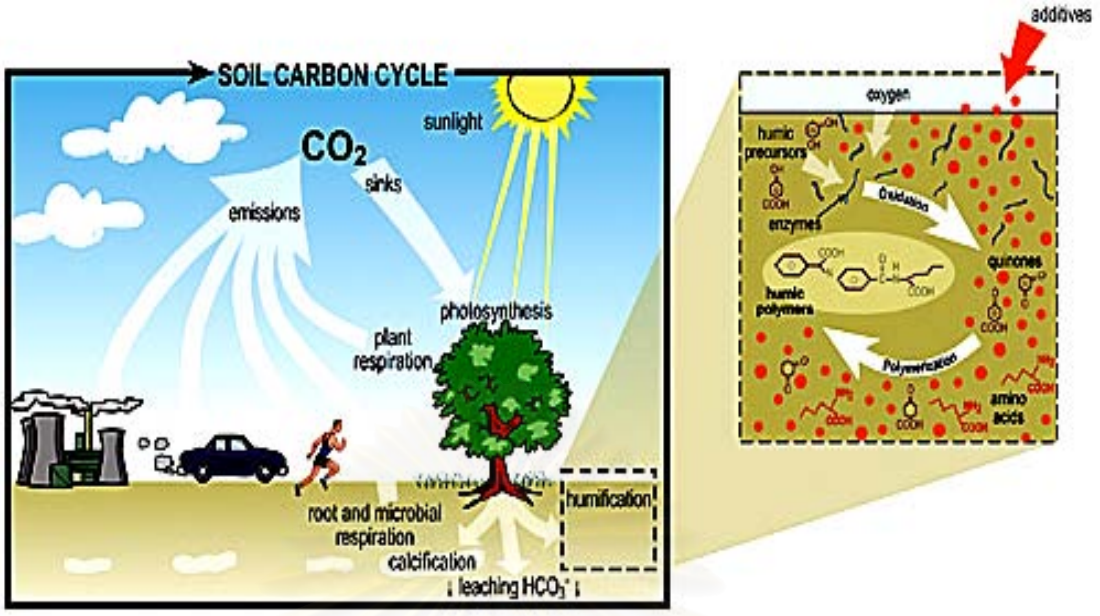
2.1.4.3 จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายและแปรสภาพเป็นแร่ธาตุ

สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ ดังนั้นปริมาณและคุณภาพของสารอินทรีย์จึงมีผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยตรง ในปุ๋ยหมักจะมีองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญโดยแบ่งตามการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ได้ 3 ประเภท ดังนี้

1) กลุ่มจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรียวัตถุ

กลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นพวก Heterotroph คือ กลุ่มที่ได้รับพลังงานและแหล่งคาร์บอนจากอินทรียวัตถุ การย่อยสลายวัตถุดิบหมักที่เป็นพืชซึ่งคาร์บอนส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส จุลินทรีย์จะสร้างน้ำย่อยหรือเอนไซม์และขับออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสารอาหารเหล่านี้ให้มีขนาดเล็กลงจนสามารถซึมผ่านเข้าไปและเกิดการย่อยสลายภายในเซลล์จะได้น้ำตาลกลูโคสที่มีขนาดเล็กลง รวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ แร่ธาตุต่างๆ และพลังงาน ซึ่งสารเหล่านี้จำเป็นต่อการสร้างเซลล์จุลินทรีย์และเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ดังสมการ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

$$\text{เศษซากสิ่งมีชีวิต} \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{แร่ธาตุ} + \text{เซลล์จุลินทรีย์} + \text{intermediate products} + \text{สารฮิวมิก}$$



ภาพที่ 2.2 วัฏจักรคาร์บอนและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดในดิน

ที่มา : www.pnl.gov/breakthroughs/issues/2004-issues/spring-summer/solutions_update.stm

2) กลุ่มจุลินทรีย์ที่แปรสภาพไนโตรเจน

สารอินทรีย์ไนโตรเจนในสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนหรือโปรตีน กรดอะมิโนอิสระ กรดอะมิโนพวกกลูโคซามีนและแกแลคโตซามีน รวมทั้งเบสของไพรีน (purine) และไพริมีดีน (pyrimidine) ซึ่งได้มาจากกรดนิวคลีอิก จุลินทรีย์ที่ย่อยสลาย ได้แก่ จุลินทรีย์ในสกุล *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Sterptomyces*, *Aspergillus*, *Nitrobacter* และ *Nitrosomonas* ซึ่งจะสร้างน้ำย่อยหรือเอนไซม์โปรทีเอส (protease) เพื่อย่อยสลายโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโน (amino acid) น้ำตาลไรโบส (ribose) และน้ำตาลดีออกซิไรโบส (deoxyribose) ซึ่งสารดังกล่าวนี้ส่วนหนึ่งจะเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเพิ่มจำนวนเซลล์ และอีกส่วนหนึ่งจะแปรสภาพต่อไปเป็นอนินทรียไนโตรเจนซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนเตรท (NO_3^-) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) นอกจากนี้สารประกอบอะมิโนจะสามารถรวมตัวกับสารควิโนน (ได้มาจากการย่อยสลายลิกนิน) กลายเป็นสารประกอบฮิวมัส ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ นอกจากนั้นยังมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมเสถียรภาพของโครงสร้างดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การแปรสภาพของไนโตรเจน (nitrogen transformation)ในดิน ส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางชีวเคมี (biochemical process) โดยเป็นกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นด้วยกระบวนการทางชีวภาพ มีดังนี้

2.1) Nitrogen fixation เป็นปฏิกิริยาของกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจน (N_2)ในอากาศได้ และเปลี่ยนจากไนโตรเจนมาอยู่ในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+) ปฏิกิริยา ดังนี้

$$N_2 \xrightarrow[\text{(bacteria)}]{\text{Microorganisms}} NH_4^+$$

2.2) Aminization เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารประกอบโปรตีน (protein and proteinaceous compound) โดยจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพของโปรตีนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจนพวก amino compound ชนิดต่างๆ ปฏิกิริยาดังนี้

$$\text{Protein} \xrightarrow[\text{digestion}]{\text{Enzymatic}} \text{R-}NH_2 + CO_2 + \text{energy} + \text{other product}$$

2.3) Ammonification or Mineralization เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ (organic nitrogen) ให้เป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) กระบวนการนี้เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ ปฏิกิริยา ดังนี้

$$\text{R-}NH_2 \xrightarrow[\text{hydrolysis}]{\text{Enzymatic}} \text{R-OH} + NH_3 + \text{energy}$$

$$2NH_3 + H_2CO_3 \longrightarrow (NH_4)_2CO_3 \longleftrightarrow 2NH_4^+ + CO_3^{2-}$$

2.4) Nitrification เป็นกระบวนการ enzymatic oxidation เกิดขึ้นโดยแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนพวก nitrifying bacteria กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นสองขั้น คือ ขั้นแรกเป็นการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนีย (NH_3) หรือแอมโมเนียม (NH_4^+) ถูกออกซิไดส์ให้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) โดยแบคทีเรียพวก *Nitrosomonas* และ *Nitrosococcus* และขั้นที่สองไนไตรท์ (NO_2^-) ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นไนเตรท (NO_3^-) โดยจุลินทรีย์พวก *Nitrobacter* ปฏิกิริยา ดังนี้

$$NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{\text{Enzymatic}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{energy}$$

$$2NO_2^- + 3O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{\text{Enzymatic}} 2NO_3^- + \text{energy}$$

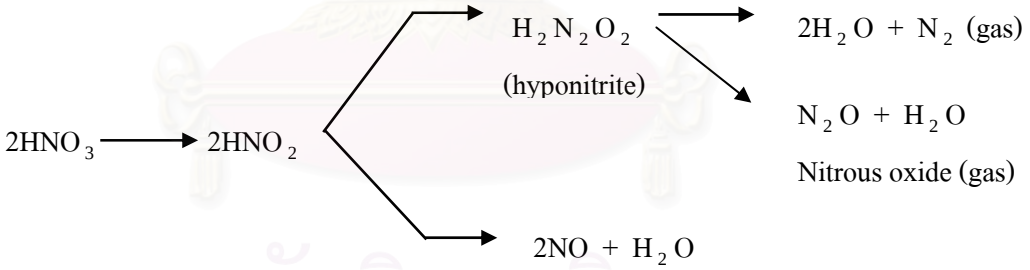
2.5) Assimilation เป็นกระบวนการนำแร่ธาตุไปใช้ของพืช ซึ่งนำไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรท (NO_3^-) จะเข้าทางรากพืช จึงถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงจากไนเตรทให้ไปอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ($R\text{-}NH_2$) ดังไดอะแกรม ดังนี้

$$NO_3^- \longrightarrow R\text{-}NH_2$$

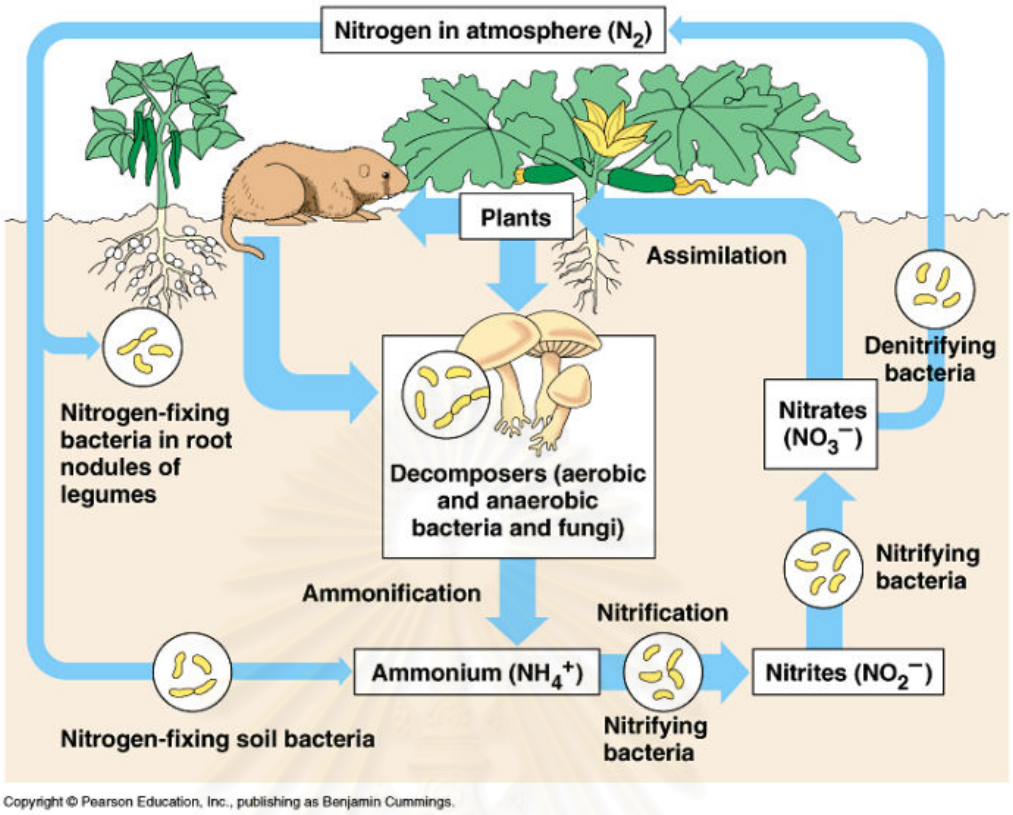
2.6) Immobilization เป็นกระบวนการการนำไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) ไปใช้ของพืช ซึ่งจะแปรสภาพเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน ($R\text{-}NH_2$) ปฏิกิริยา ดังนี้

$$NH_4^+ \longrightarrow R\text{-}NH_2$$

2.7) Denitrification เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรท (NO_3^-) ไปเป็นไนโตรเจน (N_2) ในอากาศ โดยจุลินทรีย์กลุ่ม denitrifying bacteria สารประกอบไนไตรท์ (NO_2^-) หรือไนเตรท (NO_3^-) จะถูกรีดิวส์ให้เปลี่ยนเป็นก๊าซที่ประกอบด้วยไนโตรเจนชนิดต่างๆ ซึ่งจะสูญเสียออกไปจากดิน เช่น ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นต้น ทั้งนี้ชนิดของก๊าซขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อม ปฏิกิริยา ดังนี้ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.3 วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen cycle)

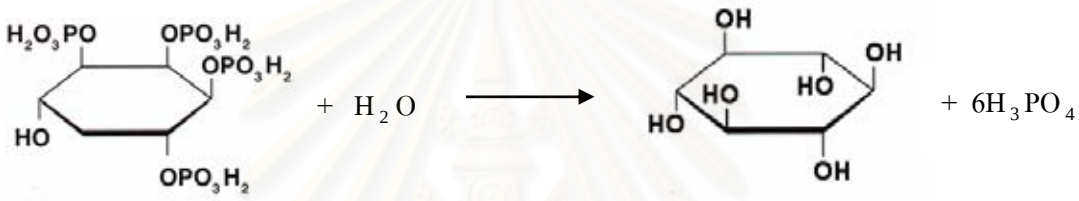
ที่มา : http://staffwww.fullcoll.edu/tmorris/elements_of_ecology/chapter_22.htm

3) กลุ่มจุลินทรีย์ที่แปรสภาพฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในสารอินทรีย์อยู่ในรูปของพวกออร์โทฟอสเฟต (orthophosphate) หรือพวกที่แปลงมาจากกรดออร์โทฟอสฟอริค (H_3PO_4) อินทรีย์ฟอสเฟตมี 3 ประเภท คือ สารที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เช่น nucleic acid เป็นต้น พวกที่สอง คือ สารที่เป็นแหล่งสะสมของฟอตเฟตไว้ให้พืชนำไปใช้ เช่น ไพติน (phytin) และฟอสฟอไลปิด (phospholipids) เป็นต้น และอินทรีย์ฟอสเฟตประเภทสุดท้าย คือ สารประกอบพวกอินเทอร์มิดิเอท เมตาบอลิท (intermediate metabolite) เช่น ฟอสโฟลิเลท (phosphorylated) และน้ำตาลชนิดต่างๆ เป็นต้น โดยทั่วไปฟอสฟอรัสในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้นั้นจะอยู่ในรูปของโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (monohydrogen phosphate ($H_2PO_4^-$)) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (dihydrogen phosphate (HPO_4^{2-})) ซึ่งเป็นอนินทรีย์ฟอสเฟต

ในกระบวนการหมักปุ๋ยสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตอยู่ในพวกไพตินและฟอสโฟไลปิด ซึ่งไม่เป็นประโยชน์กับพืช ดังนั้นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายจะสร้างน้ำย่อยไพเตส (phytase) หรือฟอสฟาเตส (phosphatase) เพื่อย่อยสลายและแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส กระบวนการแปรสภาพของอินทรีย์ฟอสเฟตให้เป็นอนินทรีย์

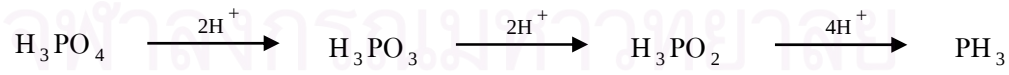
ฟอสเฟต เรียกว่า mineralization of organic phosphorus เป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์พวก heterotrophic (สมศักดิ์ วังใน, 2528) จะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียสขึ้นไป โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์พวกเทอร์โมฟิลิก โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงจะเกิดเร็วกว่าในช่วงเมโซฟิลิกและอัตราการแปรสภาพจะสูงขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น ในการแปรสภาพของอินทรีย์ฟอสเฟตนั้นสารประกอบพวกกรดนิวคลีอิกจะแปรสภาพได้ง่ายที่สุด ในขณะที่สารประกอบไพตินจะแปรรูปได้ยากที่สุด ซึ่งจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไพตินประกอบด้วย *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Cunninghamella*, *Arthrobacter* และ *Bacillus* เมื่อย่อยสลายแล้วจะได้สารพวกอินโนซิทอล (inositol) และฟอสเฟต ดังนี้ (สมศักดิ์ หวังใน, 2528)



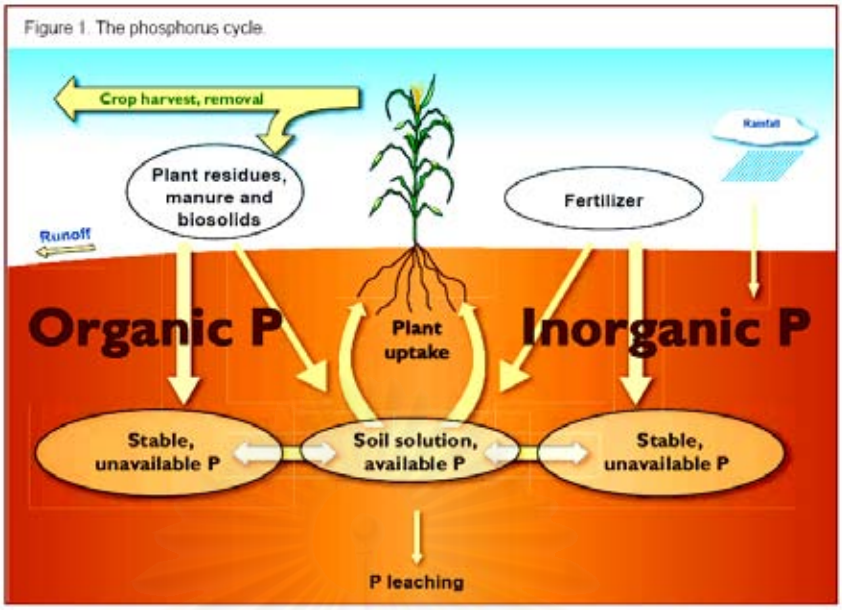
$(C_6H_{18}O_{24}P_6)$ Phytin acid

$(C_6H_{12}O_6)$ Inositol

เมื่อได้ฟอสเฟตแล้วก็จะเกิดกระบวนการออกซิเดชั่นและรีดักชันของสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟต (oxidation and reduction of inorganic phosphate) กระบวนการนี้เกิดขึ้นเพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สามารถเปลี่ยน oxidation state ได้ตั้งแต่ -3 ถึง +5 การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งบางชนิดก็เพิ่มออกซิเจนให้แก่ phosphate (HPO_3^{-2}) เป็น phosphate (HPO_4^{-2}) ส่วนบางชนิดก็จะลดออกซิเจนในฟอสเฟต แสดงการเปลี่ยนแปลง ดังนี้ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)



+5 phosphate | +3 phosphite | +1 hypophosphite | -3 phosphine



ภาพที่ 2.4 วัฏจักรฟอสฟอรัส (Phosphorus cycle)

ที่มา : http://ipcm.wisc.edu/Publications/tabid/54/grm2id/83/Default.aspx

2.1.5 หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้วสังเกตได้ดังนี้

1) สีของวัตถุดิบหมัก ลักษณะเนื้อของปุ๋ยหมักจะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ โดยปกติเมื่อใช้เศษพืชในการทำปุ๋ยหมักจะเห็นความแตกต่างของสีอย่างชัดเจน

2) ลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้หมัก ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์พร้อมนำไปใช้กับพืชจะมีลักษณะอ่อน นุ่ม ยุ่ย และขาดจากกันได้ง่าย ไม่แข็งกระด้างเหมือนวัตถุดิบเริ่มแรกในการหมัก

3) กลิ่นของปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์ จะไม่มีกลิ่นเหม็น ในกรณีที่มีกลิ่นเหม็นเน่าหรือเหม็นฉุน แสดงว่า กระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยยังไม่เสร็จสมบูรณ์

4) ความร้อนในกองปุ๋ยหมัก เมื่อทำการหมักได้ประมาณ 2-3 วัน อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว มีค่าอยู่ในช่วง 50-60 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิจะสูงอยู่ระยะหนึ่ง หลังจากนั้นจึงค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ย และอุณหภูมิจะไม่เพิ่มสูงขึ้นอีก จึงถือว่าเป็นปุ๋ยหมักย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ แต่ควรพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบด้วยเพราะเป็นกรณีที่มีความชื้นน้อยหรือมากเกินไปอาจจะทำให้ระดับอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักลดลงได้เช่นกัน

5) ลักษณะพืชที่เจริญบนกองปุ๋ยหมัก เมื่อปุ๋ยหมักย่อยสลายเกือบเสร็จสมบูรณ์บางครั้งอาจมีพืชเจริญบนกองปุ๋ยหมักได้ นั่นแสดงว่า ปุ๋ยหมักนั้นสามารถนำไปใส่ในดินโดยไม่เป็นอันตรายต่อพืช

2.2 การงอกของเมล็ด (Seed germination)

2.2.1 ความหมายของการงอกของเมล็ด

การงอกของเมล็ด (Seed germination) หมายถึง การงอกและพัฒนาการของต้นอ่อน จนถึงขั้นที่โครงสร้างที่สำคัญของส่วนต่างๆ ของต้นอ่อนสามารถบ่งชี้ได้ว่าจะสามารถเจริญเติบโตต่อไปเป็นต้นพืชที่ปกติ ภายใต้สภาพแวดล้อมในดินที่เหมาะสม นักสรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์ได้ให้ความหมายว่า เมื่อใดก็ตามที่เห็นรากโผล่ออกมา แสดงว่าเมล็ดพันธุ์งอก ส่วนนักวิทยาศาสตร์ทางด้านเมล็ดพันธุ์และนักวิชาการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการปลูกพืชกล่าวว่า การงอกของเมล็ดพันธุ์หมายถึง เริ่มตั้งแต่เมล็ดพันธุ์มีกระบวนการต่างเกิดขึ้นในเมล็ดที่กำลังอยู่ในระยะพัก จนถึงระยะที่ต้นอ่อนเจริญเติบโต และพัฒนาไปเป็นต้นกล้าที่แข็งแรง

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์ มี 3 ปัจจัยคือ น้ำ ออกซิเจน และอุณหภูมิ เมื่อเมล็ดพันธุ์ได้รับปัจจัยดังกล่าวที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการ เมล็ดพันธุ์จะสามารถงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นพืชที่แข็งแรงได้ ความสำคัญของแต่ละปัจจัยมีดังนี้

1) น้ำหรือความชื้น (Moisture) น้ำเป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรกสำหรับการงอกของเมล็ด เนื่องจากเมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่พร้อมเก็บเกี่ยวภายในจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบน้อยมาก ดังนั้นเมล็ดที่จะงอกต้องอาศัยน้ำและต้องมีความชื้นสูงประมาณ 30-60% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของเมล็ด น้ำเป็นปัจจัยที่จะกระตุ้นให้เมล็ดตื่นตัว กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเคมีและกระบวนการเมทาบอลิซึมภายในเมล็ด โดยเมล็ดจะดูดน้ำเข้าไปทำให้เปลือกอ่อนนุ่ม เมล็ดพองโตขึ้น เกิดการขยายตัวของผนังเซลล์และโปรโทพลาสซึม ทำให้เปลือกของเมล็ดอ่อนนุ่มหรืออาจจะแตก จึงทำให้รากแทงผ่านเปลือกได้สะดวกมากขึ้น

2) ออกซิเจน (Oxygen) ออกซิเจนมีความสำคัญต่อกระบวนการหายใจของเมล็ดพันธุ์ที่กำลังงอก เนื่องจากเมล็ดที่กำลังงอกต้องการพลังงาน ซึ่งจะที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชั่นที่ใช้ออกซิเจน คือ กระบวนการหายใจ ซึ่งเมล็ดที่กำลังงอกจะมีอัตราการหายใจสูง เมื่อเทียบกับการหายใจในช่วงอื่นๆ เพราะมีกิจกรรมการสลายและเผาผลาญอาหารที่เก็บสะสมไว้ภายในเมล็ด โดยทั่วไปเมล็ดจะงอกในสภาพบรรยากาศปกติที่มีออกซิเจนประมาณ 20% และคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.03% แต่มีเมล็ดพันธุ์หลายชนิดที่งอกได้ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำกว่าปกติ เช่น พืชที่งอกได้ในน้ำ เป็นต้น

3) อุณหภูมิ (Temperature) มีความสำคัญมากต่อการควบคุมและอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เมล็ดแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและถิ่นกำเนิดของพืช นอกจากนั้นยังมีระดับอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่เมล็ดจะสามารถงอกได้แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เมล็ดพันธุ์พืชยังมีการปรับตัวต่อช่วงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในรอบวัน คือ ถ้าอุณหภูมิกลางคืนและกลางวันมีความแตกต่างกันมาก เมล็ดจะงอกได้ดีกว่าการได้รับอุณหภูมิที่สม่ำเสมอตลอดเวลา เช่น หญ้า blue grass จะงอกได้ดีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 16 ชั่วโมง เป็นต้น จากความต้องการอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แสดงว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการงอก ซึ่งสามารถแบ่งระดับอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดได้ 3 ระดับ คือ

3.1) อุณหภูมิต่ำ (minimum temperature) เป็นระดับอุณหภูมิเมื่อเมล็ดได้รับอุณหภูมิต่ำกว่านี้แล้ว จะมีผลทำให้การงอกไม่เกิดขึ้นแต่ก็จะไม่เป็นอันตรายต่อเมล็ด ซึ่งเมล็ดก็ยังสามารถงอกได้ที่อุณหภูมินี้แต่ใช้เวลาในการงอกนานขึ้น

3.2) อุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) เป็นระดับอุณหภูมิที่มีอัตราการงอกของเมล็ดเกิดขึ้นมากที่สุดในระยะเวลาสั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมของพืชต่างชนิดจะแตกต่างกัน โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 15-35 องศาเซลเซียส

3.3) อุณหภูมิสูงสุด (maximum temperature) เป็นระดับอุณหภูมิที่หากเมล็ดได้รับอุณหภูมิสูงกว่านี้แล้วจะไม่เกิดการงอก และอาจส่งผลทำให้เมล็ดตายได้ โดยทั่วไปอุณหภูมิสูงสุดที่เมล็ดสามารถงอกได้นั้นไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส เมล็ดที่มีองค์ประกอบทางเคมีพวกไขมันจะมีอุณหภูมิสูงสุดในการงอกต่ำกว่าเมล็ดที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ

4) แสง เมล็ดที่ต้องการแสงเป็นปัจจัยในการงอก เช่น ผักกาดเขียว ผักกาดหอม พริก มะเขือเทศ และยาสูบ เป็นต้น ส่วนใหญ่คุณสมบัติของแสงที่เกี่ยวข้องกับการงอกนั้นมีทั้งความเข้มและความยาวของคลื่นแสง โดยทั่วไป ความเข้มแสงสำหรับการงอกอยู่ในช่วง 0.08-5 ลักซ์ แสงในช่วง visible light ที่ความยาวของแสงกระตุ้นการงอกเป็นช่วงตั้งแต่ 660-700 นาโนเมตร ซึ่งก็คือแสงสีแดงที่จะมีผลต่อการงอกของเมล็ดมากที่สุด ช่วงที่กระตุ้นการงอกมากที่สุด คือ 670 นาโนเมตร และความยาวของช่วงแสงที่มากกว่า 700 และสั้นกว่า 290 นาโนเมตร จะมีผลในการยับยั้งการงอกของเมล็ด ในขณะเดียวกันแสงสีน้ำเงินมักจะไม่มีผลต่อการงอกของเมล็ด นอกจากนี้ การตอบสนองของแสงต่อการงอกของเมล็ดยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาการดูดน้ำของเมล็ด ในเมล็ดที่แห้งหรือมีความชื้นต่ำ จะไม่สามารถใช้แสงกระตุ้นให้งอกได้ ซึ่งเมล็ดที่มีความชื้นสูงจะตอบสนองต่อการกระตุ้นของแสงได้ดีกว่าเมล็ดที่มีความชื้นต่ำ แสงจะมีลักษณะที่แตกต่างจากปัจจัยที่ใช้ในการงอกอื่น คือ ความต้องการแสงต่อการงอกสามารถทดแทนได้ด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulator) เช่น จิบเบอเรลลิน (gibberellin) เป็นต้น

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการงอกของเมล็ด

เมื่อเมล็ดได้รับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการงอก เมล็ดจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1) เมล็ดพองโต โดยทั่วไปในเมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่จะแข็ง เนื่องจากภายในเมล็ดมีความชื้นต่ำมาก เมื่อได้รับน้ำเข้าไปโดยผ่านช่องเปิดธรรมชาติที่มีอยู่ เช่น ไฮลัม (hilum) หรือบาดแผลที่เกิดขึ้นที่บริเวณเปลือกเมล็ด เป็นต้น จะทำให้เมล็ดขยายขนาดใหญ่ขึ้น และเปลือกเมล็ดมีลักษณะอ่อนนุ่ม

2) การเจริญของราก ส่วนแรกที่จะเจริญออกมาจากเมล็ดพันธุ์ คือ รากแรกเกิด (radicle) ด้วยบทบาทของน้ำที่ทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม จึงทำให้รากแรกเกิดงอกได้สะดวกมากขึ้น รากแรกเกิดเมื่อเจริญจะพัฒนาต่อไปเป็นรากแก้ว เรียกว่า primary root และเพื่อความอยู่รอด เมล็ดจะงอกส่วนรากออกมาก่อนเพื่อค้ำจุนต้นกล้า ดูดน้ำและแร่ธาตุอาหารส่งไปยังใบเลี้ยงและยอดอ่อนสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตของต้นกล้าต่อไป

3) การเจริญในส่วนของใบเลี้ยงและยอดอ่อน เมล็ดจะงอกส่วนที่เรียกว่า ลำต้นเหนือใบเลี้ยง (epicotyl) และลำต้นใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) ออกมา หลังจากนั้น ใบเลี้ยงจะค่อยๆ เจริญออกมาและสลัดส่วนของเปลือกเมล็ดทิ้งไป พืชใบเลี้ยงคู่มีใบเลี้ยงสองใบเมื่อโผล่ขึ้นมาเหนือดิน ซึ่งเป็นส่วนแรกที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงในต้นกล้า ส่วนพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีใบเลี้ยงเพียงใบเดียว ส่วนใหญ่ใบเลี้ยงจะตกค้างอยู่ภายในเมล็ด ทำหน้าที่ดูดอาหารจากเอนโดสเปิร์มส่งไปเลี้ยงต้นอ่อนที่กำลังงอก ส่วนของลำต้นเหนือใบเลี้ยงและลำต้นใต้ใบเลี้ยง ในพืชใบเลี้ยงคู่จะเห็นได้ชัดเจนกว่าในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิดจะมีลำต้นเหนือใบเลี้ยงที่มีลักษณะยาวเป็นพิเศษ เรียกว่า ปล้องแรก (mesocotyl)

2.2.4 การทดสอบการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักด้วยการงอกของเมล็ด

อัตราและดัชนีการงอกของเมล็ดสามารถใช้ในการประเมินค่าความเป็นพิษ (phytotoxicity) ของปุ๋ยหมักได้ เพราะความเป็นพิษเป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดจากการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปุ๋ยหมักในปัจจุบันได้มีการนำวิธีการทดสอบการงอกของเมล็ดมาใช้ในการทดสอบการย่อยสลายสมบูรณ์ เนื่องจากปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้วจะช่วยให้การงอกของเมล็ดดีขึ้น เพราะมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ในการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ด ในทางตรงกันข้ามการงอกของเมล็ดจะไม่เกิดขึ้นหรือเมื่องอกแล้วมีอัตราการเจริญเติบโตน้อยเมื่อเทียบกับการงอกโดยใช้น้ำ แสดงว่า ปุ๋ยหมักยังย่อยสลายไม่เสร็จสมบูรณ์ จึงมีสารที่เป็นพิษ

ต่อการงอกของเมล็ด ตัวอย่างงานวิจัยที่ทดสอบการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักด้วยวิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด มีดังนี้

Tiquia และ Tam (2000) ทดสอบการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักที่ใช้วัตถุดิบที่ผสมกันของมูลสุกรกับขี้เลื่อยที่ถูกย่อยสลายแล้วกับกากตะกอนจากระบบบำบัดในฟาร์มสุกรด้วยวิธีการเติมอากาศ (aerobic composting) ซึ่งทดสอบโดยใช้ดัชนีการงอกของเมล็ดพืช 2 ชนิด คือ ผักกาดขาว (Chinese cabbage) และผักโขมจีน (Chinese spinach) พบว่า ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืชทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักจนเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าระหว่าง 80%-98% และเมื่อนำมาวิเคราะห์กับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ พบว่ามีแนวโน้มในทางเดียวกัน คือ ปุ๋ยหมักนั้นย่อยสลายสมบูรณ์สามารถนำไปใช้ได้

Huang และคณะ (2004) ศึกษาความแตกต่างของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่มีผลต่อกระบวนการทำปุ๋ยหมักที่ผสมกันระหว่างมูลสุกรและขี้เลื่อย โดยค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น แบ่งออกเป็น 2 ค่า คือ 30:1 และ 15:1 แล้วทดสอบการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักด้วยวิธีทดสอบการหาค่าดัชนีการงอกของเมล็ดผักสลัด (Cress, *Lepidium sativum* L.) พบว่า เมื่อสิ้นสุดการหมัก 63 วัน ดัชนีการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมักที่ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30:1 และ 15:1 มีค่าเท่ากับ 85% และ 46% ตามลำดับ ดัชนีการงอกของเมล็ดที่มีค่า 50-70% บ่งบอกได้ว่าความเป็นพิษและการย่อยสลายสมบูรณ์ไม่อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งในระยะเวลา 63 วัน สามารถนำปุ๋ยหมักที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 30:1 มาใช้ได้ แต่สำหรับการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 15 ต้องเพิ่มระยะเวลาในการหมักให้นานกว่า 63 วัน

Said-Pullicino, Erriquens และ Gigliotti (2006) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีในน้ำสกัด (water-extractable) ของอินทรียวัตถุในระหว่างกระบวนการหมักและผลที่เกิดขึ้นจากความเสถียรและการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยวัตถุดิบที่ใช้ คือ ขยะของแข็งจากชุมชน (municipal solid waste) อาหารตามฟาร์มปศุสัตว์ (yard trimming) และส่วนที่เหลือจากของอุตสาหกรรมใบยาสูบ (foliage residues) ด้วยสัดส่วน 55%, 15% และ 30% โดยน้ำหนักตามลำดับ การย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักนั้น ใช้การทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด เมล็ดที่ใช้คือ เมล็ดผักสลัด (Cress, *Lepidium sativum* L.) พบว่า ในวันที่ 250 ของการหมักมีค่าดัชนีการงอกของเมล็ดมีค่าเฉลี่ยเพียง 74.7% แสดงให้เห็นว่า ผลของดัชนีการงอกของเมล็ดสามารถบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงของความเป็นพิษ (phytotoxicity) ของปุ๋ยหมักในระหว่างการหมักได้

Ko และคณะ (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมัก โดยวัตถุดิบหมักที่ใช้ คือ มูลสัตว์ที่สะสมอยู่ในฟาร์มปศุสัตว์ทุกวัน 50% มูลวัวเนื้อ 30% และมูลสุกร 20% ผสมกับขี้เลื่อย นอกจากนั้นยังศึกษาผลของการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักที่มีต่ออัตราการงอกและดัชนีการงอกของเมล็ด (%Germination rate and %Germination index) โดยใช้เมล็ดของแรดิช (Radish, *Raphanus sativus* L.) ในการทดสอบ พบว่า ในระหว่างการหมักอัตราและดัชนีการงอกของเมล็ดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมักปุ๋ย เมื่อสิ้นสุดการหมักอัตราการงอกของเมล็ดมีค่ามากกว่า 90% และดัชนีการงอกของเมล็ดมีค่ามากกว่า 100% (121-125%) ซึ่งทั้งสองพารามิเตอร์นี้สามารถนำมาใช้บ่งบอกการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักได้

2.3 แหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมัก

การเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสองประการ คือ ด้านปริมาณและความเป็นประโยชน์ของอาหาร และด้านสภาพแวดล้อม โดยปกติปัจจัยด้านอาหารเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุด เพราะกำหนดปริมาณและกิจกรรมส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์นั้นมีหลายหน้าที่ เช่น ให้สารอาหารที่จำเป็นในการสร้างเซลล์ และให้พลังงานซึ่งจำเป็นต่อการเจริญของเซลล์และเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron accept) เป็นต้น (สมศักดิ์ หวังใน, 2528)

โดยทั่วไปสารอินทรีย์จะประกอบด้วยธาตุหลัก 2 ชนิด คือ คาร์บอนและไนโตรเจน ซึ่งธาตุทั้ง 2 ชนิดนี้มีความสัมพันธ์กันในวัตถุดิบแต่ละชนิด เรียกว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน อันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายจำเป็นต้องใช้แหล่งคาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและใช้ไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ โดยทั่วไปในวัตถุดิบที่เป็นสารอินทรีย์จะมีปริมาณคาร์บอนมากกว่าไนโตรเจน อย่างไรก็ตาม ปริมาณไนโตรเจนที่มีนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัตถุดิบและชนิดของจุลินทรีย์ที่มีหน้าที่ในการย่อยสลาย การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต้องใช้คาร์บอนในปริมาณที่มากกว่าไนโตรเจน แต่ไนโตรเจนก็เป็นแร่ธาตุที่สำคัญในการสร้างเซลล์และขยายพันธุ์

ในการทำปุ๋ยหมักนั้นจะมีการเติมแหล่งไนโตรเจนเข้าไปในกองปุ๋ยหมัก เพื่อให้จุลินทรีย์มีไนโตรเจนในการสร้างเซลล์และการขยายพันธุ์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายได้มากและรวดเร็วขึ้น ดังนั้นวัตถุดิบที่นำมาทำปุ๋ยหมักจึงต้องมีความเหมาะสมกับการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ในการจำแนกแหล่งอาหารภายในกองปุ๋ยหมักโดยใช้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบหมักเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.3.1 แหล่งคาร์บอน (Carbon sources)

คาร์บอนเป็นธาตุอาหารหลักของจุลินทรีย์ที่ต้องการในปริมาณสูง เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในการเจริญเติบโต ในการทำปุ๋ยหมักวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนจะมีปริมาณคาร์บอนสูง ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล แห้ง และมีขนาดใหญ่ ซึ่งมักจะเป็นของเหลือทิ้งพวกพืชที่มีแหล่งกำเนิดมาจากทั้งภาคเกษตร ภาคอุตสาหกรรม ของเสียในรูปของแข็งจากชุมชน รวมทั้งวัชพืชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวัตถุดิบที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก (Dickson และคณะ, 1991 อ้างถึงใน Vogel., 2007)

วัตถุดิบ	C:N ratio (by weight)
วัตถุดิบที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง (Materials with high nitrogen values)	
ของเสียจากผักสด (Vegetable wastes)	12-20:1
กากกาแฟ (Coffee grounds)	20:1
เศษหญ้า (Grass clippings)	12-25:1
มูลวัว (Cow manure)	20:1
มูลม้า (Horse manure)	25:1
มูลสัตว์ปีก (Poultry manure (fresh))	10:1
มูลสุกร (Pig manure)	5-7:1
วัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอนสูง (Materials with high carbon values)	
ใบไม้ (Foliage (leaves))	30-80:1
เศษซังข้าวโพด (Corn stalks)	60-70:1
ฟางข้าว (Straw)	40-100:1
เปลือกไม้ (Bark)	100-130:1
กระดาษ (Paper)	150 - 200 :1
เศษไม้และขี้เลื่อย (Wood chips and sawdust)	100-500:1

2.3.2 แหล่งไนโตรเจน (Nitrogen sources)

ไนโตรเจนเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นของจุลินทรีย์ เพราะเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนโปรตีน และกรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นแหล่งสร้างองค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์ โดยแหล่งไนโตรเจนจะเป็นวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นในกองปุ๋ยหมัก ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการใส่วัตถุดิบที่เป็นสารอินทรีย์ในการเติมไนโตรเจนเท่านั้น จะไม่กล่าวถึงการเติมเชื้อจุลินทรีย์หรือการเติมปุ๋ยเคมีในกองปุ๋ยหมัก สำหรับวัตถุดิบที่เป็นแหล่งไนโตรเจนสูงในพืชส่วนใหญ่จะมีความสดหรือยังคงมีสีเขียวอยู่ เช่น เศษหญ้าที่เพิ่งตัดใหม่ ใบไม้สด และกากกาแฟ เป็นต้น นอกจากนั้นยังพบมากในมูลสัตว์ ไม่ว่าจะเป็นมูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง มูลสัตว์ปีก หรือมูลสุกร

การจัดจำแนกวัตถุดิบว่าเป็นแหล่งคาร์บอนหรือไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักนั้นเกิดจากการเปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบแต่ละชนิด โดยถ้าวัตถุดิบชนิดใดมีความสามารถในการให้ไนโตรเจนได้มากกว่าวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งก็จะจัดวัตถุดิบชนิดนั้นเป็นแหล่งไนโตรเจนภายในกองปุ๋ยหมัก เช่น ในการหมักปุ๋ยที่ใช้ใบไม้แห้งกับผักตบชวาเป็นวัตถุดิบหมัก เมื่อทำการเติมมูลไก่ลงไป มูลไก่นี้ก็จะทำหน้าที่เป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก เป็นต้น สำหรับการหมักปุ๋ยในปัจจุบันที่นิยมเติมสารเคมีหรือวัตถุดิบในการเพิ่มปริมาณไนโตรเจน พร้อมทั้งปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมัก เพื่อให้ใช้เวลาในการหมักน้อยที่สุด รวมทั้งการเติมวัตถุดิบอินทรีย์ลงไปนั้นยังเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้กับปุ๋ยหมัก

2.4 วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

2.4.1 จามจุรี (Raintree)

จามจุรี ชื่อสามัญเรียกว่า rain tree, monkey pod และ saman ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Samanea saman* (Jacquin) Merrill อยู่ในวงศ์ Leguminosae-Minosoideae และมีชื่อเรียกพื้นเมือง คือ ก้ามกราม ก้ามกุ้ง ก้ามปู ฉำฉา ลัง สารสา สำสา และตุ๊ดตู่

2.4.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

จามจุรีเป็นพันธุ์ไม้ต่างถิ่นนำเข้ามาจากประเทศในแถบอเมริกาใต้เขตร้อนและมีการปลูกกระจายทั่วไปทั้งในประเทศไทยและเกือบทั่วโลกในเขตร้อน จึงจัดว่าจามจุรีเป็นไม้ในเขตร้อน (tropical) ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความเป็นกรดอ่อนจนถึงเป็นกลาง คือ อยู่ในช่วง 6.0-7.4 แต่ในบางรายงานกล่าวว่า ต้นจามจุรีมีความทนทานและสามารถเจริญเติบโตได้

ถึงช่วงความเป็นด่างที่ 8.5 และความเป็นกรดได้ถึง 4.7 (Staples และ Elevitch, 2006) สภาพอากาศที่อุณหภูมิ 20-35 องศาเซลเซียส สภาพแวดล้อมที่มีแสงและในดินที่ไม่ค่อยอุดมสมบูรณ์

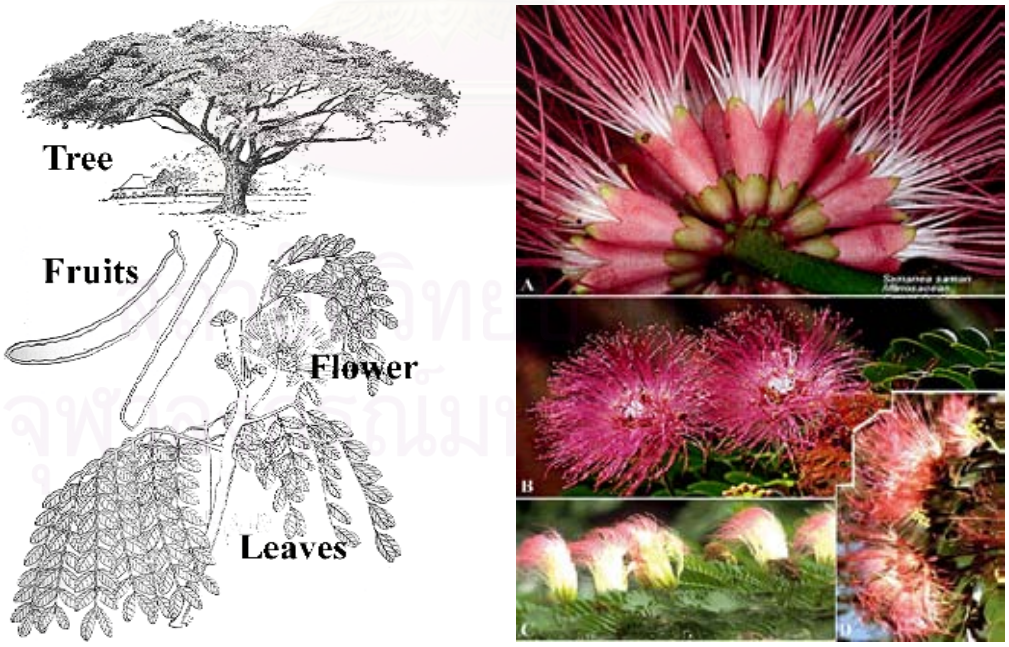
ส่วนประกอบของต้นจามจุรี มีดังนี้

1) ลำต้นและกิ่งก้าน จามจุรีเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางจนถึงใหญ่ มีความสูงประมาณ 15-25 เมตร เป็นไม้ใหญ่มีกิ่งก้านสาขาแตกออกเป็นทรงพุ่มกว้างเป็นรูปครึ่งวงกลม (umbrella-shaped crown) ซึ่งอาจมีความกว้างได้ถึง 30 เมตร เป็นไม้ผลัดใบ เปลือกต้นสีน้ำตาลดำเป็นเกล็ดโตแข็งขรุขระแตกเป็นร่องยาว ระหว่างร่องเปลือกมีลักษณะคล้ายไม้ก๊อก เปลือกในเป็นสีชมพูหรือน้ำตาลอ่อน

2) ใบ ลักษณะใบเป็นใบประกอบแบบขนนก (pinnate leaves) สองชั้นเรียงสลับ มีใบย่อยชั้นที่หนึ่ง 2-5 คู่ เรียงตรงข้ามกัน ใบย่อยชั้นที่สองใบเป็นรูปไข่ถึงรูปรี (diamond-shaped) ขอบใบเรียบ หลังใบเกลี้ยง ลักษณะพิเศษของใบ คือ สามารถตอบสนองกับแสงหรือมีความไวต่อแสงสูง ใบจะเปิดออกเมื่อมีแสงและใบจะปิดเมื่อไม่มีแสงหรือมืดมัว

3) ดอก ดอกเป็นช่อกระจุกแน่น ออกตามใบที่อยู่ใกล้ปลายกิ่ง กลีบดอกเป็นหลอดปลายแยก 5 แฉกที่โคนดอกสีขาวปลายสีชมพูอ่อน

4) ผลหรือฝัก มีผลเป็นฝักแบนยาวฝักอ่อนสีเขียว ฝักแก่สีน้ำตาล เนื้อในนิ่มสีดำรสหวาน เมล็ดสีน้ำตาลเข้ม



ภาพที่ 2.5 ลักษณะและส่วนประกอบของต้นจามจุรี

ที่มา : www.maryland.com.sg/yellow_rain_tree.htm

2.4.1.2 การนำใบจามจุรีมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมัก

จามจุรีเป็นต้นไม้ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ (National Academy of Science, 1979) โดยมีความเกี่ยวข้องกับแบคทีเรียสกุล rhizobia bacteria (*Bradyrhizobium*) (Staples และ Elevitch, 2006) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในปุ่มเล็กๆ บริเวณราก โดยสารเคมีที่สร้างขึ้นนี้ ทำให้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของก๊าซแปรสภาพไปเป็นสารประกอบที่เป็นประโยชน์กับพืช และพืชสามารถดูดดึงและนำไปใช้ได้ สรุปได้ว่า พืชจำพวกที่มีฝักสามารถเจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (United States. National Research Council. Board on Science and Technology for International Development., 1979) นอกจากนั้นยังพบจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ราก คือ nematodes, *Meloidogyne* sp. และที่ใบพบ *Microstroma pithecolobii.* (Duke, 1983) ในส่วนของใบและกิ่งอ่อนจะมีปริมาณของโปรตีนสูงประมาณ 24-30% และผลหรือฝักมีโปรตีน13-18% (Herrera และ Morales, 1993 อ้างถึงใน Flores, 2007) ดังนั้นทุกส่วนของต้นจามจุรี ไม่ว่าจะเป็นเปลือก ลำต้น ก้าน ใบ ก้านดอก ใบไม้และฝัก เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนจำนวนมาก ประโยชน์ที่สำคัญของจามจุรี นอกจากการทำเฟอร์นิเจอร์จากเนื้อไม้แล้ว ยังสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์เลี้ยง เช่น วัว ม้า และห่าน เป็นต้น เพราะปริมาณโปรตีนในฝักมีมากประมาณ 12-18% ซึ่งเป็นโปรตีนที่ย่อยได้ง่ายถึง 40% ส่วนในใบมีปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ประมาณ 22-27% และในบางประเทศแถบเอเชียก็ใช้ใบสำหรับเป็นอาหารให้กับสัตว์ในฟาร์มปศุสัตว์ เช่น วัว แกะ และห่าน เป็นต้น (Staples และ Elevitch, 2006)

ต้นจามจุรีเป็นใบผลัดใบที่มีใบร่วงหล่นตามพื้นในปริมาณมาก นอกจากการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ แล้ว จัดว่าเป็นขยะอินทรีย์สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี เพราะใบจะมีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนในปริมาณสูง (ตารางที่ 2.3) ซึ่งมีผลทำให้การย่อยสลลายสมบูรณ์ในปุ๋ยหมักเกิดได้เร็วขึ้นเพราะจุลินทรีย์มีแหล่งไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตสูงกว่าการใช้วัตถุดิบชนิดอื่น เช่น ขี้เลื่อย, กากอ้อย และฟางข้าว เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบในใบจามจุรี (Duke, 1983)

ชนิดของสาร	ปริมาณ (%)
ปริมาณน้ำในใบสดสีเขียว	47.8
โปรตีน	10.2
ไขมัน	2.1
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำ	22.2
ไฟเบอร์ (เส้นใย)	15.7
เถ้า	2.0

2.4.2 ผักตบชวา (Water Hyacinth)

ผักตบชวา, ผักป่อง และสวะ มีชื่อสามัญว่า Water Hyacinth, Water Orchid ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub อยู่ในวงศ์ Pontederiaceae เป็นพืชน้ำประเภทใบเลี้ยงเดี่ยว ลอยน้ำได้โดยไม่ต้องมีที่ยึดเกาะ โดยสามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ ทั้งในน้ำสกปรกและน้ำสะอาด ซึ่งเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 4-10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34 องศาเซลเซียส โดยในต้นพืชจะมีน้ำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 95 (ในใบร้อยละ 89 และในก้านใบร้อยละ 96.7)

2.4.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

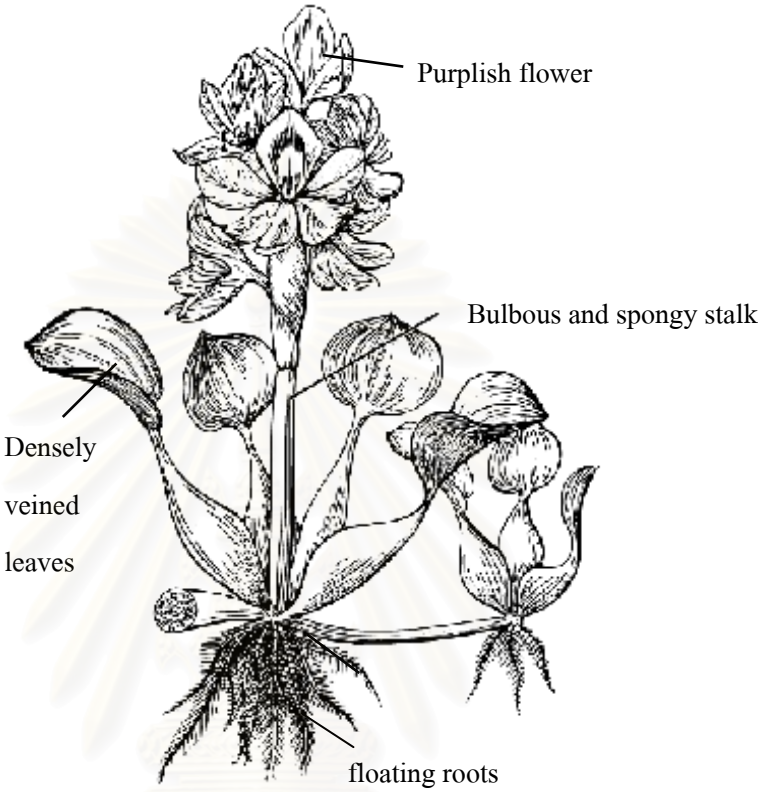
ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) จัดเป็นประเภทพืชลอยน้ำ (floating plant) โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้นดิน แต่เมื่ออยู่ที่น้ำตื้นรากจะหยั่งยึดติดกับพื้นดินได้ ลักษณะทรงต้นประกอบด้วย กลุ่มของใบเรียงกันเป็นกระจุก ในหนึ่งต้นจะมีใบตั้งแต่สองใบขึ้นไป โคนก้านใบจะมีกาบใบ (sheath) ลักษณะเป็นเยื่อบาง มีสีขาวแกมเขียวอ่อน และเมื่ออายุมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล บริเวณของกาบใบ เป็นสีน้ำตาลแกมม่วง จะเชื่อมติดต่อกันโดยมีไหล (stolon) ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำช่วยในการขยายตัวของผักตบชวาให้เพิ่มขึ้น ในหนึ่งต้นของผักตบชวาจะมีไหลแตกออกไปได้หลายอัน เมื่อไหลแตกออกไปแล้วก็จะเจริญขึ้นเป็นต้นใหม่ แต่ยังติดกับต้นเดิมอยู่และเกิดเป็นกอ พร้อมทั้งมีรากเกิดขึ้น

ส่วนประกอบของผักตบชวา มีดังนี้

1) ราก เป็นแบบรากฝอย (fibrous root) มีลักษณะเป็นรากย่อยๆ เป็นกระจุก รากที่แทงออก จะมีลักษณะอวบ สีขาว เมื่อมีอายุมากขึ้นจึงจะมีรากขนอ่อน (root hair) ที่มีสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อแก่รากขนอ่อนนี้จะเป็นสีน้ำตาลแก่จนถึงสีดำ ความยาวของรากจะแตกต่างกัน

2) ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) ประกอบด้วย แผ่นใบ (blade) และก้านใบ แผ่นใบมีลักษณะคล้ายรูปไตหรือคล้ายรูปหัวใจมีความกว้างมากกว่ายาวหรือเกือบเท่ากัน ใบอ่อนปลายใบมักจะมนแต่เมื่อมีอายุมากขึ้นปลายใบจะแหลม มีสีเข้มขึ้น ขอบใบเรียบ ระบบเส้นใบ เป็นแบบขนาน ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหาร ก้านใบมีลักษณะกลม เรียบ และอวบน้ำ การเกิดใบอ่อนจะเกิดตรงกลางกอ โดยแผ่นใบของใบอ่อนจะม้วนหุ้มรอบโคนก้านใบใกล้เคียง และมีกาบใบบางหุ้มรอบอีกทีหนึ่ง ปลายกาบใบจะมีลักษณะคอดแล้วบาน ขอบหยักเล็กน้อย เป็นเยื่อบางๆ เมื่อใบอ่อนโตขึ้นก้านใบจะขยายขึ้นดันกาบใบที่ห่อหุ้มนั้นออก แผ่นใบก็จะค่อยคลี่เป็นอิสระจากโคนก้านใบเดิม ในระยะแรกใบจะมีสีเขียวอ่อนต่อไปจะมีสีเขียวเข้มขึ้น กาบใบจะคงติดอยู่ตรงโคนก้านใบ

3) ดอก มีสีม่วง ออกเป็นช่อ ไม่มีก้านดอก ในช่อหนึ่งๆ จะมีจำนวนดอกแตกต่างกันไป ช่อดอกเล็กจะมีดอกประมาณ 4-5 ดอก ช่อดอกใหญ่อาจจะมีจำนวนดอกเพิ่มขึ้นจนถึง 60 ดอก ช่อดอกจะเกิดบริเวณกลางๆ ต้น การเกิดของช่อดอกมีลักษณะคล้ายกับการเกิดใบ



ภาพที่ 2.6 ลักษณะของผักตบชวา

ที่มา : http://splash.metrokc.gov/wlr/waterres/smlakes/hyacinth.htm

2.4.2.2 การนำผักตบชวามาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมัก

ผักตบชวาเป็นวัชพืชน้ำที่เจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว สร้างความเสียหายต่อแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นแม่น้ำ ลำคลอง ซึ่งการกำจัดก็เป็นไปด้วยความยากลำบากเนื่องจากมีการขยายพันธุ์ง่าย รวดเร็วและมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมสูง จึงมีแนวทางในการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ด้วยการทำปุ๋ยหมักถือเป็นวิธีการกำจัดผักตบชวาวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นการแปรสภาพวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นทรัพยากรที่เป็นประโยชน์ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ เมื่อผักตบชวาสลายตัวจะมีปริมาณธาตุอาหารสูง (ตารางที่ 2.4) เพราะผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมาก สามารถดูดซับเอาธาตุอาหารพืชที่ปนอยู่กับตะกอนในน้ำมาไว้ในส่วนต่างๆ ของลำต้นและใบ

ตารางที่ 2.4 ผักตบชวามีองค์ประกอบของธาตุต่างๆ (ข้าวทิพย์ เจนธุระกิจ, 2531)

ชนิดของธาตุ	ปริมาณ (%)
คาร์บอน (C)	32.0 - 34.5
ไฮโดรเจน (H)	5.4 - 5.8
ไนโตรเจน (N)	2.72 - 3.56
โพแทสเซียม (K)	2.0 - 3.5
ฟอสฟอรัส (P)	0.7 - 1.0
โซเดียม (Na)	1.5 - 2.5
กำมะถัน (S)	0.3 - 0.42
แคลเซียม (Ca)	0.6 - 1.25
แมงนีเซียม (Mg)	0.2 - 0.3
แมงกานีส (Mn)	0.005 - 0.008
เหล็ก (Fe)	0.025 - 0.05
สังกะสี (Zn)	0.005 - 0.05

2.4.3 ปุ๋ยยูเรีย (Urea fertilizer)

ยูเรีย (Urea) หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า คาร์บาไมด์ (carbamide) เป็นสารอินทรีย์ที่พบในปัสสาวะของคนและสัตว์ ซึ่งอยู่ในรูปของยูเรียและกรดยูริก ในปัจจุบันยูเรียที่ใช้กันส่วนใหญ่มาจากการสังเคราะห์ขึ้นจากสารอนินทรีย์ทั่วโลกประมาณ 100,000,000 ตันต่อปี ยูเรียสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างแอมโมเนีย (NH_3) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ภายใต้อุณหภูมิสูง ความดันสูง และมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม สมการแสดงปฏิกิริยาเคมี ดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

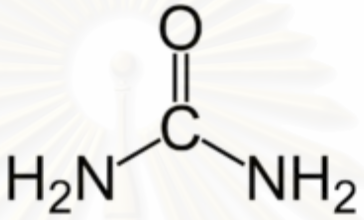
$$2NH_3 + CO_2 \longrightarrow \underset{\text{แอมโมเนียมคาร์บาเมต}}{NH_2COONH_4}$$

$$NH_2COONH_4 \longrightarrow \underset{\text{ยูเรีย}}{NH_2CONH_2} + 2H_2O$$

2.4.3.1 โครงสร้างทางเคมี

ยูเรียมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ NH_2CONH_2 น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) เท่ากับ 60.06 ความถ่วงจำเพาะค่อนข้างต่ำ คือ 1.335 มีปริมาณไนโตรเจนประมาณ 46.67%

ของน้ำหนักโมเลกุล ลักษณะของยูเรียเป็นของแข็งสีขาวมีหลายรูปแบบ เช่น เม็ดกลมขนาดเล็ก (prills) เม็ดกลมหยาบ (granules) แผ่นหรือชิ้นเล็ก (flakes) ก้อนกลม (pellets) ผลึก (crystals) และสารละลาย (solution) เป็นต้น ยูเรียที่ผลิตทั่วโลกมากกว่า 90% นำมาทำเป็นปุ๋ยยูเรีย (urea fertilizer) เนื่องจากมีสมบัติในการละลายได้ดีมาก โดยรูปแบบที่นิยมผลิตขึ้นใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ย คือ เม็ดกลมหยาบ (granules) เพราะมีขนาดใหญ่ เม็ดแข็งแรงไม่แตกง่าย มีค่าความคงทนต่อแรงกดสูง ต้านทานความชื้นได้มากกว่า และสามารถลดการเกิดละอองยูเรียเล็กๆ ที่ปลิวในอากาศได้หมด ขณะเทกอง บรรจุ และขนถ่าย จึงไม่ทำให้เกิดฝุ่นในอากาศจนเกิดมลพิษ



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของยูเรีย (Urea)

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Urea

2.4.3.2 การนำปุ๋ยยูเรียมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมัก

การใช้ปุ๋ยยูเรียเป็นวัตถุดิบหนึ่งในการทำปุ๋ยหมักนั้น มีผลให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดมากและเร็วขึ้นนั้น เมื่ออัตราการหายใจของจุลินทรีย์มากขึ้น จึงทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (denitrification) มากขึ้น ซึ่งการใช้ปุ๋ยยูเรียเป็นวัตถุดิบนั้นจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยยูเรียที่ใส่ลงไปในกองปุ๋ยหมักจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมคาร์บอเนต ($NH_4COOONH_4$) โดยเร็ว ปฏิกิริยานี้จะเกิดเร็วขึ้นถ้ามีเอนไซม์ยูริเอส (urease) จากจุลินทรีย์ ซึ่งจะแตกตัวสลายต่อไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) เกิดได้โดยการใส่ปุ๋ยยูเรียในปริมาณมากและความเข้มข้นสูง ทำให้กองปุ๋ยหมักมีสภาพเป็นด่างเกิดเป็นก๊าซแอมโมเนียระเหยไป ดังสมการ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

$$NH_2CONH_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{urease}} NH_4COOONH_4$$

$$NH_4COOONH_4 \longrightarrow NH_3\uparrow + CO_2 + H_2O$$

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและมีการถ่ายเทอากาศดี (มีออกซิเจน) แอมโมเนียมคาร์บอเนต จะเปลี่ยนเป็นกรดไนตริก ดังสมการ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

$$NH_4COOONH_4 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 3H_2O + CO_2$$

$$2HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2HNO_3$$

การเปลี่ยนแปลงของยูเรียไปเป็นรูปแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4^+-N) และไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3^--N) ใช้เวลาประมาณ 7-14 วัน ยูเรียอาจสูญหายจากการชะละลายภายใน 3-4 วัน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

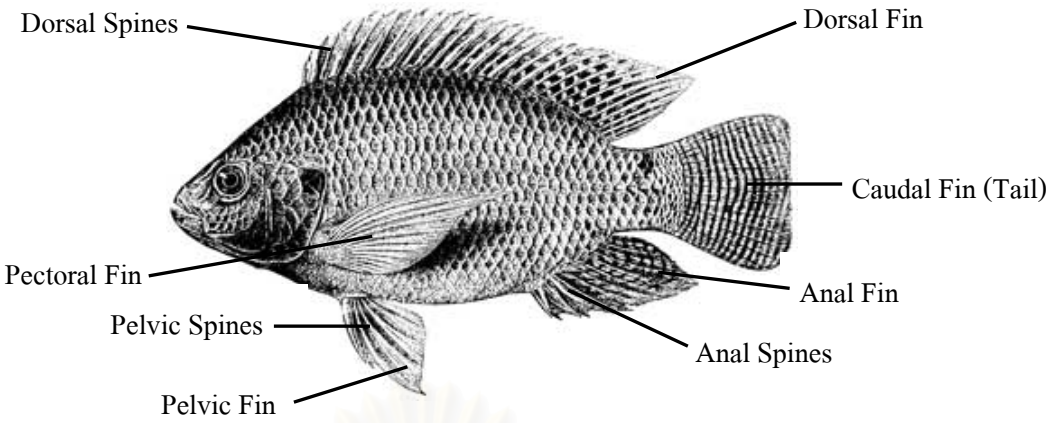
เนื่องจากปุ๋ยยูเรียเป็นสารเคมีที่ละลายน้ำได้ง่ายและมีปริมาณไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงถึง 46 % จึงนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหมักที่มีสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน และปุ๋ยยูเรียที่ใส่ลงไปเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน โดยในการใส่ในกองปุ๋ยหมักนั้นเพื่อเร่งและกระตุ้นกระบวนการหมักทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายได้เร็วขึ้น จึงทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักสั้นลง

2.4.4 เศษปลานิลสด (Nile tilapia)

ปลานิล มีชื่อสามัญว่า Nile tilapia ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* อยู่ในวงศ์ Cichlidae เป็นปลาน้ำจืดที่มีถิ่นกำเนิดในแอฟริกาและแพร่กระจายออกไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีคุณลักษณะเด่น คือ มีความอดทนและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี โดยสามารถทนต่อความเค็มได้ถึง 20 ppm ทนต่อความเป็นกรดเป็นด่างได้ในช่วง 6.5-8.3 และสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 องศาเซลเซียส แต่ในสภาพที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส พบว่า ปลานิลปรับตัวและเจริญเติบโตได้ไม่ดีนัก เพราะถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในเขตร้อน

2.4.4.1 ลักษณะและส่วนประกอบของปลานิล มีดังนี้

ปลานิลมีรูปร่างคล้ายปลาหมอเทศ ลักษณะลำตัวป้อม หัวเล็ก ขอบตามีสีแดง บริเวณกระดูกแก้มมีจุดสีเข้ม 1 จุด ลำตัวด้านหลังหนามีสีเขียวปนน้ำตาล บนลำตัวทั้งสองด้านมีลายพาดขวางประมาณด้านละ 9-10 ลาย ลักษณะลายจะพาดจากส่วนหลังลงสู่ส่วนท้อง ปลานิลมีครีบหลังจำนวน 1 ครีบ ประกอบด้วยครีบแข็ง (Dorsal Fin) ที่มีก้านครีบจำนวน 15-18 ก้าน และครีบอ่อน (Dorsal Spines) ที่มีจำนวนก้านครีบ 9-10 ก้าน ส่วนครีบก้น (Caudal Fin) ประกอบด้วยก้านครีบแข็งและครีบอ่อนเช่นเดียวกัน ลักษณะของเกล็ด (Fish Scales) จะเรียงตามแนวเส้นข้างลำตัว มีจำนวนประมาณ 33 เกล็ด (ดังภาพที่ 2.8)



ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบของปลานิล (Nile tilapia)

ที่มา : http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus

ปลานิลเป็นปลาที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว สามารถกินอาหารได้ทั้งในลักษณะที่เป็นพืชและเนื้อสัตว์ โดยลูกปลาขนาดเล็กจะกินพวกแพลงก์ตอน ตัวอ่อนแมลงและอินทรียวัตถุที่สลายตัวอยู่ในน้ำเป็นอาหาร ขณะที่ปลานิลที่มีขนาดใหญ่ จะกินพวกพืชชั้นสูงจำพวกสาหร่ายและแหน การเลี้ยงปลานิลในบ่อ นิยมให้อาหารที่มีส่วนผสมของปลาป่น รำ ปลายข้าว กากถั่ว พืชจำพวกแหนและใบกระถินแห้ง รวมทั้งเศษอาหารและมูลสัตว์ก็สามารถใช้เป็นอาหารของปลานิลได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 2.5 การประมาณค่าส่วนประกอบของปลานิล (Gonzales Jr., John และ Brown, 2006.)

สารอาหาร (Nutrient)	ทุกส่วนของร่างกาย (Whole body)	เนื้อปลา (Fillet)	ส่วนที่เหลือพวกซากโครงสร้าง (Carcass residue)
น้ำหนักเฉลี่ย (% โดยน้ำหนัก)	164.3	45.8	118.5
น้ำหนักแห้ง (% โดยน้ำหนัก)	26.9	22.6	N/D[a]
คาร์บอน (% โดยน้ำหนัก)	53.8	47.1	56.4
ซัลเฟอร์ (% โดยน้ำหนัก)	0.6	1.2	0.4
ไนโตรเจน (% โดยน้ำหนัก)	9.3	13.3	7.7
โปรตีนที่สกัดได้ (% โดยน้ำหนัก)	58.0	83.4	48.1
ไขมันที่สกัดได้ (% โดยน้ำหนัก)	23.3	4.8	30.5
เถ้า (% โดยน้ำหนัก)	11.7	5.1	14.3
Nitrogen free-extract (% โดยน้ำหนัก)	7.0	6.7	7.0

[a] คือ Not determined

2.4.4.2 การนำเศษปลานิลมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมัก

ปลานิลเป็นปลาที่ตลาดผู้บริโภคยังมีความต้องการสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้เกิดของเหลือใช้หรือของเสียจากปลาเพิ่มจำนวนขึ้นเช่นกัน ของเสียเหล่านี้สามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ เนื่องจากมีองค์ประกอบของธาตุอาหารพืช เช่น ไนโตรเจนได้มาจากส่วนของโปรตีน ฟอสฟอรัสและแคลเซียมได้จากส่วนของกระดูกและหัวปลา เป็นต้น ปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของปลาขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยของปลา คือ น้ำและอาหาร (สุริยา สาสนรักกิจ, 2550)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณแร่ธาตุของปลานิล (Gonzales Jr., John และ Brown, 2006.)

สารอาหาร (Nutrient)	**ทุกส่วนของร่างกาย (Whole body)**	**เนื้อปลา (Fillet)**	**ส่วนที่เหลือพวกซาก โครงสร้าง (Carcass residue)**
แคลเซียม (mg/kg)	4761.5	297.75	6495.65
ฟอสฟอรัส (mg/kg)	258.7	27.19	348.66
แมกนีเซียม (mg/kg)	127.5	154.15	116.95
โพแทสเซียม (mg/kg)	56.85	140.4	24.66
โซเดียม (mg/kg)	394.75	7.36	545.21
เหล็ก (mg/kg)	0.33	3.39	0
ทองแดง (mg/kg)	0.53	0.02	0.73
แมงกานีส (mg/kg)	0.26	1.37	0
สังกะสี (mg/kg)	13.45	0.57	18.45
โบรอน (mg/kg)	0.38	0.68	0.27
ซิลิเนียม (mg/kg)	7.05	0.14	9.74
โมลิบดินัม (mg/kg)	5.72	0.15	7.88
โคบอล (mg/kg)	0.62	0	0.85
โครเมียม (mg/kg)	0.07	0.03	0.09

จากตารางที่ 2.5 และ 2.6 พบว่า ของเสียจากปลานิลหรือส่วนที่เหลือพวกซากโครงสร้างยังคงมีปริมาณธาตุอาหารเหลืออยู่ การนำเศษปลาที่อยู่ในรูปของแข็งมาเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมักนั้นเป็นการจัดการกับของเสียเหล่านี้วิธีการหนึ่ง ข้อจำกัดของการใช้ของเสียจากปลาที่อยู่ในรูปของแข็งเป็นวัตถุดิบนั้นต้องหมักร่วมกับวัตถุดิบที่เป็นพืช เช่น ขี้เลื่อยฟางข้าว และใบไม้แห้ง เป็นต้น เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับกลุ่มจุลินทรีย์และยังช่วยดูดซับกลิ่นที่อาจจะเกิดจาก

เศษปลา ดังนั้นการระบายอากาศภายในกองปุ๋ยหมักจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญเพราะถ้าเกิดกลิ่นเหม็นเน่าขึ้นในกองปุ๋ยหมัก อาจจะแสดงว่าอากาศในกองปุ๋ยหมักไม่เพียงพอ กลิ่นเหม็นเหล่านี้อาจชักนำให้แมลงและสัตว์เข้ามาในกองปุ๋ย ก่อให้เกิดแหล่งที่ทำให้เกิดโรคและเชื้อโรคขึ้นได้ ดังนั้นในการใช้ของเสียจากปลาสดทำปุ๋ยหมักนั้นต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม

2.4.5 มูลสุกร (Swine manure)

สุกร หรือ หมู เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sus scrofa* ในวงศ์ Suidae หมูเป็นสัตว์สี่เท้า ตัวอ้วน จมูกและปากยื่นยาว หมูที่เลี้ยงในปัจจุบันมีอยู่หลายพันธุ์ รูปร่างลักษณะของหมูเกิดจากการผสมพันธุ์และการคัดเลือกพันธุ์ตามความต้องการของนักผสมพันธุ์และผู้บริโภค ตลอดจนอาหารที่ใช้เลี้ยงดู สามารถแบ่งตามรูปร่างลักษณะและคุณภาพของเนื้อเป็น 3 ประเภท คือ หมูประเภทมัน หมูประเภทเนื้อ และหมูประเภทเบคอน

การเลี้ยงสุกรในประเทศไทยมีการพัฒนาและเพิ่มจำนวนอย่างต่อเนื่อง สิ่งขับถ่ายที่เป็นมูลและปัสสาวะทั่วประเทศปีละไม่ต่ำกว่า 26 ล้านตัน (เจนศักดิ์ รัตนลัมภ์, 2550) ซึ่งอยู่ในรูปของมูลและปัสสาวะประมาณ 46 และ 54% โดยน้ำหนักสด แต่เมื่อคิดเป็นน้ำหนักแห้ง พบว่าเป็นมูลและปัสสาวะประมาณ 77 และ 23% ตามลำดับ ในมูลสุกรจะมีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 7.2-8.2 องค์ประกอบทางเคมีของมูลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วหลังจากขับถ่ายออกมา โดยชนิดขององค์ประกอบทางเคมีและปริมาณมูลสุกรที่ขับถ่ายออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อายุ น้ำหนักตัว ชนิดพันธุ์ อาหาร ปริมาณน้ำที่กิน ความสามารถในการย่อย ความสามารถในการใช้อาหาร สิ่งแวดล้อม และการจัดการเกี่ยวกับสิ่งขับถ่าย เป็นต้น

2.4.5.1 การนำมูลสุกรมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมัก

มูลสุกรจัดเป็นของเสียอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประเภท วิธีการจัดการกับมูลสุกรที่ง่ายและสำคัญ คือ การนำไปทำปุ๋ยหมักโดยตรง ซึ่งสามารถนำของเสียจากฟาร์มสุกรไปใช้ได้ทั้งในรูปของแข็งและของเหลว Zhu (2007) กล่าวว่า ในประเทศจีนมีการใช้มูลสุกรเป็นหลักในการทำปุ๋ยอินทรีย์ใช้ในการเกษตร

เหตุที่นิยมนำมูลสุกรไปใช้ในการทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากมูลสุกรประกอบด้วยธาตุอาหารหลักที่สำคัญของพืช เมื่อเปรียบเทียบกับมูลของสัตว์อื่น พบว่า ปริมาณธาตุอาหารจะแตกต่างกัน เมื่อเทียบกับมูลสัตว์ปีกอาจจะมีปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่า แต่ปริมาณความแน่นอนของธาตุอาหารจะมีความคงที่มากกว่า เพราะชนิดความหลากหลายของสัตว์ปีกนั้นมีมากกว่า เช่น มูลไก่ มีทั้งไก่ไข่และไก่เนื้อ เป็นต้น เช่นเดียวกับมูลวัวที่มาจากชนิดของวัวที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นวัวเนื้อหรือวัวนม เป็นต้น โดยชนิดและปริมาณอาหารที่ใช้เลี้ยงจะแตกต่างกัน ส่งผลให้ธาตุอาหาร

ในมูลแตกต่างกันไปด้วย นอกจากนั้นมูลวัวเมื่อเปรียบเทียบด้านปริมาณสารอาหาร พบว่า มีน้อยกว่ามูลสุกร (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7 ธาตุอาหารพืชในมูลสัตว์บางชนิด (% โดยน้ำหนัก) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพี, 2548)

มูลสัตว์	ไนโตรเจน (%N)	ฟอสฟอรัส (% P_2O_5)	โพแทสเซียม (% K_2O)
เป็ด	0.8-3.7	2.7-6.9	0.5-1.9
ไก่	1.2-4.9	1.2-9.4	0.5-4.2
สุกร	2.2	5.2	1.6
วัว	0.8-1.2	0.5-0.9	0.5-3.7

ตารางที่ 2.8 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ในมูลสุกรสด (Raleigh, 1990 อ้างถึงใน Collins และ Parson, 2003)

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้
ปริมาณความชื้น (Moisture content) (%)	88.0
ของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile solids) (%)	79.0
Fixed solids (%)	21.0
แอมโมเนีย (NH_3) (%)	3.05
ไนเตรต (NO_3^-) (%)	0.0145
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) (%)	5.00
ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) (%)	4.17
ปริมาณโพแทสเซียม (K_2O) (%)	3.25
ปริมาณคาร์บอน (C) (%)	32.2
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	7.5
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	6.45
E.Coli cols/100 grams	Le7

มูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารที่ดีมากสำหรับการนำไปใช้กับการเพาะปลูก หลักสำคัญในการนำไปใช้ คือ ต้องประเมินปริมาณสารอาหารที่มีในมูลสุกร ปริมาณสารอาหารที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืช และความต้องการสารอาหารประเภทต่างๆ ของพืช ดังนั้นในการนำมาใช้จึงต้องมีการวิเคราะห์ธาตุอาหารที่มีในมูลสุกรก่อน (ตารางที่ 2.8) เพราะปริมาณสารอาหาร

ของมูลสุกรมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการดำเนินการและระยะเวลาที่เปลี่ยนไป เช่น ปริมาณธาตุอาหารของมูลสดกับมูลแห้งจะไม่เท่ากัน เป็นต้น

2.4.6 กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานไก่สดแช่แข็ง

กากตะกอน (Sludge) เป็นวัตถุดิบที่มีลักษณะกึ่งของแข็ง (semi-solid) ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้มาจากระบบบำบัดน้ำทิ้ง ในปัจจุบันระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบ Activated sludge ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมาก เพราะใช้เนื้อที่น้อย และมีประสิทธิภาพสูงในระบบบำบัด (วลัยพร ผ่อนผัน, 2547)

กากตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งซึ่งเป็นอุตสาหกรรมอาหารที่มีการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีววิทยา (Biological Treatment) โดยใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารอินทรียคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกในน้ำเหล่านี้ จะถูกใช้เป็นทั้งแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ให้รวดเร็วกว่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จึงอาศัยหลักการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมได้ แล้วจึงแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งโดยใช้ถังตกตะกอน (Secondary Sedimentation Tank) ดังนั้นตะกอนที่ได้ออกมาจึงเป็นตะกอนที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ ซึ่งตะกอนเหล่านี้จำเป็นต้องบำบัดและจัดการด้วยวิธีการที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.4.6.1 แนวทางการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

EPA (Environmental Protection Agency) (Mitchell, 1992) แนะนำการใช้กากตะกอนในการเกษตร ดังนี้

1) เกษตรกรไม่ควรนำกากตะกอนที่ยังไม่ผ่านการวิเคราะห์ไปใช้ในพื้นที่การเกษตร

2) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินที่จะใช้กากตะกอนต้องเป็นดินที่รักษาความเป็นกรดเป็นด่างมากกว่า 6.5 ถึงระดับที่ต่ำกว่าพืชจะสามารถดูดดึงโลหะหนักขึ้นไปได้

3) กากตะกอนที่นำไปใช้โดยตรงกับดินหรือผสมเข้าไปในดินภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง จะมีผลทำให้กลิ่นลดลงและสารอาหารก็จะหายไปในรูปของของเหลวที่ไหลออกไปสำหรับการใช้กากตะกอนบริเวณผิวหน้าดิน

4) กากตะกอนนั้นจะถูกย่อยสลายและทำให้เสถียรได้ที่พืช

5) ไม่ควรใช้กากตะกอนอย่างต่อเนื่องก่อนที่กากตะกอนจะถูกพืชนำไปใช้

6) ควรมีการเก็บข้อมูลในการใช้กากตะกอน เพื่อเป็นตรวจติดตามในการป้องกันโลหะหนักที่จะปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน

7) ในการนำไปใช้ต้องใช้ในสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการชะล้างปนเปื้อนไปกับน้ำ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ในปริมาณที่มากเกินไป

ซึ่งการใช้กากตะกอนกับพื้นที่การเกษตรโดยตรงนั้นมีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายและความเป็นพิษสูง เนื่องจากในกากตะกอนอาจจะมีการเจือปนของพวกเชื้อโรค จุลินทรีย์ และปริมาณโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ พืช รวมทั้งสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการบำบัดกากตะกอน (sludge treatment) โดยวิธีการปรับสภาพกากตะกอน (Conditioning) เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้กากตะกอนมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การทำปุ๋ย และการใช้ปรับสภาพดินสำหรับใช้ทางการเกษตร เป็นต้น การปรับปรุงสมบัติของกากตะกอนด้วยกระบวนทำปุ๋ยหมัก ผลสุดท้ายที่ได้จะเป็นการลดสารอินทรีย์ที่เป็นพิษในกากตะกอนและเพิ่มความสามารถในการนำไปใช้ได้มากขึ้น (Amir และคณะ, 2005; Oleszczuk, 2007) กระบวนการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์เป็นแร่ธาตุของกากตะกอนมีนัยสำคัญในการลดลงของปริมาณความเป็นพิษในปุ๋ยหมัก (Fuentes และคณะ, 2006; Oleszczuk, 2007) ซึ่งการลดลงของความเป็นพิษหลังจากกระบวนการหมักอาจจะสอดคล้องกับการย่อยสลายสารพิษที่เป็นสารอินทรีย์ (Oleszczuk, 2007; Semple และคณะ, 2001)

2.4.6.2 การนำกากตะกอนมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมัก

ในการนำกากตะกอนมาทำปุ๋ยหมักนั้นเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการกับกากตะกอนเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ในการเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืช เพราะในกากตะกอนประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่างๆ โดยองค์ประกอบของกากตะกอนมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของกากตะกอน ซึ่งหมายถึงปัจจัยต่างที่ทำให้เกิดกากตะกอน เช่น กระบวนการบำบัด ชนิดและคุณสมบัติของน้ำที่บำบัด เป็นต้น สำหรับกากตะกอนที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นชนิดของโรงงาน ความซับซ้อนของกระบวนการผลิต ระบบดักจับวัสดุเพื่อหมุนเวียนไปใช้ใหม่ ตลอดจนถึงชนิดและระดับของกระบวนการบำบัดของเสียที่ใช้ก็มีผลต่อองค์ประกอบในกากตะกอน (วลัยพร ผ่อนผัน, 2547)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมัก

ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพเกิดจากกระบวนการหมักที่ดี คือ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม วัตถุดิบหมักที่มีสารอาหาร รวมทั้งการดูแลกองปุ๋ยในระหว่างกระบวนการหมัก ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลให้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัตถุดิบหมักได้เร็วและให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืชในปริมาณที่เพียงพอ ปัจจุบันมีการศึกษาและพัฒนาปัจจัยในกระบวนการหมักให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น เพื่อให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพสูงสุดเมื่อนำไปใช้จริงและเกิดประโยชน์กับทั้งดินและพืช ตัวอย่างงานวิจัย ดังนี้

Huang และคณะ (2004) ศึกษาความแตกต่างของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของการทำปุ๋ยหมักที่มีผลต่อกระบวนการหมัก แบ่งออกเป็น 2 ค่า คือ 30:1 และ 15:1 ซึ่งใช้วัตถุดิบหมัก 2 ชนิด คือ มูลสุกรและขี้เลื่อย ในระหว่างการหมักมีการดูแลกองปุ๋ยหมัก โดยกลับกองปุ๋ยหมักทุก 3 วันและควบคุมความชื้นภายในกองให้มีค่าอยู่ในช่วง 60-70% จากการศึกษา พบว่า ปุ๋ยหมักที่ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30 จะย่อยสลายสมบูรณ์ในวันที่ 49 ของการหมักในสภาพแวดล้อมที่เหมือนทำการทดลอง แต่ในกลุ่มการทดลองที่ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 15 นั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงหรือพฤติกรรมอย่างมีนัยสำคัญของหลายพารามิเตอร์ โดยค่า DOC (dissolved organic carbon) และปริมาณ NH_4-N มีค่าสูง บ่งบอกได้ว่า ในกองปุ๋ยหมักนี้มีการย่อยสลายยังไม่สมบูรณ์ภายหลังจากวันที่ 63 ของการหมัก แม้ว่าสุดท้ายค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะต่ำ แต่เมื่อนำมาทดสอบการย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยดัชนีการงอกของเมล็ดมีค่าต่ำกว่า 50% เพราะค่าการนำไฟฟ้าสูงซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการงอกของเมล็ด แม้ว่าเริ่มต้นการทดลองจะเตรียมให้กองปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15 ซึ่งปรับให้ใช้ปริมาณขี้เลื่อยน้อยลง แต่ต้องทำการหมักนานกว่า 63 วัน ปุ๋ยหมักจึงจะย่อยสลายสมบูรณ์

Margesin, Cimadom และ Schinner (2005) ศึกษาปฏิกิริยาทางชีวภาพที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยที่อุณหภูมิต่ำอยู่ในช่วง 10-0.2 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลอง โดยใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและต้นพืชขนาดเล็กเป็นวัตถุดิบหมักผสมในสัดส่วน 40:60 โดยน้ำหนัก ทำการหมักด้วยระบบการเติมอากาศ ซึ่งมีการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักที่แตกต่างกัน แบ่งเป็น 2 กอง คือ กองแรกกลับกองในครั้งแรกหลังจากทำการหมักไปแล้ว 3 สัปดาห์แล้วหลังจากนั้นกลับกองสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ส่วนกองที่สองกลับกองสัปดาห์ละ 2 ครั้งตั้งแต่เริ่มต้นการหมัก กำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 49 วัน จากผลการทดลอง พบว่า การลดลงของค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าน้อย นอกจากนั้นพบว่า อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะแปรผกผันกับค่าอัตราส่วน

คาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการหมักปุ๋ยกากตะกอน สรุปได้ว่า ความถี่ในการพลิกกลับกองซึ่งเป็นการระบายอากาศภายในกองมีผลต่อกระบวนการภายในกองปุ๋ยหมัก ดังนั้นจึงมีผลทำให้การลดลงของค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักน้อยลง ในกระบวนการหมักปุ๋ยที่อุณหภูมิต่ำนั้นจึงต้องให้ปริมาณความชื้นเข้าไปในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งความชื้นเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อกระบวนการหมัก

Sanabria-León และคณะ (2006) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของปุ๋ยหมักจากการใช้ของเสียในโรงงานฆ่าสัตว์เป็นวัตถุดิบหมัก แบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 2 กลุ่ม คือ ปุ๋ยหมักที่ใช้เศษอาหารเลี้ยงสัตว์ (yard trimming) เพียงอย่างเดียวและอีกกลุ่มเป็นการผสมระหว่างเศษอาหารเลี้ยงสัตว์กับของเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์ในสัดส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก โดยการหมักแบบใช้ออกซิเจนในถังหมัก ซึ่งปริมาณความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 60-70% จากการทดลอง พบว่า ทั้งสองกลุ่มมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วงกลางๆ นอกจากนั้นปริมาณคาร์บอนและปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าลดลง ในขณะที่ปริมาณสารอนินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักเศษอาหารผสมกับของเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์มากกว่าเศษอาหารเพียงอย่างเดียว การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักเศษอาหารสัตว์เลี้ยงอย่างเดียวเริ่มต้นที่ 45.5:1 เมื่อสิ้นสุดการหมักลดลงเหลือ 21.28:1 ขณะที่ปุ๋ยหมักเศษอาหารผสมกับของเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์เริ่มต้นที่ 37.4:1 ลดลงเหลือ 14.81:1 สำหรับการประเมินผลของกลุ่มจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักสามารถบอกได้ว่า คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักว่าเป็นอย่างไร จึงจะมีผลกับการดำรงชีพของจุลินทรีย์และการย่อยสลายสารอินทรีย์ รวมทั้งผลสุดท้ายสามารถบอกจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย

Zhang และ He (2006) ศึกษาความแตกต่างของวัตถุดิบที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักและสัดส่วนที่เหมาะสมเมื่อใช้วัตถุดิบหมักชนิดเดียวกัน แบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 4 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1-3 เป็นวัตถุดิบผสมระหว่างมูลสุกรและขี้เลื่อยในสัดส่วนที่แตกต่างกัน คือ 20:70, 30:60 และ 40:50 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มควบคุมเป็นปุ๋ยหมักที่ผสมกันของขี้เลื่อย ตะกอนจากทะเล และยูเรีย ในสัดส่วน 60:30:0.5 ซึ่งความแตกต่างของวัตถุดิบที่ใช้หมักนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการใช้มูลสุกรกับตะกอนจากทะเลผสมกับยูเรียในกลุ่มควบคุม สภาวะที่ใช้ในการทดลองกำหนดให้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแต่ละกลุ่มทดลองประมาณ 60±2% และรักษาระดับความชื้นนี้ตลอดการทดลอง (Yang และคณะ, 1998; Huang และคณะ, 2004 อ้างถึงใน Zhang และ He, 2006) จากการศึกษา พบว่า ขี้เลื่อยที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักนั้นจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของกลุ่มทดลองที่มีมูลสุกร พบว่า มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่แตกต่าง

จากค่าเริ่มต้น ส่วนการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนระหว่างกลุ่มมูลสุกรกับตะกอนทะเลผสมกับยูเรียที่มีปริมาณขี้เลื่อยเริ่มต้นเท่ากัน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดการทดลอง นอกจากนั้นในระหว่างกระบวนการหมัก พบว่า การย่อยสลายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง mesophilic temperature และการย่อยสลายคาร์บอนอยู่ในช่วง thermophilic temperature และเมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่ใช้มูลสุกรในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่ากลุ่มที่ใช้มูลสุกร 30% และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นประมาณ 40 จะมีค่าเหมาะสมในการนำไปใช้กับดิน เพื่อใช้ในการปลูกพืช

สรพรรณ อมตธรรม (2546) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารด้วยการให้ความร้อนโดยใช้การทำงานของแบคทีเรียกลุ่มเทอร์โมฟิลิค ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้หมักประกอบด้วย เศษอาหารผสมกับใบไม้ และเศษอาหารผสมขี้เลื่อย เพื่อปรับความชื้นให้มีค่าอยู่ในช่วง 55-65% เติมยูเรียเพื่อปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้เท่ากับ 25-30 เติมเชื้อเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียลงไป แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30, 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการหมักโดยไม่ให้ความร้อน จากการทดลอง พบว่า การให้ความร้อนกับวัตถุดิบหมักที่อุณหภูมิต่างๆ ก่อนนำไปหมักมีผลต่อกระบวนการหมัก โดยกองปุ๋ยเศษอาหารผสมขี้เลื่อยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสให้ผลดีที่สุด คือ ปริมาณคาร์บอนลดลงมากที่สุด และระยะเวลาที่ใช้ในการหมักเพียง 79 วัน ขณะที่กองปุ๋ยเศษอาหารผสมกับขี้เลื่อยที่อุณหภูมิอื่นๆ 100 วันก็ยังไม่เป็นปุ๋ยหมัก สำหรับการหมักเศษอาหารผสมกับใบไม้แห้งนั้น พบว่า การให้ความร้อนไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณคาร์บอนมากนัก แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงก็มีผลให้ใช้เวลาในการหมักสั้นลง นอกจากนี้ยังพบว่า ใบไม้แห้งช่วยรักษาความชื้นของกองปุ๋ยหมักได้ดีกว่าขี้เลื่อย

พัฒนา อนุรักษ์พงศธร และนันทพร วิเศษสมบัติ (2548) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักโดยใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย RBC ร่วมกับใบไม้และเศษอาหาร ทำการหมักโดยใช้อากาศเป็นเวลา 2 เดือน จากการศึกษา พบว่า การใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเป็นวัตถุดิบหมักนั้นทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีปริมาณไนเตรต (NO_3^-) สูงกว่าปุ๋ยหมักที่ไม่ใช้กากตะกอนเป็นวัตถุดิบ จึงเหมาะในการนำไปใช้เป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน ขณะที่ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในชุดการทดลองที่มีกากตะกอนและไม่มีกากตะกอน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำปุ๋ยหมักไปใช้ในการปลูกพืช

ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีเกิดจากประสิทธิภาพและปริมาณธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนั้นปุ๋ยหมักยังช่วยปรับปรุงบำรุงดินให้มีคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพ คือลักษณะ

โครงสร้างโดยทั่วไปของดิน ทางด้านเคมี คือ มีปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอย่างเหมาสม และทางด้านชีวภาพ คือ สามารถเป็นที่อยู่และแหล่งอาหารให้กับสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดินได้ งานวิจัยโดยทั่วไปจะทดสอบคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ด้วยปริมาณผลผลิตและคุณภาพจากการปลูกพืชเพราะเป็นคุณประโยชน์หลักของปุ๋ยหมัก แล้วจึงพิจารณาประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพดินที่ใช้ปุ๋ยหมัก ตัวอย่างงานวิจัย มีดังนี้

Casado-Vela และคณะ (2006) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยหมักกากตะกอนในการปลูกพริก (sweet pepper crop) ในแปลงปลูกปกติ (open-air) และในสถานที่ปิด (greenhouse) การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การหมักปุ๋ยและการนำปุ๋ยไปใช้ในการเพาะปลูก โดยเปรียบเทียบปริมาณปุ๋ยหมักที่ใช้แบ่งเป็น 3, 6 และ 9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และกลุ่มที่ไม่ใส่ปุ๋ยเลยเป็นกลุ่มควบคุม จากการทดลอง พบว่า ปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียร่วมกับขี้เลื่อยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5 ค่าการนำไฟฟ้า 5,030 μS/cm อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 12.7 เมื่อนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้ในการปลูกพริก พบว่า ผลผลิตของพริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยหมักที่ใส่ทั้งในแปลงปลูกปกติและสถานที่ปิด การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในดิน คือ ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นทั้งในสองสถานที่ ในขณะที่ผลผลิตของพริกที่ปลูกในสถานที่ปิดมีมวลมากกว่าในแปลงปลูกปกติประมาณ 60% เมื่อเปรียบเทียบกับที่ปลูกในแปลงปกติ ปริมาณปุ๋ยหมักที่เหมาะสมและเป็นประโยชน์มากที่สุด คือ 6 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

Mandal และคณะ (2007) สำรวจผลของการใช้มูลสัตว์และปุ๋ยเคมีที่มีต่อกิจกรรมทางชีวภาพและชีวเคมีในดินระหว่างการปลูกพืชเป็นระยะเวลา 34 ปี โดยวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าวสาลี การทดลองแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุมไม่ใช้ปุ๋ยอะไรเลย ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (N) 100% ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนฟอสฟอรัส (NP) 100% ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนฟอสฟอรัสโพแทสเซียม (NPK) 100% ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนฟอสฟอรัสโพแทสเซียมร่วมกับซัลเฟอร์ (NPK + S) 100% และใช้ปุ๋ยไนโตรเจนฟอสฟอรัสโพแทสเซียมร่วมกับมูลสัตว์ (NPK + FYM) 100% พารามิเตอร์สำคัญที่ทำการวัดและวิเคราะห์ คือ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจนทั้งหมด อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณมวลคาร์บอนและไนโตรเจนของจุลินทรีย์ และกิจกรรมของเอนไซม์ในดิน จากการทดลอง พบว่า ทุกพารามิเตอร์มีค่าสูงสุดเมื่อปลูกข้าวสาลีโดยใช้ปุ๋ยไนโตรเจนฟอสฟอรัสโพแทสเซียมร่วมกับมูลสัตว์ (NPK + FYM) 100% และปริมาณค่าที่สูงสุดเหล่านี้จะพบในการเจริญเติบโตของข้าวสาลีในระยะการงอกเป็นต้นกล้า (tillering) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับดินมีผลดีทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังนั้นสรุปได้ว่า การใช้มูลสัตว์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในการปลูกพืช

นั้นให้ผลในเชิงบวกกับทั้งดินและผลผลิตของพืช จะเห็นว่าการเพาะปลูกในระยะยาวจะให้ผลผลิตที่ดีอย่างสม่ำเสมอและดินก็มีคุณภาพดี

Iqbal และคณะ (2007) ศึกษาผลของการใช้กากตะกอนที่แตกต่างกันผสมกับดินในอัตราส่วนที่ต่างกัน เพื่อทดสอบการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่วในโรงเพาะต้นอ่อน การทดลองแบ่งเป็น 7 กลุ่ม คือ ดินผสมกับกากตะกอนของเสียชุมชนในสัดส่วน 1:1 และ 1:2 ดินผสมกับกากตะกอนจากภาคอุตสาหกรรมในสัดส่วน 1:1 และ 1:2 ดินผสมกับกากตะกอนที่ได้จากแหล่งที่อยู่อาศัยในสัดส่วน 1:1 และ 1:2 และกลุ่มควบคุมที่ไม่ผสมกากตะกอนเลย โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวัดค่าและวิเคราะห์ คือ ความยาวของส่วนที่งอกพ้นดินและส่วนที่อยู่ใต้ดิน ความแข็งแรง เส้นรอบวง จำนวนใบเฉลี่ย ปริมาณน้ำหนักสดและแห้งของพืช ในส่วนของปุ่มเล็กๆ บริเวณราก (nodule) มีการวัดจำนวน น้ำหนักสดและแห้ง ซึ่งทำการเก็บผลการทดลองในระยะเวลา 3 เดือน และ 6 เดือน จากผลการทดลอง พบว่า ทุกพารามิเตอร์มีค่าสูงสุดในกลุ่มการทดลองที่ใช้ดินผสมกับกากตะกอนที่ได้จากแหล่งที่อยู่อาศัยในสัดส่วน 1:1 ทั้งในระยะเวลา 3 เดือน และ 6 เดือน ดังนั้นจึงสามารถใช้ดินผสมกับกากตะกอนที่ได้จากแหล่งที่อยู่อาศัยในสัดส่วน 1:1 ไปใช้ในการเพาะเมล็ดและส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งทำให้ปุ่มตรึงไนโตรเจนที่มีบริเวณรากพืชตระกูลถั่วมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น

นัทฐา ทักษ์รัตนศรัณย์ (2548) ศึกษาผลของการใส่ฟางข้าวและปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในชุดดินพิมายและชุดดินสิงห์บุรี จากการทดลอง พบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในดินชุดพิมายและดินชุดสิงบุรีให้ผลการทดลองในแนวทางเดียวกัน คือ ข้าวโพดฝักอ่อนที่ไม่ใส่ปุ๋ยเลยมีการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารต่ำสุด ข้าวโพดฝักอ่อนที่ได้รับปุ๋ยเคมีร่วมกับฟางข้าว และปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยฟางข้าว มีการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารหลักได้ไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการใช้ฟางข้าวและปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีจะช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2550) ศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ยหมักและทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยด้วยการปลูกพืชในแปลงสาธิตและเรือนเพาะชำเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี จากการศึกษา พบว่า คุณภาพของปุ๋ยหมักขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบหมักและสัดส่วนที่เหมาะสมส่งผลให้มีปริมาณธาตุอาหารหลักสูง และเมื่อนำไปใช้ในการปลูกพืชเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี พบว่า พืชที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยหมักต้องใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตนานกว่าปุ๋ยเคมี ซึ่งพืชบางชนิดจะมีลำต้นที่แข็งแรง และทนทานต่อโรคพืชและแมลงศัตรูพืชได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี โดยการ

ใส่ปุ๋ยหมักต้องคำนึงถึงระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชและปริมาณที่เหมาะสมกับพืชในแต่ละชนิด เช่น ในพืชผักที่กินผลมีการใส่ในปริมาณที่มากกว่าปกติในช่วงออกดอก เพื่อให้พืชใช้ปุ๋ยในช่วงออกผล ส่วนในไม้ประดับจะใส่ในปริมาณที่เท่ากันตลอดการทดลองซึ่งจะไม่มากเท่ากับพืชผักสวนครัว เป็นต้น จากคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่จะให้สารอาหารอย่างต่อเนื่องในปริมาณไม่มากนักจึงเหมาะสมที่จะใช้ปลูกไม้ประดับที่ไม่ต้องการสารอาหารมากแต่ต้องการอย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นยังพบว่าการเจริญเติบโตของพืชประกอบไปด้วยหลายด้าน อาทิ ธาตุอาหารที่มีในปุ๋ยหมัก การย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักที่ใช้ รวมทั้งสภาพแวดล้อมต่างๆ ในการปลูกพืชที่ต้องมีความเหมาะสมในพืชแต่ละชนิด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย

3.1.1 สถานที่ที่ใช้ศึกษากระบวนการหมักปุ๋ย

ดำเนินการหมักปุ๋ยหมักในถังหมัก บริเวณพื้นที่บดใบไม้และผลิตปุ๋ยหมัก อาคารคลังเก็บเอกสาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 สถานที่ศึกษาการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ เคมี และการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักตัวอย่าง ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการขยะ หน่วยวิจัยการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษากระบวนการหมักปุ๋ย

1. ถังพลาสติกทรงกระบอก สูง 1 เมตร ปริมาตร 0.79 ลูกบาศก์เมตร
2. ท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.05 เมตร
3. แผ่นพลาสติก ใช้ในการรองคลุกปุ๋ยก่อนบรรจุลงถังหมัก
4. วัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก
   - ใบจามจุรี
   - ผักตบชวา
   - ปุ๋ยยูเรีย
   - เศษปลานิลประเภทพวกหัว, ครีบ ที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็ก
   - มูลสุกร
   - กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานไก่สดแช่แข็ง
5. อุปกรณ์ในการผสมและดูแลปุ๋ยหมัก เช่น จอบ พลั่ว บัวรดน้ำ เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางกาย เคมี และชีวภาพของปุ๋ยหมักตัวอย่าง

1. ภาชนะเก็บตัวอย่าง เช่น ถุงพลาสติก
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่
   - เตาอบ (Oven)
   - ถ้วยกระเบื้องทนความร้อน (Porcelain Crucible)
   - โถแก้วป้องกันความชื้น (Desiccators)
   - เทอร์โมมิเตอร์ (Liquid in glass Thermometer)
   - เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (Analytical balance)
   - เครื่องวัดพีเอช (pH meter with glass electrode)
   - เครื่องวัดความชื้นในดิน เครื่องวัดความชื้นในดิน รุ่น ZD-05 (-ZD-05 Soil PH and Moisture Tester) บริษัท ซายน์ลูชั่น จำกัด
   - เครื่องเขย่า (Shaking machine)
   - ชุดย่อยและชุดกลั่นตัวอย่าง (Macro Kjeldahl Digestion and Distillation Apparatus)
   - เตาย่อยสารตัวอย่าง (Digestion block)
   - Kjeldahl flask ขนาด 800 มิลลิลิตร
   - ตู้ดูดควันและไอกรด (Hood)
   - Magnetic stirrer
   - เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Spectrophotometer)
   - Atomic Absorption Spectrophotometer
   - เครื่องกรองสูญญากาศ (Vacuum filter)
   - กระดาษกรอง whatman no. 42
   - กระดาษกรอง whatman no. 1
   - จานเพาะเมล็ด พร้อมเมล็ดพืช (ถั่วเขียว)
   - เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ เช่น บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร กระบอกตวง ตะแกรงร่อนตัวอย่าง ปิเปต บิวเรต กรวยกรอง แท่งแก้ว และช้อนตักสาร เป็นต้น
3. สารเคมี
   - น้ำกลั่น
   - Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$)
   - Ferrous sulfate หรือ Ammonium ferrous sulfate [$FeSO_4.7H_2O$ หรือ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$]

- O-phenanthroline
- Sulfuric acid 95-98% (H_2SO_4 conc.)
- Potassium sulfate (K_2SO_4)
- Copper sulfate ($CuSO_4.5H_2O$)
- Selenium metal (Se)
- Bromocresol green
- Methyl red
- Ethanol
- Boric acid (H_3BO_3)
- Sodium hydroxide (NaOH)
- Nitric acid 65% (HNO_3 (conc.))
- Perchloric acid 70% ($HClO_4$ (conc.))
- Ammonium molybdate ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$)
- Ammonium metavanadate (NH_4VO_3)
- Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4)
- Potassium chloride (KCl)

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

1. เตรียมวัตถุดิบ
   - ใบจามจุรี คัดเลือกเฉพาะใบจามจุรีเพื่อนำเข้าเครื่องบดใบไม้ให้มีขนาดเล็ก
   - ผักตบชวา นำผักตบชวาที่เก็บมาล้างทำความสะอาดและหั่นให้มีขนาดเล็กประมาณ 1-2 เซนติเมตร โดยใช้ทุกส่วนของต้นผักตบชวา
   - เศษปลานิลสด คัดเลือกเฉพาะบริเวณหัวปลาและครีบของปลาสับให้มีขนาดเล็กประมาณ 1-2 เซนติเมตร
   - มูลสุกรและกากตะกอน นำมาผึ่งลมในที่ร่มประมาณ 1 วัน เพื่อให้ความชื้นลดลง ซึ่งจะง่ายต่อการผสมปุ๋ย
2. สุ่มตัวอย่าง ใบจามจุรี ผักตบชวา ปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกรและกากตะกอน นำไปวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีตามพารามิเตอร์และวิธีการ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์วัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
ความเป็นกรดเป็นเบส	วัดโดยใช้ pH meter	Huang และคณะ, 2004 ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542
ความชื้น (% moisture)	Oven-drying method	Tan, 2004
ปริมาณอินทรียวัตถุ	Walkley and Black method	Jackson, 1973
ปริมาณคาร์บอน	Walkley and Black method	Jackson, 1973
ปริมาณไนโตรเจน	Kjeldahl method	Jackson, 1973

3.3.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

โดยนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี จากข้อ 3.3.1 ซึ่งได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณคาร์บอน มาคำนวณหาปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก โดยกำหนดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นมีค่าประมาณ 30:1 ซึ่งแบ่งกลุ่มการทดลองตามชนิดของวัตถุดิบและอัตราส่วนได้ 8 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย ใบไม้แห้ง + ผักตบชวา + ปุ๋ยยูเรีย
กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย ใบไม้แห้ง + ผักตบชวา + ปุ๋ยยูเรีย
กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย ใบไม้แห้ง + ผักตบชวา + เศษปลานิลสด
กลุ่มที่ 4 ประกอบด้วย ใบไม้แห้ง + ผักตบชวา + เศษปลานิลสด
กลุ่มที่ 5 ประกอบด้วย ใบไม้แห้ง + ผักตบชวา + มูลสุกร
กลุ่มที่ 6 ประกอบด้วย ใบไม้แห้ง + ผักตบชวา + มูลสุกร
กลุ่มที่ 7 ประกอบด้วย ใบไม้แห้ง + ผักตบชวา + กากตะกอน
กลุ่มที่ 8 ประกอบด้วย ใบไม้แห้ง + ผักตบชวา + กากตะกอน

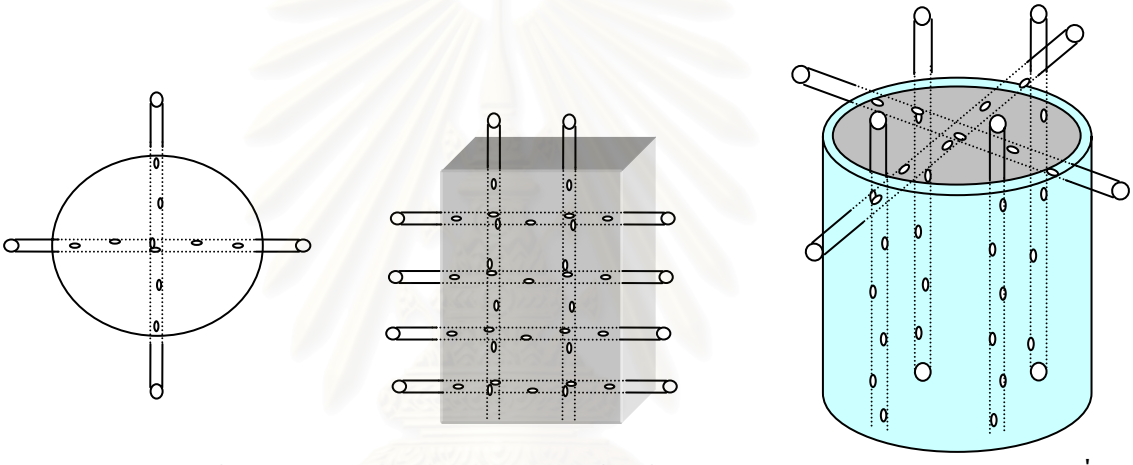
3.3.3 กระบวนการทำปุ๋ยหมัก

1. การเตรียมถังหมักและท่อพลาสติก เพื่อให้เกิดการระบายอากาศ

ใช้ถังพลาสติกปริมาตร 0.79 ลูกบาศก์เมตร ทำการเจาะรูที่ก้น บริเวณด้านข้างของถัง เพื่อให้อากาศสามารถระบายได้ภายในกองปุ๋ยหมัก และใช้ตะแกรงรองด้านในของก้นถัง เพื่อให้น้ำหมักสามารถระบายออกไปได้และเศษวัตถุดิบที่หมักไม่กระจายออกมานอกถัง ทำท่อระบายอากาศโดยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์ประมาณ 5 เซนติเมตร เจาะเป็นรูบริเวณผิวของท่อ เพื่อให้อากาศสามารถเข้าไปสู่ปุ๋ยหมักได้

2. การทำปุ๋ยหมักและการดูแล

นำวัตถุดิบในแต่ชุดการทดลองจากข้อ 3.3.2 ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ขณะเดียวกันก็รดน้ำ เพื่อให้ความชื้นของกองปุ๋ยหมักมีค่าประมาณ 50-60% สามารถทดสอบได้โดยใช้มือกำวัสดุแล้วบีบแรงๆ จะมีน้ำไหลออกมาตามร่องนิ้วมือเล็กน้อย พอคลายมือออกจะไม่แตกไม่เป็นก้อน และใช้เครื่องวัดความชื้นของดินในการทราบค่าที่แน่นอน นำปุ๋ยหมักแต่ละชุดการทดลองใส่ลงในถังหมักที่เตรียมไว้ ทำช่องระบายอากาศ โดยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์ประมาณ 5 เซนติเมตร เจาะรูด้านข้างมาปักไว้ในกองปุ๋ยหมักทั้งในแนวดิ่งและแนวระนาบให้กระจายทั่วกองปุ๋ยหมัก เพื่อเป็นการระบายอากาศในกองปุ๋ยหมัก ปิดฝาเพื่อป้องกันแมลงและสัตว์ แล้วนำไปตั้งหมักทิ้งไว้ในที่ร่ม ดังภาพที่ 3.1 ทำการกลับกองปุ๋ยหมัก ทุกๆ 1 สัปดาห์ และถ้าปุ๋ยหมักแห้งเกินไป จะรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้กองปุ๋ยหมักมีความชื้นประมาณ 50-60%



(ก) ภาคตัดขวางด้านบน (ข) ภาคตัดขวางด้านข้าง (ค) ลักษณะการปักท่อตามแนวดิ่ง

ภาพที่ 3.1 ลักษณะของถังหมัก

3.3.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ เคมี และการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักระหว่างและเมื่อสิ้นสุดการหมัก

1. การเก็บและการเตรียมตัวอย่าง (Compost sample and preparation)

1.1 ปุ๋ยหมักที่อยู่ในถังทุกกลุ่มการทดลองจะมีความสูงไม่เกิน 1 เมตรจากก้นถังจนถึงผิวหน้าของปุ๋ยหมัก ในการเก็บตัวอย่างกำหนดจุดเก็บจำนวน 3 จุด โดยสุ่มเก็บที่ความลึก 0.5 เมตร จากระดับพื้นที่ผิวหน้าของปุ๋ยหมักในทุกการทดลอง

1.2 นำปุ๋ยหมักที่ได้มากองรวมกันและคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักประมาณ 0.5 กิโลกรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของปุ๋ยหมัก

1.3 เก็บรักษาตัวอย่างปุ๋ยหมักที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ยกเว้นการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นที่จะทำการวิเคราะห์ทันทีหลังจากการเก็บ

2. นำตัวอย่างปุ๋ยหมักที่เก็บมาวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีตามพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ (ตารางที่ 3.2)

3.3.5 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแหล่งไนโตรเจนกับเวลาการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) เพื่อทดสอบว่าแต่ละชนิดมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 หรือไม่ ถ้าแตกต่างกันจะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan 's new multiple range test (DMRT) ของตัวแปรนั้น

2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปุ๋ยหมักกับเวลา

2.1 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักทั้ง 8 กลุ่ม เพื่อบ่งบอกถึงระยะเวลาที่แน่นอนในการใช้ย่อยสลายปุ๋ยหมักที่มีวัตถุดิบแต่ละประเภท

2.2 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ในตารางที่ 3.2 กับเวลา เพื่อบ่งบอกถึงสภาพการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่เกิดขึ้นในการปุ๋ยหมักทั้ง 8 กลุ่มการทดลอง

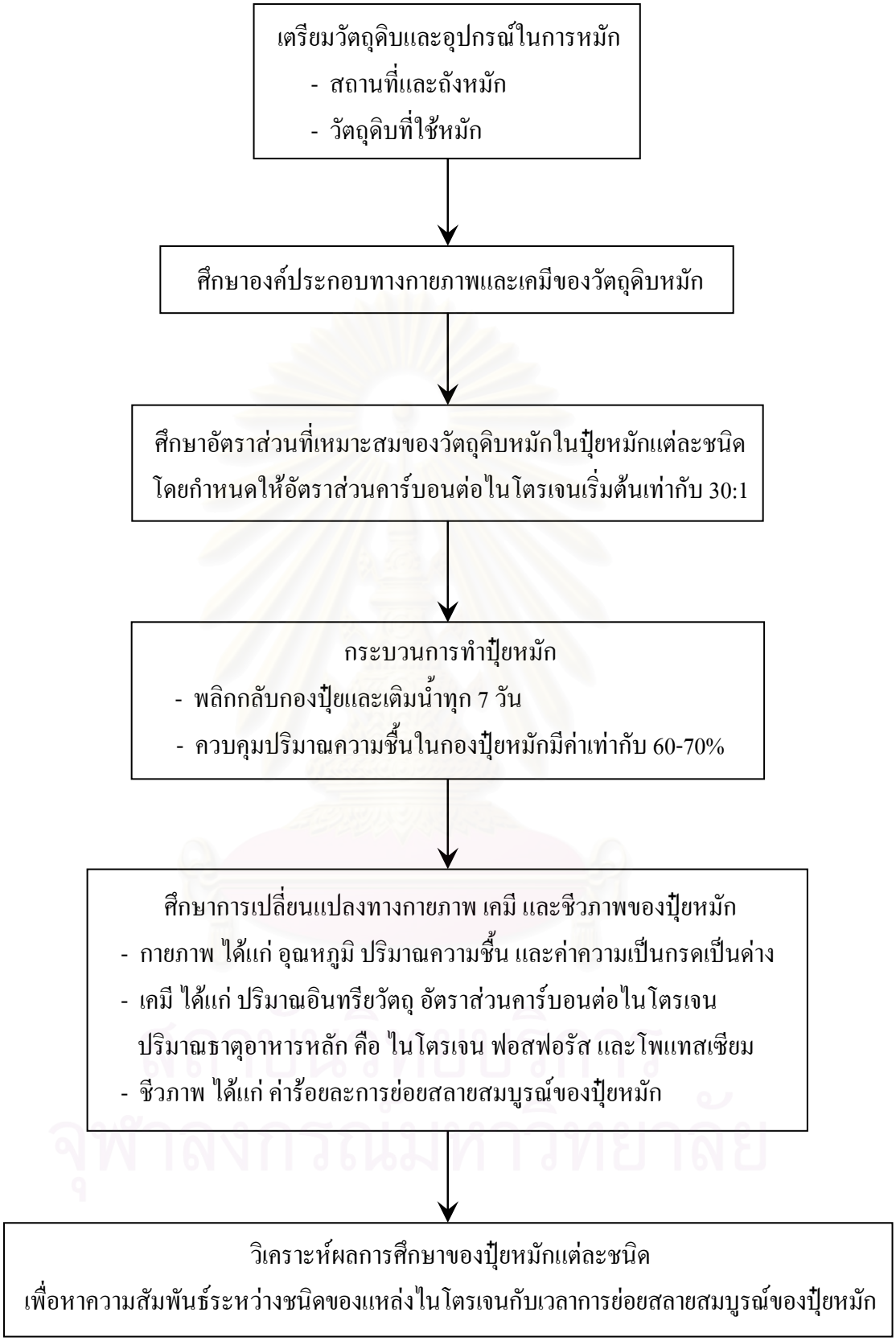
2.3 สรุปความสัมพันธ์ของเวลากับการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยอ้างอิงข้อมูลจากอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณธาตุอาหารเริ่มต้นและสุดท้าย เพื่อบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นและคุณภาพของปุ๋ยหมักในกองปุ๋ยหมักทั้ง 8 กลุ่มการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง และวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยหมักตัวอย่าง

การวิเคราะห์	ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	วิธีวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
อุณหภูมิ	ทุกวัน	เทอร์โมมิเตอร์	ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542
ความเป็นกรดเป็นด่าง	ทุกวัน	pH meter	Huang et al, 2004 ; ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542
ปริมาณความชื้น	ทุก 7 วัน	Oven-drying method	Tan, 2004
การย่อยสลายสมบูรณ์	ทุก 7 วัน	ดัชนีการงอกของเมล็ด	มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2548
ปริมาณอินทรียวัตถุ	ทุก 14 วัน	Walkley and Black method	Jackson, 1973
C/N ratio	ทุก 14 วัน	-	-
ปริมาณไนโตรเจน (total N)	ทุก 14 วัน	Kjeldahl method	Jackson, 1973
ปริมาณฟอสฟอรัส (total P_2O_5)	ทุก 14 วัน	Spectrophotometer	Jackson, 1973
ปริมาณโพแทสเซียม (total K_2O)	ทุก 14 วัน	Atomic absorption spectrophotometer	Jackson, 1973

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.2 แผนผังการดำเนินการวิจัย

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาและอภิปรายผลแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ คือ ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก อัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักแต่ละกลุ่มการทดลอง ลักษณะสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของปุ๋ยหมักในระหว่างการหมัก และคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้

4.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

การวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก ได้แก่ ใบจามจุรีแห้ง ผักตบชวา ปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง เพื่อประเมินสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบหมัก ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องนำมาพิจารณาในการกำหนดสัดส่วนและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักแต่ละกลุ่ม โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่

4.1.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

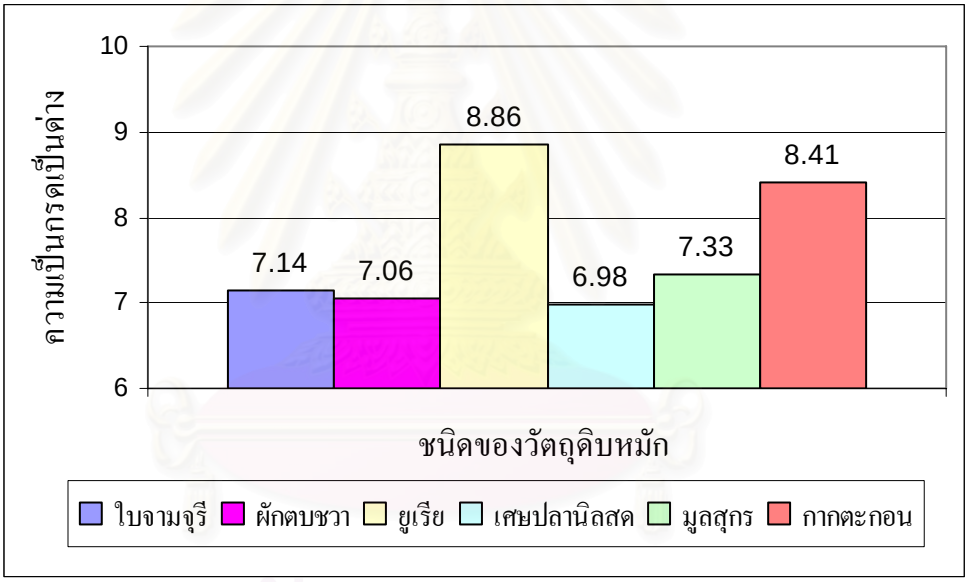
ความเป็นกรดเป็นด่างเป็นสมบัติพื้นฐานของวัตถุดิบหมัก เพราะจะสามารถเลือกผสมวัตถุดิบแต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัตถุดิบที่ใช้หมัก ได้แก่ ใบจามจุรีแห้ง ผักตบชวา ปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มีค่าเท่ากับ 7.14, 7.06, 8.86, 6.98, 7.33 และ 8.41 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัตถุดิบส่วนใหญ่จัดเป็นกลาง มีเพียงปุ๋ยยูเรียและกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งที่มีค่าเป็นด่าง โดยปุ๋ยยูเรียมีความเป็นด่างเนื่องจากยูเรียเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้แอมโนเนียมคาร์บอเนต ดังปฏิกิริยา (มัณฑนีย์ เศรษฐภักดี, 2551)

$$\underset{\text{ยูเรีย}}{CO(NH_2)_2} + 2H_2O \longrightarrow \underset{\text{แอมโมเนียมคาร์บอเนต}}{(NH_4)_2CO_3}$$

จากปฏิกิริยา จะเห็นว่า ยูเรียเป็นสารประกอบมีขั้วและสามารถให้อิเลคตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone paired electron) กับน้ำได้ ดังนั้นปุ๋ยยูเรียจึงมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีมาก นอกจากนั้นสามารถบอกได้ว่าปุ๋ยยูเรียเป็นเบสตามทฤษฎีของลิวอิส (Lewis concept) เพราะเบสของลิวอิส คือ สารประกอบหรือไอออนที่มีอิเล็คตรอนคู่ไม่เกิดพันธะซึ่งสามารถให้อิเล็กตรอนคู่ที่เกิดพันธะโคเวเลนต์กับนิวเคลียสอื่นที่ขาดอิเล็กตรอนได้ (อรุณี คงศักดิ์ไพศาล, 2551) ในขณะที่กากตะกอน

ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งมีความเป็นด่าง เนื่องจากในกากตะกอนมีสารประกอบพวกเกลือปะปนอยู่ซึ่งมากจากน้ำเสียที่เกิดจากการล้างไก่ที่ต้องมีการใช้เกลือ นอกจากนั้นระบบบำบัดน้ำเสียยังมีการปรับสภาพโดยการเติมด่างลงไป จึงส่งผลให้กากตะกอนมีความเป็นด่างด้วย

ในการทำปุ๋ยหมักโดยทั่วไป การนำวัตถุดิบแต่ละชนิดมาทำปุ๋ยหมักนั้นจะต้องมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเริ่มต้นอยู่ในช่วงเป็นกลางหรือกรดอ่อน เพราะจุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตและเจริญเติบโตได้ ดังนั้นวัตถุดิบที่มีค่าความเป็นด่างต้องมีการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างเสียก่อน โดยวัตถุดิบที่นำมาปรับค่าในที่นี้ คือ ใบจามจุรีและผักตบชวา เพื่อให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีความเหมาะสมต่อจุลินทรีย์ประเภทที่สามารถย่อยสลายวัตถุดิบที่ทำปุ๋ยหมักได้ วลัยพร ผ่อนผัน (2547) กล่าวว่า การนำกากตะกอนมาใช้เป็นวัตถุดิบทำปุ๋ยหมักนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วงระหว่าง 5-10 ซึ่งค่าที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ 6-8 เนื่องจากเป็นช่วงที่สุดจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและมีกิจกรรมมากที่สุด

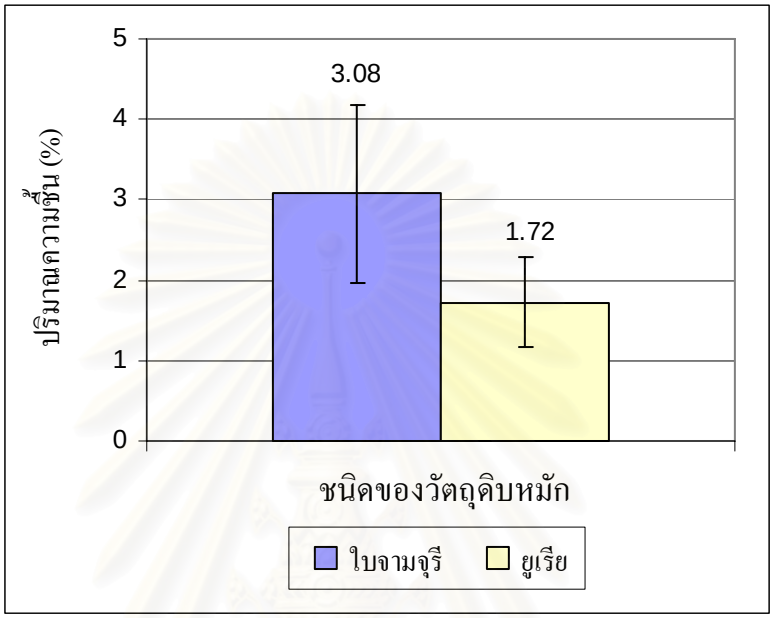


ภาพที่ 4.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัตถุดิบหมัก

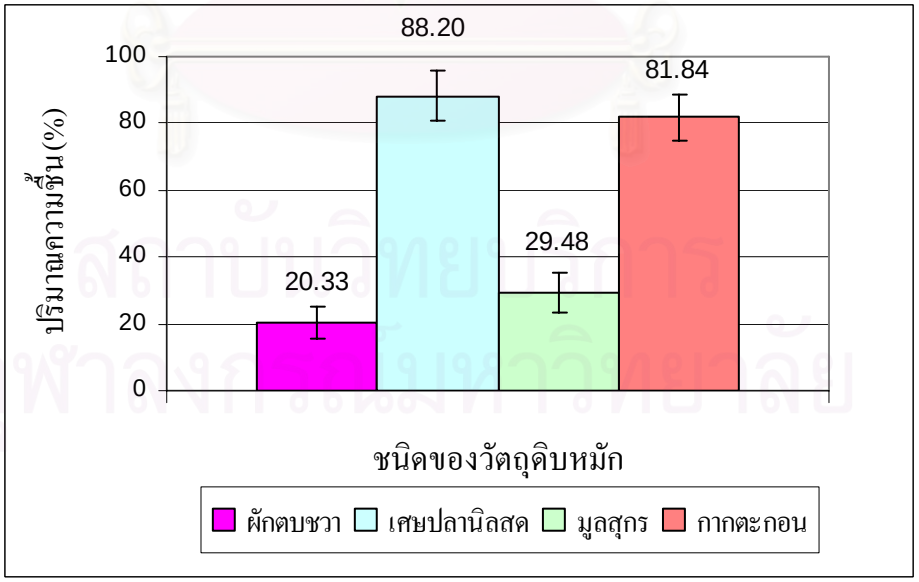
4.1.2 ปริมาณความชื้น (moisture content)

ปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำที่มีในวัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการหาสภาพที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักเพราะวัตถุดิบที่มีความหลากหลายปริมาณความชื้นที่มีก็ต่างกัน เช่น ความชื้นในใบไม้ชนิดเดียวกัน แต่เป็นใบสดและใบแห้ง ปริมาณความชื้นที่มีก็แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทราบค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบหมักแต่ละชนิด เป็นต้น ค่าปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่ใช้หมัก ได้แก่ ใบจามจุรีแห้ง ผักตบชวา ปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 3.08%, 20.33%, 1.72%, 88.20%, 29.48% และ 81.84% ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3) ปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งในกองปุ๋ยหมัก ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-70% เมื่อทำการผสมวัตถุดิบตามสัดส่วนที่คำนวณแล้ว ปริมาณความชื้นน้อยกว่าช่วงที่เหมาะสมจะทำการเติมน้ำเข้าไปในกองปุ๋ย



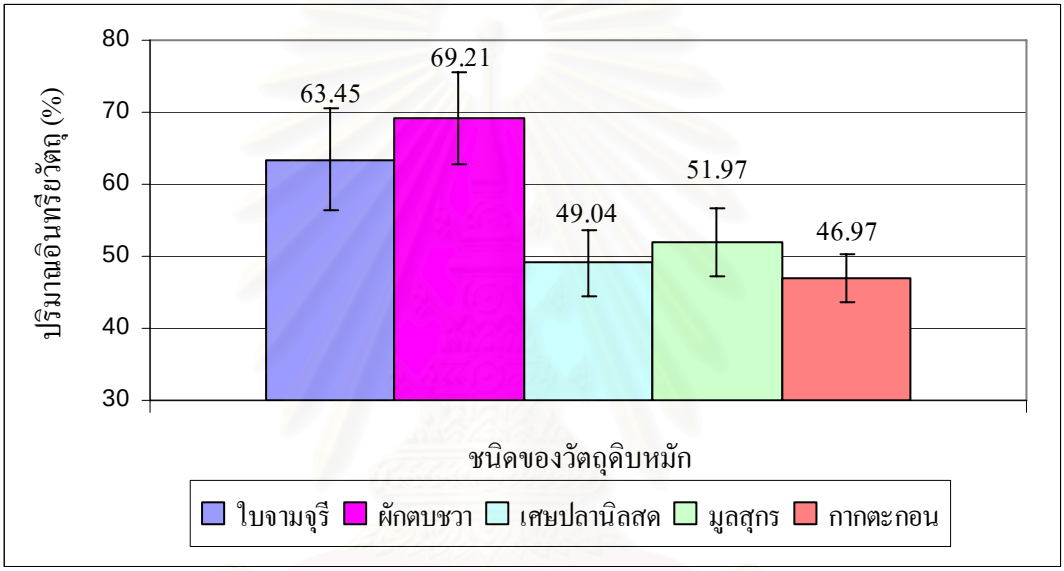
ภาพที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบหมักที่มีปริมาณน้อย



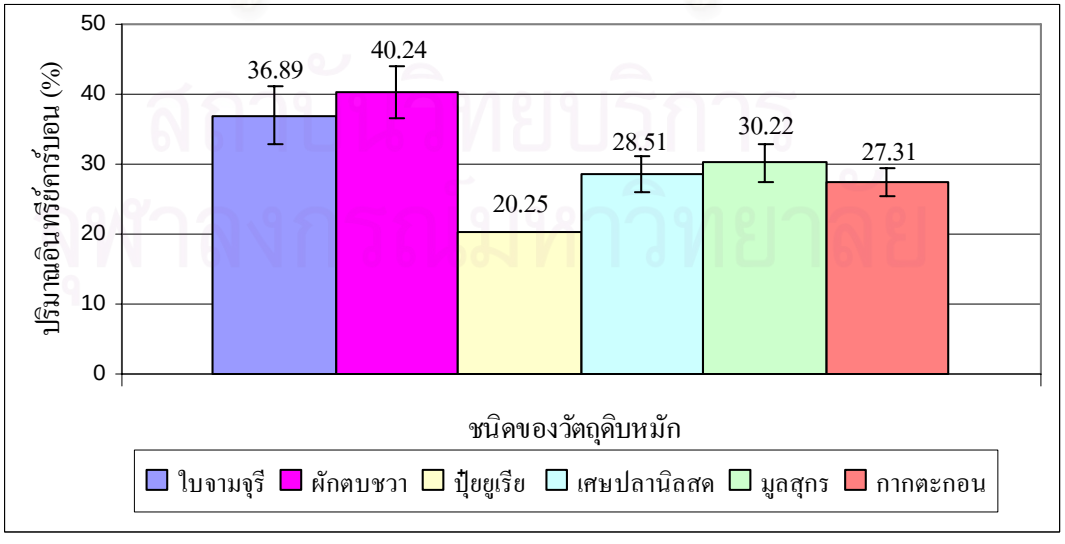
ภาพที่ 4.3 ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบหมักที่มีปริมาณมาก

4.1.3 ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter content)

อินทรียวัตถุของวัตถุดิบที่นำมาทำปุ๋ยหมักเป็นปริมาณอาหารหลักที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการดำรงชีวิตสำหรับจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุของวัตถุดิบที่ใช้หมัก ได้แก่ ใบจามจุรีแห้ง ผักตบชวา เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.45%, 69.21%, 49.04%, 51.97% และ 46.97% ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4) อินทรียวัตถุ (organic matter) คือ สารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ แต่ในวัตถุดิบที่ใช้หมักคือ ปุ๋ยยูเรีย นั้นจัดเป็นสารเคมีที่เกิดจากการสังเคราะห์ ซึ่งไม่ใช่สารอินทรีย์โดยธรรมชาติจึงไม่หาค่าปริมาณอินทรียวัตถุ ระดับอินทรียวัตถุในวัตถุดิบหมักทุกชนิดนั้นอยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูงมาก



ภาพที่ 4.4 ปริมาณอินทรียวัตถุของวัตถุดิบหมัก



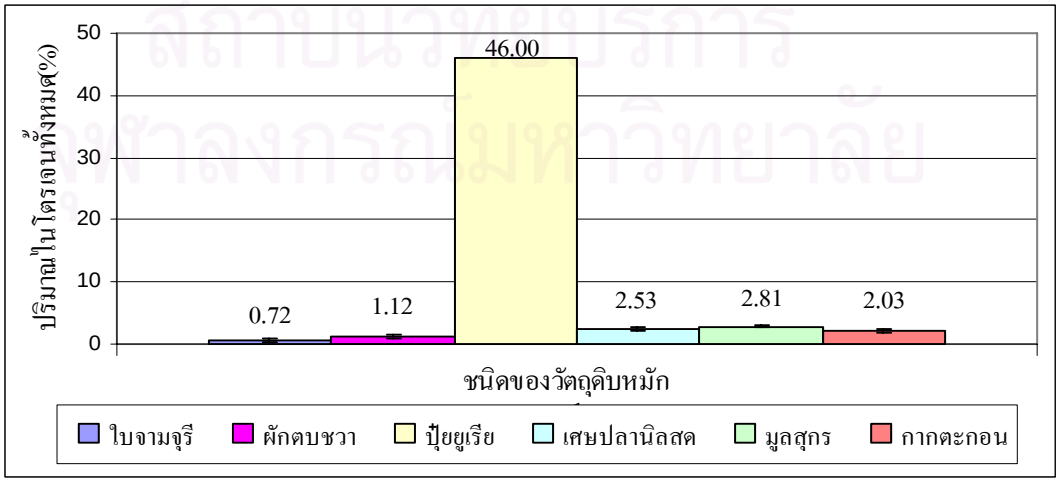
ภาพที่ 4.5 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของวัตถุดิบหมัก

4.1.4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon content)

คาร์บอนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์นั้นเป็นทั้งแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ (Heterotroph) เพราะจุลินทรีย์กลุ่มนี้จำเป็นต้องใช้อาหารจากสารอินทรีย์ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบหมัก ดังนั้นในวัตถุดิบหมักที่มีสารอินทรีย์อยู่มากย่อมเป็นแหล่งอาหารที่ดีสำหรับจุลินทรีย์ในการดำรงชีวิต ในกระบวนการหมักจึงต้องใช้วัตถุดิบที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักของกองปุ๋ยหมัก ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของวัตถุดิบที่ใช้หมัก ได้แก่ ใบจามจุรีแห้ง ผักตบชวา เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.89%, 40.24%, 28.51%, 30.22% และ 27.31% ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) อินทรีย์คาร์บอน คือ ธาตุคาร์บอนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ สำหรับปุ๋ยยูเรียเป็นสารเคมีที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ ซึ่งจากการคำนวณปุ๋ยยูเรียตามท้องตลาดที่มีธาตุอาหาร N-P-K เท่ากับ 46-0-0 นั้น และพิจารณาจากสูตรโครงสร้างของยูเรีย พบว่ามีปริมาณธาตุคาร์บอนเท่ากับ 20.25% ของน้ำหนักโมเลกุล จะเห็นว่า ใบจามจุรีและผักตบชวานั้นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ในพืชจะมีค่ามาก เนื่องจากมีส่วนประกอบอยู่ในรูปเซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนใหญ่อันเป็นแหล่งที่มีคาร์บอนสูง

4.1.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen content)

การทำปุ๋ยหมักให้ดีมีคุณภาพนั้นต้องคำนึงถึงวัตถุดิบหมักที่นำมาใช้ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัตถุดิบที่ใช้หมัก ได้แก่ ใบจามจุรีแห้ง ผักตบชวา เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.72%, 1.12%, 2.53%, 2.81% และ 2.03% ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6) สำหรับปุ๋ยยูเรียเป็นสารเคมีที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนคงที่ ซึ่งปุ๋ยยูเรียตามท้องตลาดในสูตร N-P-K มีค่า 46-0-0 ดังนั้นในปุ๋ยยูเรียจะมีไนโตรเจนเท่ากับ 46 กิโลกรัมในปริมาณปุ๋ยทั้งหมด 100 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยยูเรียกับค่าที่พบในวัตถุดิบหมักที่เป็นสารอินทรีย์นั้นมีค่าที่มากกว่ามาก ดังนั้นปริมาณที่ใช้ย่อมที่จะแตกต่างกันเช่นกัน



ภาพที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัตถุดิบหมัก

ผลการวิเคราะห์วัตถุดิบแต่ละชนิดมีค่าดังตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัตถุดิบหมักอยู่ในช่วงระหว่าง 7.06-8.86 ในขณะที่ปริมาณความชื้นมีค่าที่แตกต่างกันตามลักษณะของวัตถุดิบหมักแต่ละชนิด ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความชื้นน้อย ได้แก่ ใบจามจุรีแห้งและปุ๋ยยูเรีย กลุ่มที่มีความชื้นปานกลาง ได้แก่ ผักตบชวาและมูลสุกร และกลุ่มที่มีปริมาณความชื้นสูง ได้แก่ เศษปลานิลสดและกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง ปริมาณอินทรียวัตถุในวัตถุดิบหมักที่เป็นสารอินทรีย์แต่ละชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 46.97-69.21% ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีค่าอยู่ระหว่าง 27.31-40.24% เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในวัตถุดิบหมักพบว่ามีค่าสูงในวัตถุดิบที่เป็นพืช ดังนั้นในการหมักปุ๋ยจึงเลือกใช้ใบจามจุรีและผักตบชวาเป็นแหล่งคาร์บอนในกองปุ๋ยหมักเพราะเมื่อเปรียบปริมาณคาร์บอนพบว่ามีค่าสูงกว่าวัตถุดิบหมักชนิดอื่น ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัตถุดิบหมักที่เป็นสารอินทรีย์มีค่าระหว่าง 0.72-2.81% จากการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสามารถแบ่งวัตถุดิบเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำ คือ ใบจามจุรีแห้งและผักตบชวา อีกกลุ่มหนึ่ง คือ กลุ่มที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง คือ ปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง ดังนั้นในการหมักปุ๋ยวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งไนโตรเจนภายในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง โดยวัตถุดิบเหล่านี้จะให้ธาตุไนโตรเจนแก่จุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบหมัก

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ชนิดของวัตถุดิบหมัก					
	ใบจามจุรีแห้ง	ผักตบชวา	ปุ๋ยยูเรีย	เศษปลานิลสด	มูลสุกร	กากตะกอน
pH	7.14	7.06	8.86	6.98	7.33	8.41
MC (%)	3.08 ± 1.11	20.33 ± 4.66	1.72 ± 0.56	88.20 ± 7.49	29.48 ± 6.07	81.84 ± 7.04
OM (%)	63.45 ± 7.11	69.21 ± 6.35	-	49.04 ± 4.56	51.97 ± 4.76	46.97 ± 3.44
OC (%)	36.89 ± 4.13	40.24 ± 3.69	20.25	28.51 ± 2.65	30.22 ± 2.77	27.31 ± 2.00
TN (%)	0.72 ± 0.27	1.12 ± 0.31	46.00	2.53 ± 0.36	2.81 ± 0.22	2.03 ±0.26

หมายเหตุ : pH คือ ความเป็นกรดเป็นด่าง
MC คือ ปริมาณความชื้น
OM คือ ปริมาณอินทรียวัตถุ
OC คือ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน
TN คือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

4.2 อัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบที่ใช้หมัก ซึ่งได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนและปริมาณคาร์บอน แล้วคำนวณหาปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก โดยกำหนดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นมีค่าประมาณ 30 แสดงผลในตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้

ชนิดของวัตถุดิบ	ปริมาณแร่ธาตุในวัตถุดิบหมัก (% โดยน้ำหนัก)		อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	ปริมาณที่ใช้ในกองปุ๋ยหมัก (กิโลกรัม)
	คาร์บอน	ไนโตรเจน		
ใบจามจุรีแห้ง	36.89	0.72	50.99	20.00
ผักตบชวา	40.24	1.12	35.86	10.00
ปุ๋ยยูเรีย	20.25	46.00	0.44	0.27
เศษปลานิลสด	28.51	2.53	11.25	7.85
มูลสุกร	30.22	2.81	10.74	6.88
กากตะกอน	27.31	2.03	13.42	11.08

ปุ๋ยหมักแต่ละกลุ่มการทดลองมีชนิดของวัตถุดิบและปริมาณที่ได้จากการคำนวณ โดยอัตราส่วนของปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ในกองปุ๋ยหมักตามกลุ่มการทดลอง ดังตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในกองปุ๋ยหมัก คือ ใบจามจุรีและผักตบชวาจะมีปริมาณเท่ากับ 20 และ 10 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นจำนวนที่เท่ากันทุกกลุ่ม เพราะวัตถุดิบสองชนิดนี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนภายในกองปุ๋ยหมักที่กำหนดให้มีปริมาณที่เท่ากัน และศึกษาความแตกต่างของแหล่งไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักที่แตกต่างกัน คือ ปุ๋ยยูเรียซึ่งเป็นกลุ่มควบคุม เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่แช่แข็งในปริมาณเท่ากับ 0.27, 7.85, 6.88 และ 11.08 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณที่แตกต่างกันนี้เกิดจากการคำนวณให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของทุกกลุ่มมีค่าเท่ากับ 30 โดยในแต่ละกลุ่มการทดลองที่ทำปุ๋ยหมักนั้นจะทำซ้ำอีก 1 กอง ดังนั้นจึงกำหนดให้มีกองปุ๋ยหมักทั้งหมด 8 กอง

ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนของวัตถุดิบเมื่อเริ่มต้นหมัก

กลุ่มการทดลอง	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ (กิโลกรัม)					
	ใบจามจุรีแห้ง	ผักตบชวา	ปุ๋ยยูเรีย	เศษปลานิลสด	มูลสุกร	กากตะกอน
กลุ่มที่ 1 (ยูเรีย 1)	20.00	10.00	0.27	-	-	-
กลุ่มที่ 2 (ยูเรีย 2)	20.00	10.00	0.27	-	-	-
กลุ่มที่ 3 (เศษปลา 3)	20.00	10.00	-	7.85	-	-
กลุ่มที่ 4 (เศษปลา 4)	20.00	10.00	-	7.85	-	-
กลุ่มที่ 5 (มูลสุกร 5)	20.00	10.00	-	-	6.88	-
กลุ่มที่ 6 (มูลสุกร 6)	20.00	10.00	-	-	6.88	-
กลุ่มที่ 7 (กากตะกอน 7)	20.00	10.00	-	-	-	11.08
กลุ่มที่ 8 (กากตะกอน 8)	20.00	10.00	-	-	-	11.08

4.3 ลักษณะสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของปุ๋ยหมักในระหว่างการหมักและเมื่อสิ้นสุดการหมัก

4.3.1 ลักษณะสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างกระบวนการหมัก

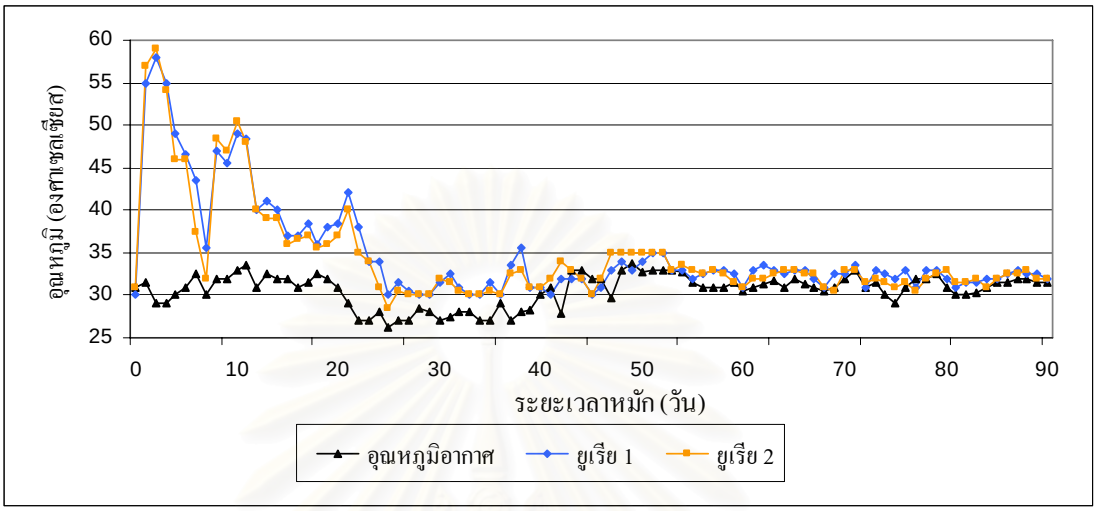
การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของปุ๋ยหมักเป็นการบ่งบอกถึงปัจจัยทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการหมักที่เกิดขึ้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์สามารถบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาเบื้องต้นที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักได้ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่

4.3.1.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่สามารถบ่งชี้ถึงกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักที่ส่งผลถึงคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ออกมา นอกจากนั้นยังสามารถบอกถึงกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำงานภายในกองปุ๋ยหมักได้ (Ko และคณะ, 2007)

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียทั้งกลุ่มที่ 1 และ 2 ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียทั้งสองกลุ่มมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในช่วง 7 วันแรกของการหมัก อุณหภูมิของปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นสูงที่สุดอยู่ในช่วง 53-58 องศาเซลเซียส และจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเมื่อเติมน้ำและพลิกกลับกองอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเทอร์โมฟิลิกอีกครั้ง ในวันที่ 12-23 อุณหภูมิจะสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศอยู่ในช่วงประมาณ 36-42 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงนี้มีการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม

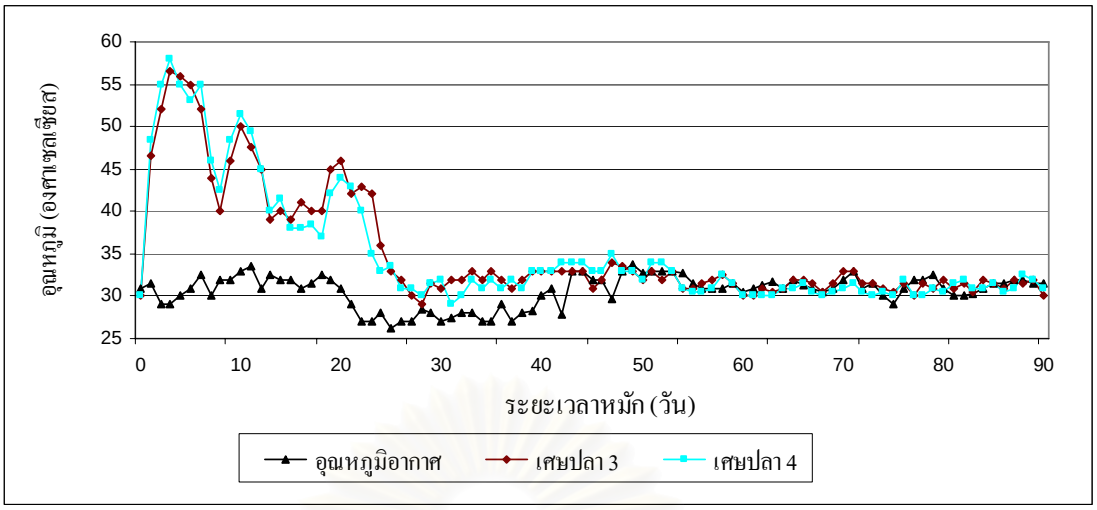
อุณหภูมิปานกลาง คือ เมโซฟิลิก นั่นแสดงว่า สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ยังคงเหลืออยู่มากจุลินทรีย์จึงยังคงทำงานได้ดี หลังจากนั้นอุณหภูมิเริ่มเข้าใกล้และรักษาระดับใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศที่ระยะเวลาหมักวันที่ 43 ของการหมักจนสิ้นสุดการทดลอง



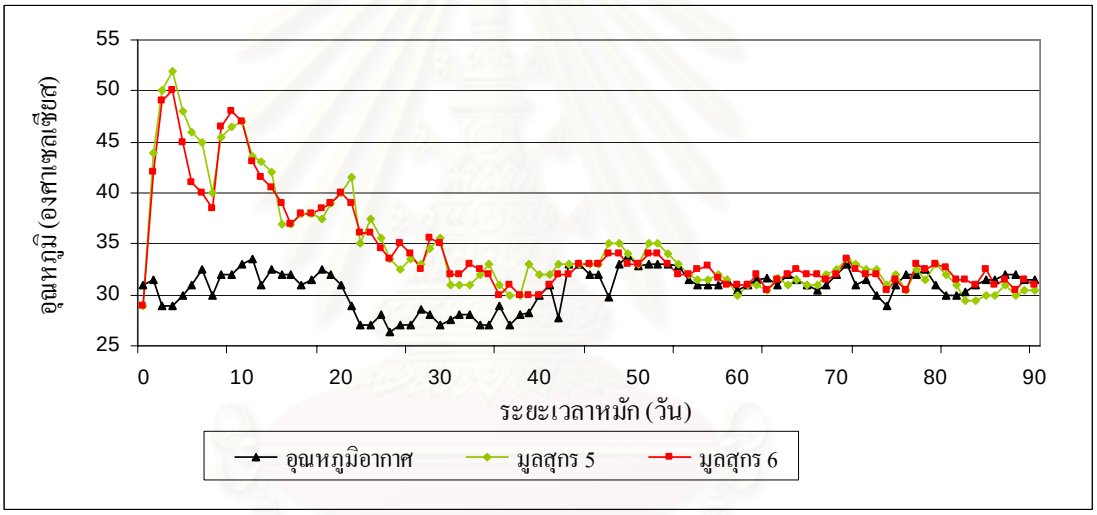
ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย

ในกองปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทั้งกลุ่มที่ 3 และ 4 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่มีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง ดังภาพที่ 4.8 ในช่วง 12 วันแรกของการหมักอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและสูงที่สุดประมาณ 56-58 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดทั้งสองกลุ่มสูงจนอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิกเป็นเวลา คือ 8 และ 10 วัน ซึ่งเมื่อเติมน้ำและพลิกกลับกองอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดอุณหภูมิจึงสูงขึ้นอีกครั้ง ในช่วงวันที่ 12-24 ของการหมัก อุณหภูมิก็จะเข้าสู่ช่วงเมโซฟิลิกที่ยังคงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยังเหลืออยู่แล้วอุณหภูมิเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงจนรักษาระดับใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 48 วันจนสิ้นสุดการทดลอง

ในกองปุ๋ยหมักมูลสุกรในกลุ่มที่ 5 และ 6 ของการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ดังภาพที่ 4.9 โดยอุณหภูมิของทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง ซึ่งอุณหภูมิในช่วงแรกจะสูงและค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิเริ่มมีค่าคงที่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งในช่วง 10 วันแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นและสูงที่สุดประมาณ 45-52 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 และ 6 วัน ตามลำดับ เมื่อเติมน้ำและพลิกกลับกองอุณหภูมิของปุ๋ยหมักมูลสุกรจึงยังคงเพิ่มสูงขึ้นอยู่ต่อไป วันที่ 11-54 อุณหภูมิจะเข้าสู่ช่วงเมโซฟิลิกที่ยังคงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยังเหลืออยู่ อุณหภูมิเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 50 วันจนสิ้นสุดการทดลอง



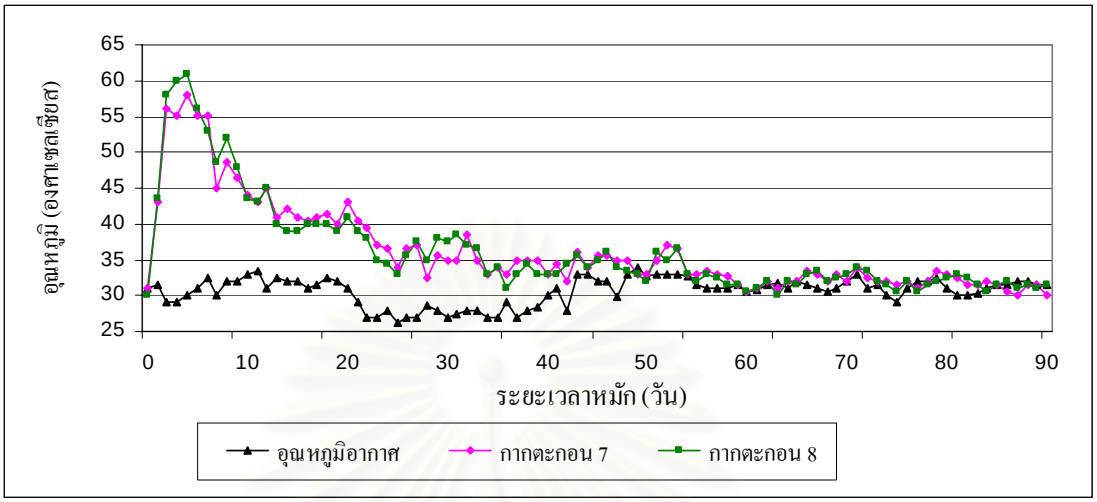
ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักมูลสุกร

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งในกลุ่มที่ 7 และ 8 ดังภาพที่ 4.10 ซึ่งแนวโน้มใกล้เคียงกันทั้งสองกลุ่ม โดยในช่วง 12 วันแรก อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและสูงที่สุด 46.5-61.0 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิกและจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิ จะเห็นว่า อุณหภูมิของปุ๋ยหมักกากตะกอนสูง อาจเกิดจากกากตะกอนมีกลุ่มจุลินทรีย์และปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่ย่อยสลายมาแล้วจำนวนหนึ่ง จึงทำให้จุลินทรีย์ใช้ไนโตรเจนได้ง่ายและเร็วกว่าวัตถุดิบหมักชนิดอื่น วันที่ 13-33 อุณหภูมิจะเข้าสู่ช่วงเมโซฟิลิกที่ยังคงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยังเหลืออยู่ สำหรับปุ๋ยหมักกากตะกอนนี้อุณหภูมิในช่วงเมโซฟิลิกไม่ค่อยสูงมากนัก อาจเนื่องมาจากกากตะกอนที่ย่อยสลายมาแล้วส่วนหนึ่งนั้นมีความคงตัว จึงทำให้สารอินทรีย์ที่เหลือมีจำนวนไม่มากนัก ดังนั้นการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นแต่ไม่มาก

เมื่อเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่น อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงและใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศที่ระยะเวลาในการหมักประมาณ 54 วันจนสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักกากตะกอน

อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือ อุณหภูมิจะสูงมากในช่วงแรกของการหมัก จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงซึ่งยังคงสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ จากนั้นจะลดลงจนใกล้เคียงและรักษาระดับเดียวกับอุณหภูมิบรรยากาศ ดังภาพที่ 4.11 จะเห็นว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด และมูลสุกร จะมีอุณหภูมิที่ขึ้นสูง 3 ระยะในช่วง 27 วันแรกของการหมัก ซึ่งช่วงที่อุณหภูมิขึ้นสูงในช่วง 2 ระยะแรกนั้น เนื่องจากการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างเข้มข้น จุลินทรีย์มีจำนวนมาก มีปริมาณอาหารและสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม การย่อยสลายจึงเกิดขึ้นมาก ดังนั้นความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจึงมีผลทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว และในช่วงระหว่างวันที่ 12-18 ของการหมักนั้นอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อเทียบกับอุณหภูมิก่อนวันที่ 12 จะเห็นว่า มีค่าน้อยกว่าอาจเนื่องจากจุลินทรีย์ในช่วงเทอร์โมฟิลิกมีจำนวนลดลงการย่อยสลายที่เกิดขึ้นจึงลดลงเช่นกัน ทำให้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อาจกล่าวได้ว่าเป็นระยะที่จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักมีการปรับตัวจากกลุ่มเทอร์โมฟิลิกไปเป็นกลุ่มเมโซฟิลิก และเมื่อจุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิกมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นการย่อยสลายจึงเพิ่มมากขึ้น ความร้อนที่ปลดปล่อยออกมามีมากขึ้น จึงส่งผลทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีกครั้งแต่ระดับของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะมีค่าน้อยกว่าในช่วงระยะแรกของการหมัก

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชนิดนั้นมีความแตกต่างจากปุ๋ยหมักกากตะกอน โดยปุ๋ยหมักกากตะกอนลักษณะอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นสูงสุดอย่างรวดเร็วและจะค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาในการหมัก อาจเพราะกากตะกอนมีการย่อยสลายมาแล้วส่วนหนึ่งดังนั้นใน

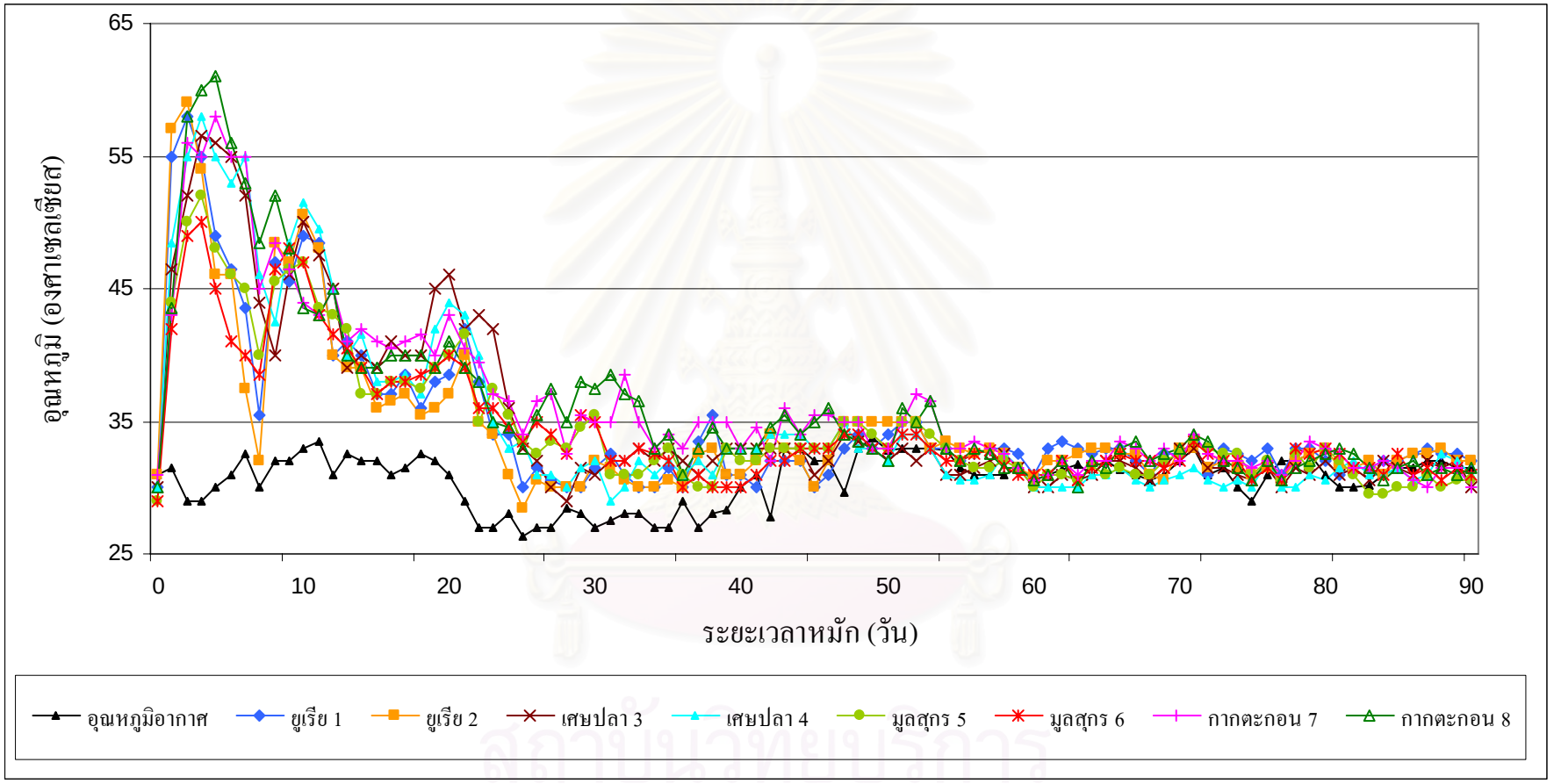
ช่วงแรกจุลินทรีย์จึงสามารถนำสารอาหารส่วนที่ย่อยมาแล้วใช้ได้ทันที อุณหภูมิในช่วงแรกจึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจุลินทรีย์จึงย่อยสลายโครงสร้างที่ซับซ้อนเพิ่มขึ้นการนำสารอาหารเข้าไปใช้ทันทีจึงลดลงเมื่อเทียบกับช่วงแรก จึงส่งผลทำให้อุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้นมากจนเห็นความแตกต่างเหมือนในปุ๋ยหมักชนิดอื่น แต่การย่อยสลายในปุ๋ยหมักกากตะกอนยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเพราะในวันที่ 36 ของการหมักอุณหภูมิยังคงมีค่ามากกว่า 35 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปุ๋ยหมักชนิดอื่นมีอุณหภูมิต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียสในวันเดียวกัน อาจกล่าวได้ว่าในช่วง 27 วันแรกของการหมักปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด และมูลสุกร มีการย่อยสลายอย่างเข้มข้นและรวดเร็วกว่าปุ๋ยหมักกากตะกอน ซึ่งสามารถบ่งบอกได้จากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก และเมื่อการย่อยสลายใกล้เสร็จสมบูรณ์อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจึงเริ่มลดลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ นอกจากนั้นอีกหนึ่งเหตุผลที่ทำให้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมักกากตะกอนมีความแตกต่างกัน คือ การย่อยสลายที่เกิดขึ้นไม่เข้มข้นเท่ากับในปุ๋ยหมักแต่ละชนิดจึงส่งผลให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด และมูลสุกร ซึ่งอัตราการย่อยสลายที่แตกต่างกันในปุ๋ยหมักแต่ละชนิดนั้นมีผลให้ความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายนั้นมีค่าแตกต่างกัน เมื่อความร้อนที่ได้จากการย่อยสลายมีค่ามากกว่าความร้อนที่ระเหยออกจากกองปุ๋ยหมักจึงส่งผลทำให้ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีอุณหภูมิที่สูงแตกต่างกัน

อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในช่วงแรกมีค่าสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงเทอร์โมฟิลิก Zhang และ He (2006) กล่าวว่า โดยทั่วไปอุณหภูมิตั้งแต่ 52-60 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่เกิดกิจกรรมในระยะเทอร์โมฟิลิกสูงที่สุดในระบบการหมัก ซึ่งควรมีค่า 55 องศาเซลเซียส ติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน เพราะจะสามารถทำลายเชื้อโรคและศัตรูพืชในกองปุ๋ยหมักได้ และอุณหภูมิในช่วง 60-65 องศาเซลเซียส สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้เกือบทั้งหมดและบางกรณีกระบวนการหมักก็จะหยุดชะงักลงด้วย ทั้งนี้อุณหภูมิที่สูงนี้เกิดจากการปลดปล่อยความร้อนจากการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่า จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีและรวดเร็วจึงมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับ ธันวดี ศรีธาวิรัตน์ (2547) กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสอดคล้องกับปริมาณของจุลินทรีย์ประเภทเทอร์โมฟิลิกที่มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่เกิดขึ้นนั้นมาจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบมีมากขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิที่สูงที่สุด จะเห็นว่า อุณหภูมิในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียและกากตะกอนระบบบำบัดน้ำโรงงานไก่สดแช่แข็งนั้นมีค่าสูงมาก คือ 59 และ 61 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งน่าจะมีเกิดจากเหตุผลเดียวกัน คือ ปุ๋ยยูเรียและกากตะกอนมีไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์และอยู่ในภาพที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้เลย จึงทำให้เกิดการย่อยสลายได้รวดเร็ว อุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นสูงมากกว่ากลุ่มอื่น และเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 7 วัน อุณหภูมิของปุ๋ยหมักจะ

เริ่มลดลง เนื่องจากปริมาณความชื้นและการระบายอากาศในกองปุ๋ยหมักไม่เพียงพอ ซึ่งเมื่อทำการพลิกกลับกองและเติมน้ำอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วงเมโซฟิลิก คือ 35-45 องศาเซลเซียส ช่วงนี้จะเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์พวกอินทรียวัตถุโดยกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิกซึ่งในช่วงนี้กลุ่มจุลินทรีย์อุณหภูมิสูงจะมีน้อยลงหรืออาจจะไม่มีเลย เพราะสภาพอุณหภูมิไม่เหมาะสม ดังนั้นจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในช่วงนี้จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่รวดเร็วเหมือนตอนเริ่มต้นการหมัก หลังจากนั้นอุณหภูมิของปุ๋ยหมักก็จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง แม้จะทำการพลิกกลับกองและเติมน้ำอุณหภูมิก็ยังไม่เพิ่มขึ้นมากนักและจะลดลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ เรียกว่า ช่วงการย่อยสลายสมบูรณ์ (Maturation phase) ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นน้อยมาก เพราะสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนเกือบหมดแล้ว สังเกตได้จากเมื่อทำการพลิกกลับกองและเติมน้ำแล้ว อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะไม่เพิ่มขึ้นมากหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนไม่เปลี่ยนแปลงเลย แสดงว่าปุ๋ยหมักเริ่มย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์และสามารถนำมาใช้ได้แล้ว (เจนวิทย์ กรอบทอง, 2544)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

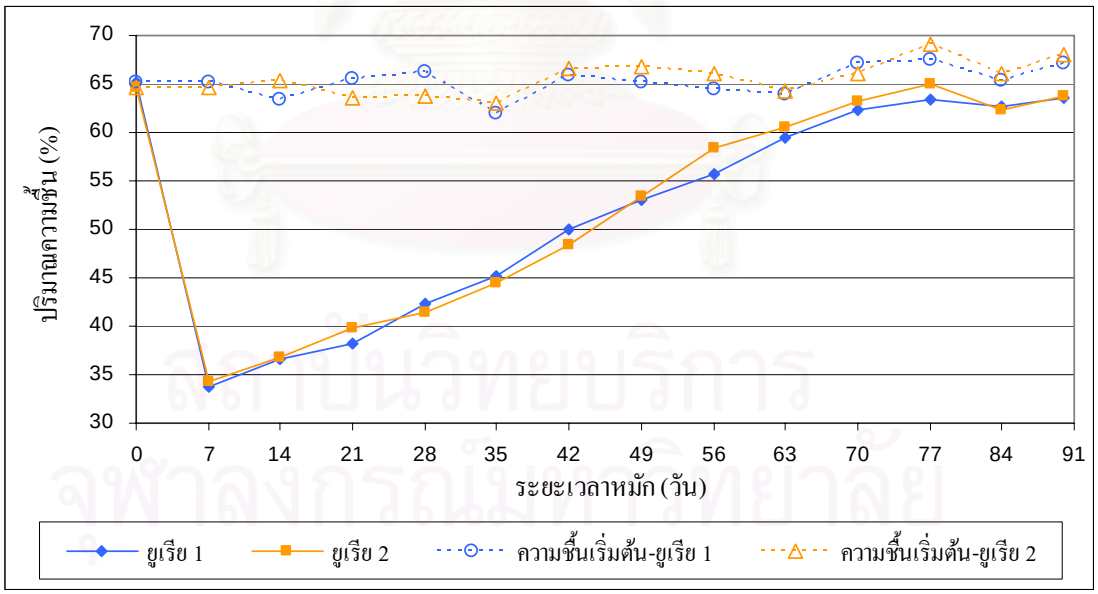


ภาพที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง

4.3.1.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการหมัก เนื่องจากความชื้นจะบ่งบอกปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ที่ต้องใช้ในการดำรงชีวิตและการทำกิจกรรมต่างๆ ความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-70% ดังนั้นในการทดลองจึงมีการเติมน้ำและกลับกองปุ๋ยหมักทุก 7 วัน เพื่อให้สภาพแวดล้อมเหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ให้มากที่สุด ในการทดลองจะเก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักและวัดค่าปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักแต่ละกองทุก 7 วัน เพื่อทราบถึงปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่และที่ถูกใช้ไปในกองปุ๋ยหมักแต่ละกองก่อน แล้วจึงพลิกกลับกองเพื่อเพิ่มการระบายอากาศและปรับค่าปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยหมักด้วยการเติมน้ำเพื่อรักษาระดับให้มีค่าประมาณ 60-70%

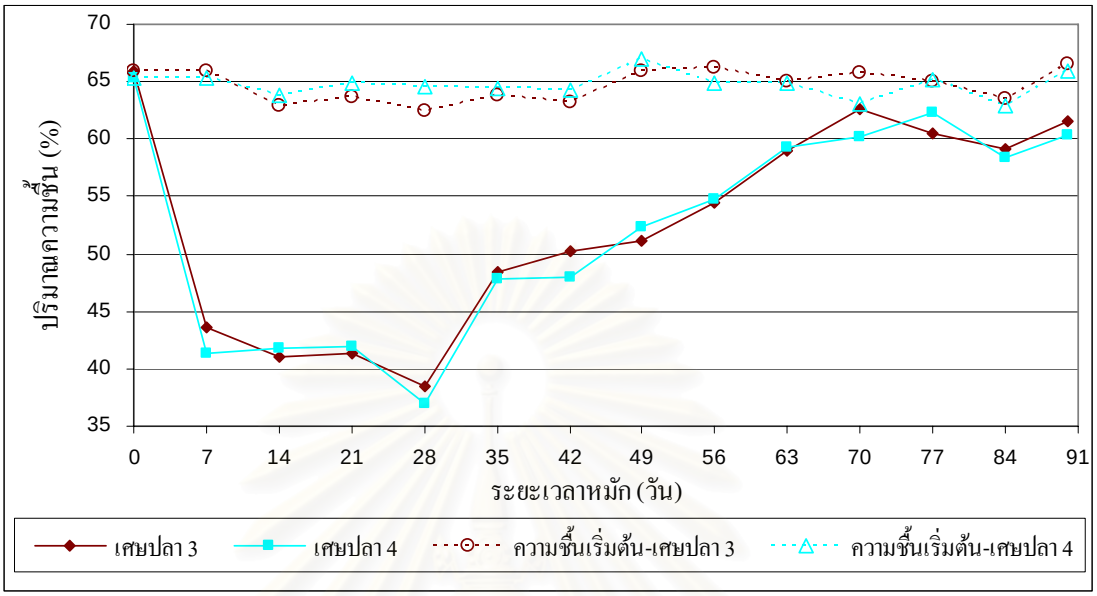
ปริมาณความชื้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 4.12 พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 90 ปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย กลุ่มที่ 1 และ 2 มีค่า 63.63% และ 63.75% ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น คือ ความชื้นถูกใช้ไปมากและรวดเร็วโดยเฉพาะในช่วงสัปดาห์แรกของการหมัก และจากนั้นแนวโน้มของความชื้นในกอง ปุ๋ยหมักก็เพิ่มมากขึ้นจนเริ่มคงที่ ในวันที่ 63 จนสิ้นสุดการทดลอง การสูญเสียปริมาณความชื้นเริ่มมีค่าคงที่



ภาพที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของกองปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักเศษปลาสดนิลสดในกองที่ 3 และ 4 ดังภาพที่ 4.13 เมื่อสิ้นสุดการทดลองปุ๋ยหมักมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 61.54% และ 60.40% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ปริมาณความชื้นที่หายไปใน

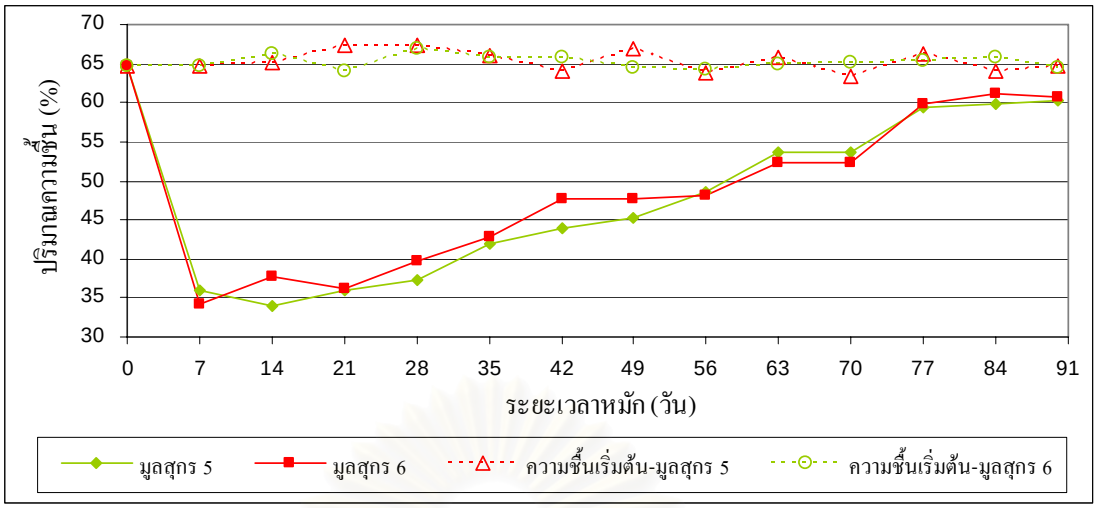
กองปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดนั้นมีค่าประมาณ 25% ในช่วงตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงวันที่ 28 หลังจากนั้นความชื้นจะมีค่ามากขึ้นและเริ่มคงที่ในวันที่ 63 ของการหมักจนสิ้นสุดการทดลอง



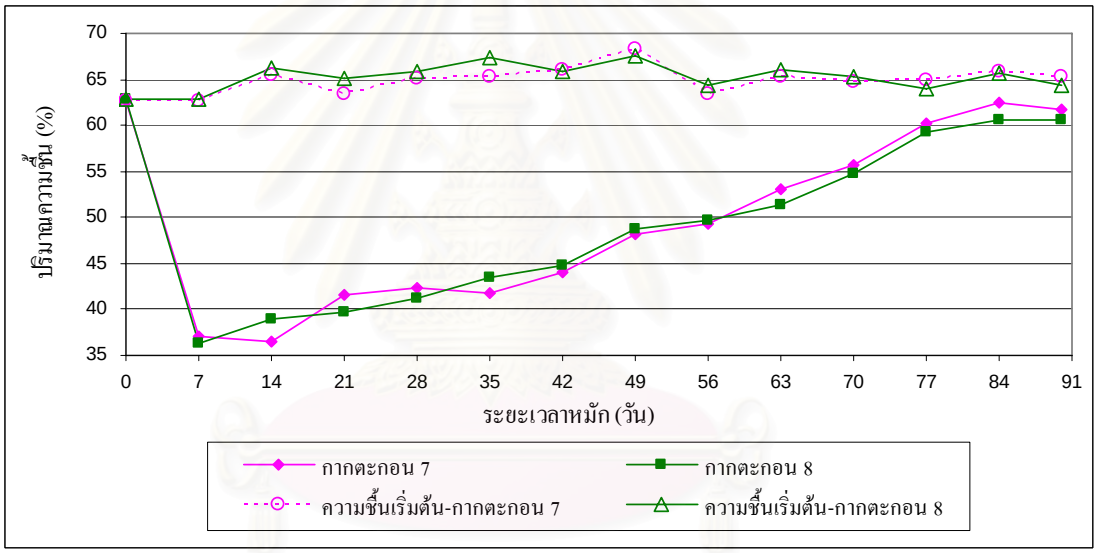
ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักมูลสุกรในกองที่ 5 และ 6 ดังภาพที่ 4.14 เมื่อสิ้นสุดการทดลองกองปุ๋ยหมักมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 60.38% และ 60.69% ตามลำดับ โดยแนวโน้มในการเปลี่ยนของทั้งสองกลุ่มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยในวันที่ 7 มีค่าเพียง 35.98% และ 34.26% ตามลำดับ และในวันที่ 14, 21 และ 28 ปริมาณความชื้นที่เหลือที่มีค่าน้อยกว่า 40% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่มีน้อยมีผลทำให้จุลินทรีย์อาจหยุดชะงักไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ และค่าจะเริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 77 ของการหมักจนสิ้นสุดการทดลอง

ปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งกองที่ 7 และ 8 มีการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 4.15 พบว่า ปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยหมักทั้งสองกองมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มทิศทางเดียวกัน คือ ในช่วงแรกจะมีค่าน้อยมากและค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนคงที่ในวันที่ 77 เมื่อสิ้นสุดการหมักปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยหมักมีค่า 61.77% และ 60.67% ตามลำดับ ทั้งนี้ กากตะกอนที่นำมาหมักนั้นเป็นกากตะกอนเปียกที่มีความชื้นสูงอยู่แล้วจึงรวมเป็นก้อน ดังนั้นในการนำมาผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่นนั้นจึงผสมกับน้ำก่อนเพื่อให้แตกตัวและให้มีขนาดเล็กลงสามารถคลุกเคล้าให้อย่างทั่วถึง

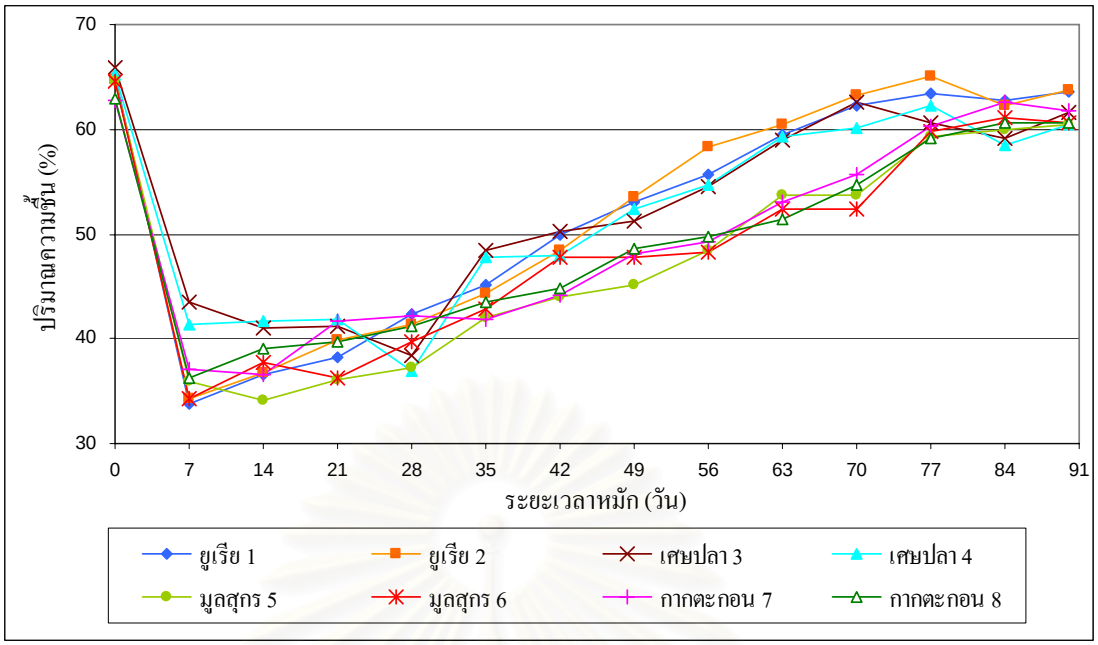


ภาพที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักมูลสุกร



ภาพที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักกากตะกอน

ความชื้นมีความสำคัญในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกำหนดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนพื้นผิวของวัตถุดิบหมัก โดยจะเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหาร และก๊าซออกซิเจนจากวัตถุดิบหมักและอากาศไปยังจุลินทรีย์ นอกจากนั้นยังเป็นตัวกลางในการส่งเอนไซม์เข้าย่อยสลายวัตถุดิบหมักด้วย (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547) ปริมาณความชื้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดในช่วงการหมัก โดยปกติกองปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิสูงทำให้น้ำระเหยออกตลอดเวลา แม้ว่าจะใช้วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดีก็ตาม ดังนั้นจึงต้องมีการเติมน้ำลงในกองปุ๋ยหมักในแต่ละช่วงเวลาอย่างเหมาะสม โดยไม่ทำให้ปริมาณความชื้นมีมากหรือน้อยเกินไป เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์



ภาพที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง

จากการทดลองหมักปุ๋ยที่มีวัตถุดิบแตกต่างกัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นมีแนวโน้มในทางเดียวกัน ดังภาพที่ 4.16 พบว่า ในช่วง 28 วันแรก ปริมาณความชื้นลดลงจากค่าเริ่มต้นที่ประมาณ 65% จนอยู่ในช่วง 35-42% เพราะในระยะนี้มีการย่อยสลายอย่างเข้มข้นของจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับ Tiquia และ Tam (2000) กล่าวว่า กลไกหลักในการเคลื่อนที่ของน้ำในกระบวนการหมัก คือ การระเหยที่เกิดจากความร้อนที่ได้มาจากการทำงานของจุลินทรีย์ ทั้งนี้ การใช้วัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก คือ ใบจามจุรีและผักตบชวาที่มีการบดให้มีขนาดเล็กจะมีผลช่วยลดการสูญเสียความชื้นในกองปุ๋ยหมักได้

ในช่วงวันที่ 49-70 จะเริ่มเห็นความแตกต่างของความชื้นในกองปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมากขึ้น โดยปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียและเศษปลานิลสดจะมีปริมาณความชื้นในระดับสูงขึ้นอยู่ในช่วง 50-60% และจะเริ่มมีค่าคงที่ที่มากกว่า 60% ตั้งแต่ 63 ของการหมัก ในขณะที่ปุ๋ยหมักมูลสุกรและกากตะกอนยังคงมีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในปุ๋ยหมักอยู่มาก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 45-55% และยังคงมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปจนถึงวันที่ 77 ของการหมักจึงเริ่มคงที่ โดยปริมาณความชื้นที่เหลือในกองปุ๋ยหมักมูลสุกรและกากตะกอนที่มีน้อยกว่าปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียและเศษปลานิลสด อาจเนื่องจากการย่อยสลายในปุ๋ยหมักมูลสุกรและกากตะกอนยังไม่เสร็จสมบูรณ์ จึงทำให้ค่าปริมาณความชื้นยังคงเปลี่ยนแปลงอยู่มาก หากปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้วการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยหมักจะเกิดขึ้นไม่มากนัก ซึ่งจะมีค่าคงที่และรักษาระดับอย่างสม่ำเสมอ เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นผลผลิตสุดท้ายของปุ๋ยหมัก พบว่า อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม คือ ประมาณ 50-70%

4.3.1.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

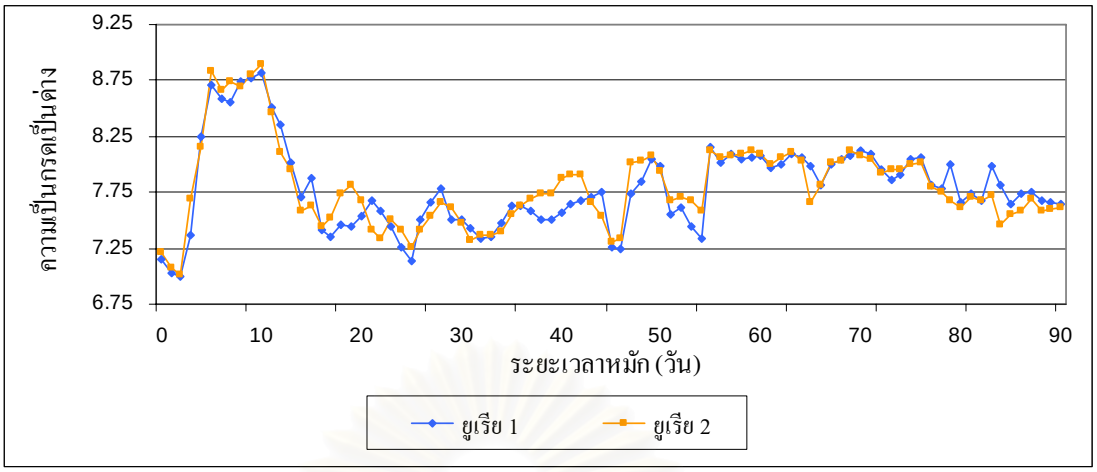
ความเป็นกรดเป็นด่างเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมัก เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับการดำรงชีพของจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายและมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ขึ้นในระหว่างการหมัก ในสภาวะปกติแบคทีเรียและเชื้อราเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0-7.5 และ 5.5-8.0 ตามลำดับ ดังนั้นกระบวนการหมักที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์นั้นจึงเกิดขึ้นได้ดีที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0-9.0 (สรพรรณ อมตธรรม, 2546)

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียในกลุ่มที่ 1 และ 2 มีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 4.17 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 6.80-8.80 ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองค่าที่ได้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 15 วันแรกของการหมัก โดยในวันที่ 10 พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงที่สุด คือ 8.82 และ 8.89 ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าที่ได้จะเริ่มลดลงและมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วง 8.25-7.50 จนสิ้นสุดการทดลอง ในวันที่ 90 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 และ 2 มีค่า 7.65 และ 7.62 ตามลำดับ ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากปุ๋ยยูเรียเป็นสารเคมีที่มีโครงสร้างที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ทันที ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ ปุ๋ยยูเรียจะทำปฏิกิริยากับน้ำโดยมีเอนไซม์ยูริเอส (urease) ที่จุลินทรีย์ปลดปล่อยออกมาเป็นตัวกระตุ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ แอมโมเนียม (NH_4^+) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)และเมื่อเวลาผ่านไป 2- 4 วัน จะส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น (Overdahl, Rehm และ Meredith, 2008) และเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 7.0 จะปลดปล่อยก๊าซแอมโมเนียออกสู่บรรยากาศ (NH_3) (มัณฑนีย์ เศรษฐภักดี, 2551) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังนี้ (Overdahl, Rehm และ Meredith, 2008)

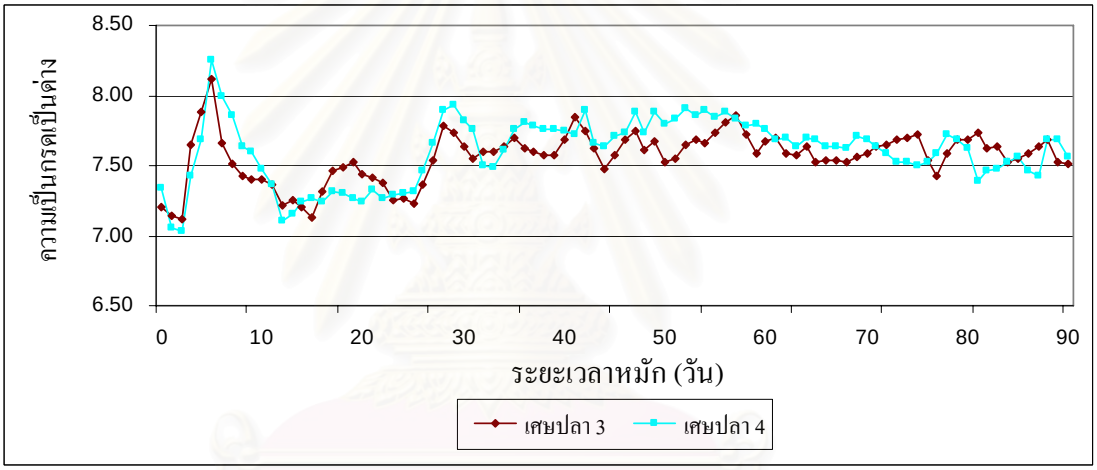
$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{urease}} 2NH_3 + CO_2$$

ดังนั้นเมื่อสารประกอบที่มีความเป็นด่างมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างภายในกองปุ๋ยหมักมีค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้น

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด ในกองที่ 3 และ 4 มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง ดังภาพที่ 4.18 พบว่า ในช่วงสัปดาห์แรกของการหมักค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีค่าสูงสุดในวันที่ 5 เท่ากับ 8.12 และ 8.25 ตามลำดับ และจะเริ่มมีค่าลดลงต่ำกว่า 7.50 ในกองที่ 3 และ 4 ตั้งแต่วันที่ 11 และ 13 ตามลำดับ แล้วจึงเริ่มมีค่าสูงขึ้นในวันที่ 27 ของการหมักทั้งสองกอง และจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 7.90-7.40 จนสิ้นสุดการหมัก โดยในวันที่ 90 พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักมีค่า 7.51 และ 7.56 ตามลำดับ

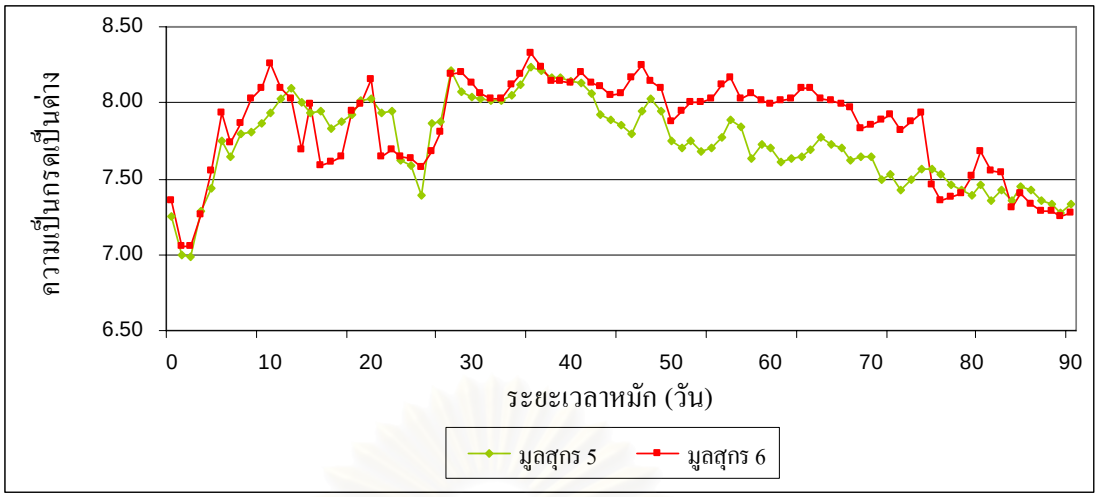


ภาพที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



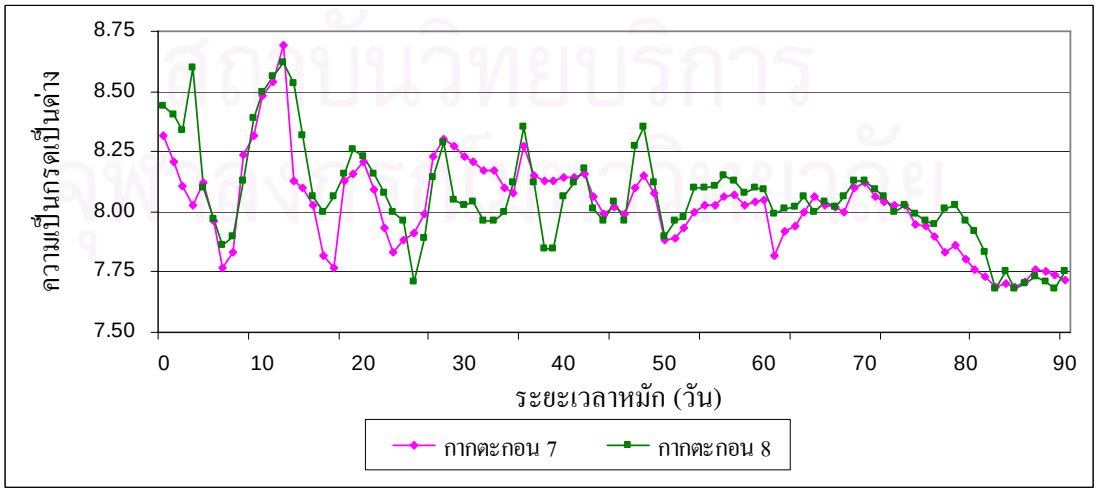
ภาพที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในปุ๋ยหมักมูลสุกรในกองที่ 5 และ 6 ดังภาพที่ 4.19 จะเห็นว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักอยู่ในช่วง 8.27-7.12 โดยเป็นค่าที่ไม่คงที่และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทั้งสองกอง เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ในวันเดียวกัน พบว่า ในกองที่ 6 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่วัดได้จะมีค่าความเป็นด่างมากกว่าในกองที่ 5 และจากค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลามีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน จึงทำให้ไม่สามารถบอกค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่สูงสุดในช่วงการหมักได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 8.00-8.50 เนื่องจากมูลสุกรมีความเป็นด่างและมีปริมาณเกลือสูงจึงส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก แต่หลังจากวันที่ 60 ของการหมัก จะสังเกตได้ว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลง โดยเมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 พบว่า กองปุ๋ยหมักที่ใช้มูลสุกรเป็นวัตถุดิบมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.33 และ 7.28 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักมูลสุกร

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักที่ใช้กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งเป็นวัตถุดิบหมักในกองที่ 7 และ 8 ดังภาพที่ 4.20 พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เกิดขึ้นในระดับกลางจนถึงด่างอ่อนมีค่า 7.71-8.69 ซึ่งมีค่าความเป็นด่างมากกว่าปุ๋ยหมักในกลุ่มอื่น กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งมีค่าเป็นด่าง 8.41 เนื่องจากน้ำเสียที่นำมาบำบัดนั้นมีของเสียพวกเกลือปะปนอยู่อันมากจากขั้นตอนการล้างไก่สดที่ใช้เกลือร่วมด้วย จึงมีผลกับกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียเหล่านี้ เมื่อนำกากตะกอนผสมกับใบจามจุรีแห้งและผักตบชวาแล้วค่าความเป็นกรดเป็นด่างเริ่มต้นยังคงสูงทั้งสองกอง คือ 8.32 และ 8.44 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าและแนวโน้มแล้ว จะเห็นว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะลดลงตลอดการหมักจนเข้าสู่ระดับที่มีความเป็นกลาง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักทั้งสองกองมีค่าเท่ากับ 7.72 และ 7.75 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักกากตะกอน

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักนั้นมีความสัมพันธ์กับชนิดของจุลินทรีย์ทำงานในกองปุ๋ยและการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ของสารที่อยู่ภายในกองปุ๋ยหมักที่ส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังภาพที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับการหมักของปุ๋ยหมักทั้งหมด เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียและเศษปลานิลสด และกลุ่มที่สอง คือ ปุ๋ยหมักมูลสุกรและกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง โดยในกลุ่มแรกนั้น การเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นในระยะหนึ่ง แล้วจากนั้นค่าจะลดลงและเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่ไม่กว้างมากนัก จนสุดท้ายค่าเริ่มคงที่ ในขณะที่กลุ่มที่สองช่วงแรกจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกับกลุ่มที่หนึ่ง คือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นและค่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงอยู่เกือบตลอดระยะเวลาหมัก จึงทำให้ไม่สามารถระบุค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่มีสูงที่สุดอย่างชัดเจนในปุ๋ยหมักมูลสุกรและกากตะกอนได้ แต่แนวโน้มในช่วงตั้งแต่วันที่ 60 ของการหมัก พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีแนวโน้มลดลงจนสุดท้ายอยู่ในระดับค่าที่เป็นกลาง เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 90 พบว่าปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในระดับที่เป็นกลางอยู่ในช่วง 7.28-7.55

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียและมูลสุกร พบว่า ในช่วงแรกปุ๋ยหมักมูลสุกรมีค่าความเป็นด่างที่น้อยกว่าปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียทั้งที่มีสารประกอบแอมโมเนียม (NH_4^+) เป็นส่วนประกอบในวัตถุดิบเหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบแอมโมเนียมในมูลสุกรอยู่ในโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนมากกว่าในปุ๋ยยูเรีย จะเห็นได้จากมูลสุกรที่ยังคงมีพวกรำปะปนอยู่ ดังนั้นในการนำมาใช้ของจุลินทรีย์จึงยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันที แต่ต้องผ่านการย่อยสลายที่ใช้ระยะเวลานานกว่าในปุ๋ยยูเรีย เพื่อให้ได้สารประกอบแอมโมเนียมออกมา ดังนั้นการย่อยสลายในมูลสุกรจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นช่วงระยะเวลาที่นานกว่าในปุ๋ยยูเรียที่มีการย่อยสลายอย่างเข้มข้นในช่วงแรกของการหมัก จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาสั้นและจะมีค่าลดลงในเวลาต่อมา ขณะที่ปุ๋ยหมักมูลสุกรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่สูงเป็นระยะเวลานานกว่าปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย

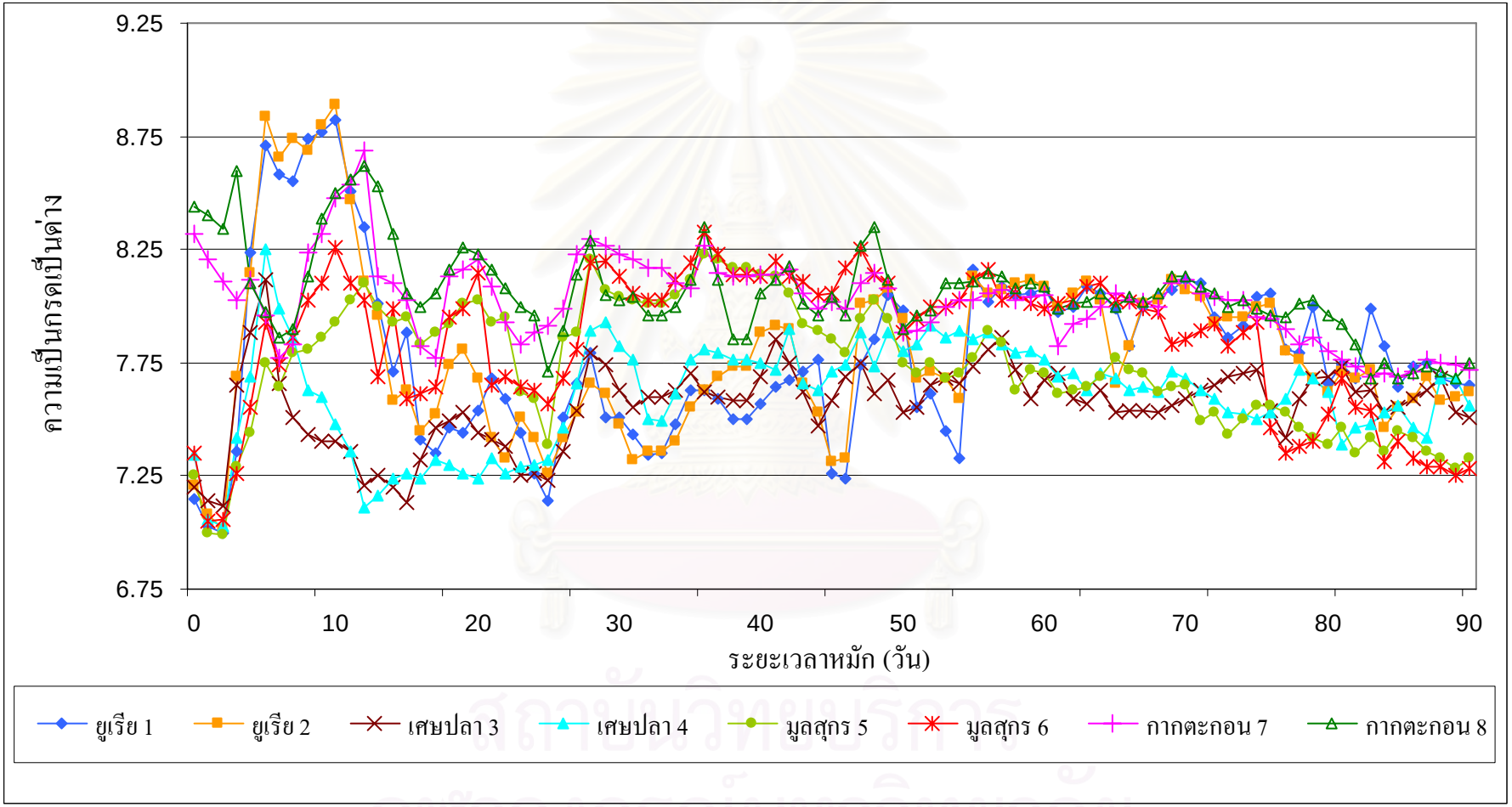
เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่างปุ๋ยหมักมูลสุกรและกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง จะเห็นว่า มีลักษณะที่แตกต่างกันอันเป็นผลมาจากลักษณะของวัตถุดิบที่ก่อนนำมาทำปุ๋ยหมักนั้นได้ผ่านการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยที่มาของกากตะกอนที่นำมาใช้หมักปุ๋ยนั้นผ่านการย่อยสลายจนบางส่วนมีความคงตัวหรือเสถียรแล้ว ในการหมักจึงมีการย่อยสลายในส่วนที่เหลือเท่านั้น ขณะที่มูลสุกรที่ได้มายังมีรำเป็นส่วนประกอบปะปนอยู่ นั่นแสดงว่า การย่อยสลายของหมูที่เกิดจากการกินจนขับถ่ายออกมานั้นยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ เมื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหมัก มูลสุกรจึงเกิดการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง

ต่อไปจนคงเสถียร ซึ่งบ่งบอกได้จากค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่อยู่ในช่วงที่เป็นด่างในส่วนใหญ่และเมื่อเริ่มย่อยสลายจนเสร็จสมบูรณ์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างจึงลดลงเข้าสู่ระดับที่เป็นกลาง

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก จะเห็นว่า ในช่วง 2-3 วันแรกของการหมัก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักทุกกองจะลดลง เพราะจุลินทรีย์ต้องการระยะเวลาในการปรับสภาพก่อนการทำงาน และเมื่อปรับสภาพได้แล้วจึงเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก หลังจากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในกองปุ๋ยหมักเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและชีวภาพระหว่างการเปลี่ยนสภาพจากสารอินทรีย์เป็นแร่ธาตุ (Gil, Carballo และ Calva, 2007) เช่น ในกองปุ๋ยหมักมีการสร้างแอมโมเนีย (NH_3) จากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น (ammonification) และการเปลี่ยนจากสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นสารแร่ธาตุ (mineralization) ด้วยสารอินทรีย์พวกโปรตีน กรดอะมิโน และเปปไทด์ เป็นต้น รวมทั้งการย่อยสลายสารประกอบพวกกรดในกลุ่มคาร์บอกซิลิกและฟีโนลิก หรือการเปลี่ยนสภาพไปเป็นแร่ธาตุของสารประกอบอินทรีย์เหล่านี้ การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดเป็นผลมาจากกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ (Bishop และ Godfrey, 1983; Gil, Carballo และ Calva, 2007; Huang และคณะ, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียทั้งสองกองนั้นมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 8.82 และ 8.89 เนื่องจากปุ๋ยยูเรียเป็นสารที่อยู่ในภาพที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ทันที จึงทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้มากและรวดเร็ว โดยผลผลิตหลักที่ได้ในช่วงแรกของการหมัก คือ แอมโมเนีย ซึ่งเป็นสารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูง และเมื่อมีปริมาณมากกว่าในปุ๋ยหมักกองอื่น จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่มีค่าลดลงหลังจากช่วงแรกที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นนั้นเกิดจากการกลายเป็นไอ (volatilization) ของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (NH_4^+-N) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่ถูกปลดปล่อยออกมานั้นเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (nitrification) ของจุลินทรีย์โดยพวกไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) (Eklind และ Kirchmann, 2000; Huang และคณะ, 2004) นอกจากนั้น Huang และคณะ (2004) ยังกล่าวอีกว่าการลดลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างนั้นอาจเกิดจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)ที่มีจำนวนมากที่ถูกปล่อยออกมาในระหว่างกระบวนการหมัก

ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่มีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการหมักนั้นเกิดจากลักษณะของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน อาทิเช่น โครงสร้างของสาร ความซับซ้อนของโครงสร้างของวัตถุดิบหมัก หรือการย่อยสลายที่เกิดขึ้นก่อนนำมาหมัก เป็นต้น นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับผลจากการย่อยสายที่ได้สารใหม่ออกมา ซึ่งมีคุณสมบัติของความเป็นกรดเป็นด่างเฉพาะตัวอันส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างโดยรวมของกองปุ๋ยหมัก



ภาพที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง

4.3.2 ลักษณะสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระหว่างกระบวนการหมัก

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมักเป็นการเปลี่ยนสภาพของธาตุหรือสารประกอบอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของสารใหม่ ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างสารหรือการใช้เอนไซม์เข้ามากระตุ้นการทำปฏิกิริยา ในกระบวนการหมักสิ่งมีชีวิตที่สำคัญที่มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงหรือแปรสภาพของสารที่เป็นวัตถุดิบให้เกิดเป็นสารใหม่ คือ กลุ่มจุลินทรีย์ ซึ่งสมบัติทางเคมีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาหมักนั้นสามารถบ่งบอกได้ว่าเกิดปฏิกิริยาใดบ้างในระหว่างกระบวนการหมัก โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่

4.3.2.1 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Total organic matter)

อินทรียวัตถุเป็นสารอินทรีย์ที่มีธาตุหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่เป็นธาตุหลักมีจำนวน 4 ธาตุ คือ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) และไนโตรเจน (N) นอกจากนั้นยังประกอบด้วยธาตุชนิดอื่นๆ แต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยทั่วไป อินทรียวัตถุจะมีอินทรีย์คาร์บอนอยู่ระหว่าง 48-58% โดยน้ำหนัก ดังนั้นในการเปลี่ยนค่าอินทรีย์คาร์บอนเป็นอินทรียวัตถุจึงใช้ค่า 1.724 คูณ ซึ่งเป็นที่ยอมรับว่าอินทรียวัตถุมีอินทรีย์คาร์บอน 68% (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, 2542) สารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจะทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงาน เพื่อใช้ในการดำรงชีพและสร้างส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งการนำไปใช้นั้น จุลินทรีย์จะต้องทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีขนาดเล็กหรือแปรสภาพจนกระทั่งสามารถนำเข้าไปใช้ในเซลล์ได้ ดังนั้นจุลินทรีย์จึงเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ทำหน้าที่ย่อยสลายวัตถุดิบหมักที่เป็นสารอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 และ 2 ดังภาพที่ 4.22 และ 4.26 จะเห็นว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปุ๋ยหมักทั้งสองเป็นไปในทางเดียวกัน คือ ในช่วง 42 วันแรกของการหมัก ปริมาณอินทรียวัตถุจะลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงในระยะหลัง โดยค่าเริ่มต้นของปุ๋ยหมักแต่ละกองมีค่า 72.96% และ 73.81% ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยนับตั้งแต่วันที่ 56 ของการหมัก เมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 มีค่า 39.51% และ 35.17% ตามลำดับ ทั้งนี้ ปริมาณอินทรียวัตถุลดลงจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 33.45% และ 38.64% ตามลำดับ

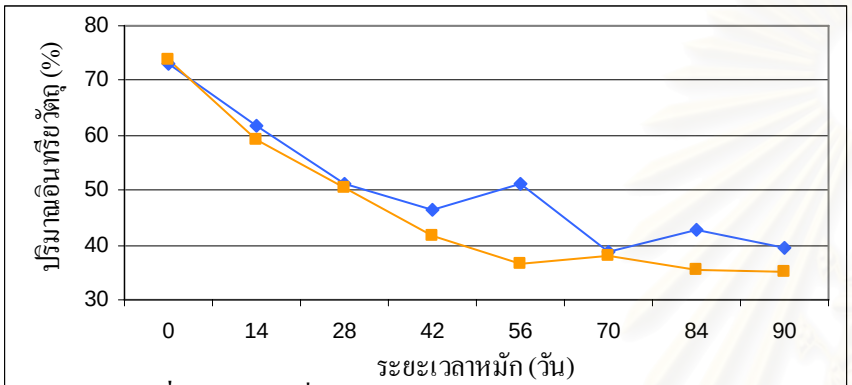
ปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 3 และ 4 มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาหมัก ดังภาพที่ 4.23 และ 4.27 จะเห็นว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดทั้งสองกองมีแนวโน้มใกล้เคียงกันในทิศทางเดียวกัน โดยปริมาณเริ่มต้นของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 67.53% และ 68.23% ตามลำดับ เมื่อเข้าสู่กระบวนการหมัก การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วง 14 วันแรกมีการลดลงอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่วันที่ 14-42 การ

เปลี่ยนแปลงยังคงมีแนวโน้มลดลงอยู่แต่ในอัตราที่ต่ำกว่าในช่วงแรก และในช่วงวันที่ 42-56 ปริมาณอินทรียวัตถุลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง และนับตั้งแต่วันที่ 56 ของการหมักปริมาณอินทรียวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 90 ค่าที่ได้เท่ากับ 35.14% และ31.41% ตามลำดับ โดยปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 32.39% และ 36.82% ตามลำดับ

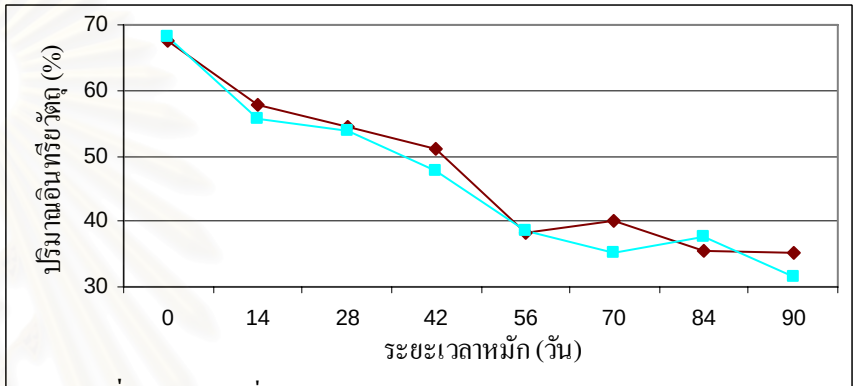
การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักมูลสุกรกองที่ 5 และ 6 เกิดขึ้นดังภาพที่ 4.24 และ 4.28 พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุของกองปุ๋ยหมักทั้งสองกองมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ค่าที่ได้จะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนปุ๋ยหมักเริ่มย่อยสลายสมบูรณ์ ปริมาณอินทรียวัตถุจึงเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเพียงน้อยลงจนสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณอินทรียวัตถุเริ่มต้นของปุ๋ยหมักมูลสุกรกองที่ 5 และ 6 มีค่าเท่ากับ 73.10% และ 72.20% ตามลำดับ ในระหว่างกระบวนการหมักปริมาณอินทรียวัตถุมีการลดลงอย่างสม่ำเสมอในลักษณะคล้ายเส้นตรงตามระยะเวลาการหมัก ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุจะเริ่มคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยนับตั้งแต่วันที่ 70 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 90 พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักทั้งสองกองมีค่าเท่ากับ 41.98% และ 43.54% ตามลำดับ ซึ่งลดลงจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 31.12% และ 28.66% ตามลำดับ

ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งในกองที่ 7 และ 8 มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาหมัก ดังภาพที่ 4.25 และ 4.29 โดยปริมาณอินทรียวัตถุเริ่มต้นของปุ๋ยหมักกองที่ 7 และ 8 มีค่าเท่ากับ 74.47% และ 71.43% ตามลำดับ ในระหว่างกระบวนการหมักค่าที่ได้จะลดลงตามระยะเวลาในการหมัก โดยปริมาณอินทรีวัตถุเริ่มมีค่าคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยนับตั้งแต่วันที่ 56 ของการหมัก และเมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 มีค่าเท่ากับ 47.96% และ 45.89% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุลดลงจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 26.51% และ 25.54% ตามลำดับ

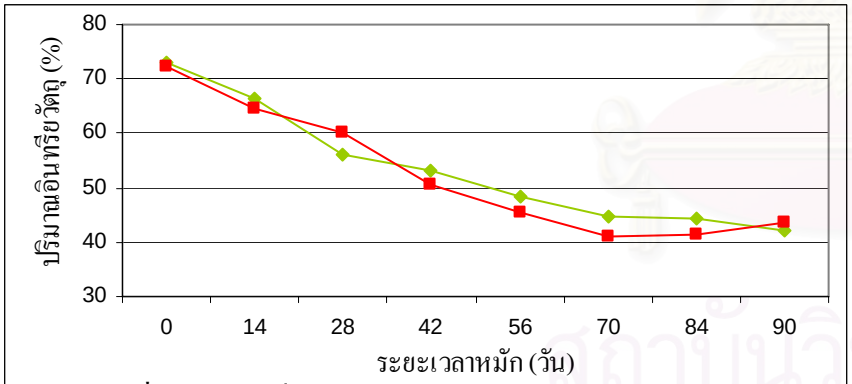
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



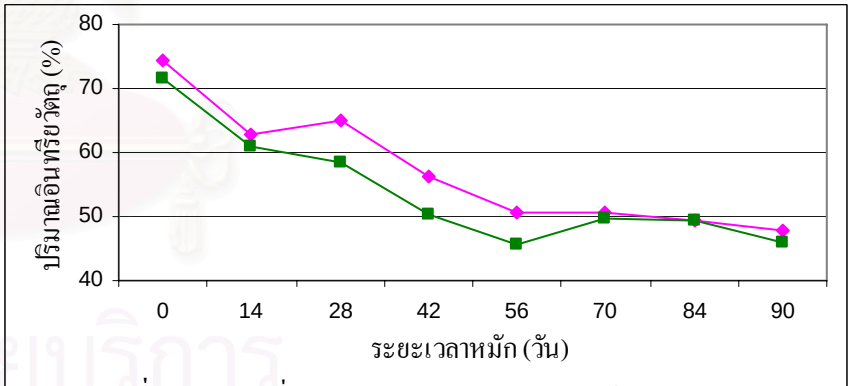
ภาพที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



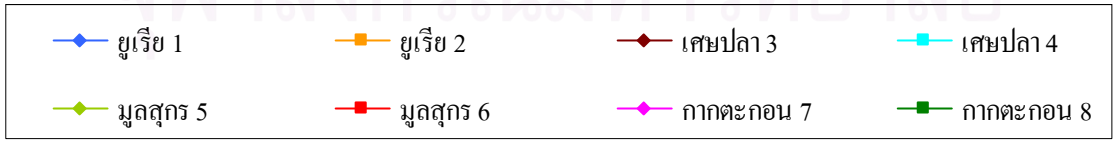
ภาพที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด

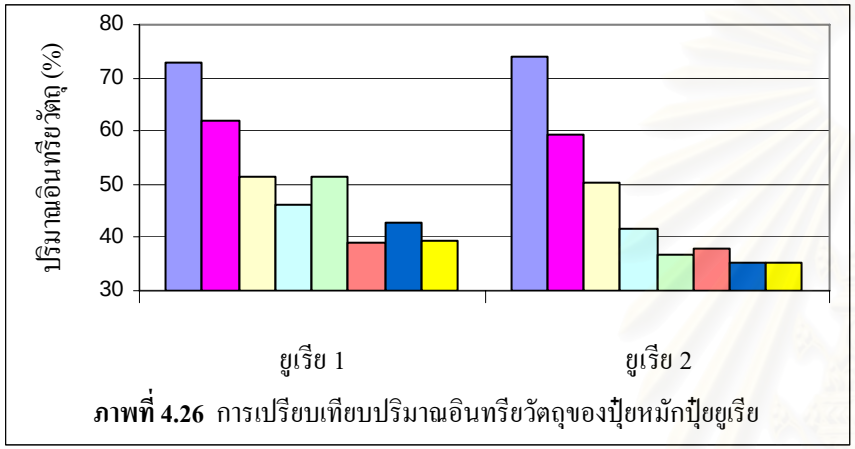


ภาพที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักมูลสุกร

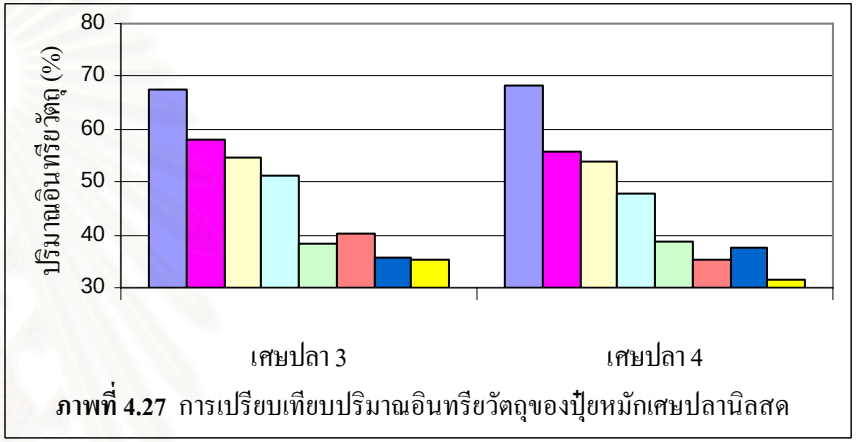


ภาพที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักกากตะกอน

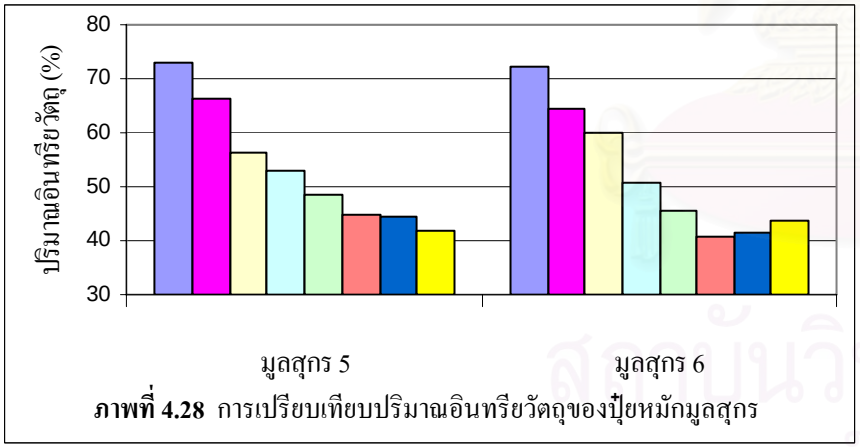




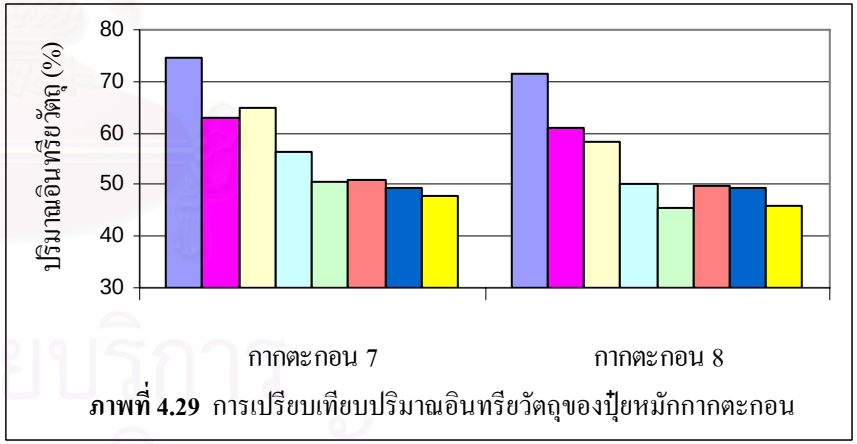
ภาพที่ 4.26 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



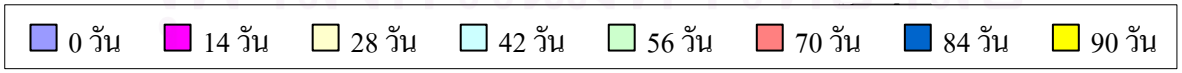
ภาพที่ 4.27 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด



ภาพที่ 4.28 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักมูลสุกร



ภาพที่ 4.29 การเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักกากตะกอน



การเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักตามระยะเวลาในการหมักด้วยวิธีทางสถิติ ดังตารางที่ 4.4 พบว่า ค่าที่ได้จากปุ๋ยหมักทุกกลุ่มส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันตามระยะเวลาในการหมัก ซึ่งมีความแตกต่างอย่างชัดเจนในระยะแรกของการหมักและจะลดลงจนไม่มีความแตกต่างกัน โดยปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียมีลักษณะความแตกต่างกันที่คล้ายกันทั้งสองกอง ซึ่งค่าเริ่มต้นมีความแตกต่างกับทุกค่าที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา และค่าที่ได้ตั้งแต่วันที่ 42 จนสิ้นสุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดมีปริมาณอินทรียวัตถุใกล้เคียงกันทั้งสองกอง โดยค่าเริ่มต้นมีความแตกต่างกับทุกค่าตลอดการหมัก และเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ตั้งแต่วันที่ 56 จนกระทั่งวันที่ 90 จะเห็นว่า ค่าที่ได้มีความแตกต่างทางสถิติเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ในปุ๋ยหมักมูลสุกร พบว่า ค่าเริ่มต้นการหมักมีความแตกต่างกับค่าที่ได้ตลอดการหมัก เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ในวันที่ 70 จนสิ้นสุดการหมัก จะไม่มีความแตกต่างกันทั้งสองกอง และในปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง ปริมาณอินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาของทั้งสองกองมีลักษณะคล้ายกัน โดยค่าเริ่มต้นของการหมักมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่าที่ได้ตลอดการหมัก และค่าที่ได้ในวันที่ 56 จนสิ้นสุดการหมักจะไม่มีความแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักแต่ละชนิดในระยะเวลาเดียวกันด้วยวิธีทางสถิติ ดังตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า ปริมาณอินทรียวัตถุเริ่มต้นในปุ๋ยหมักทุกกองมีค่า 67-75% ซึ่งเป็นค่าที่ไม่มีความแตกต่างกัน ในวันที่ 14 ปริมาณอินทรียวัตถุลดลงและค่าที่ได้ส่วนใหญ่จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ขณะที่ในวันที่ 28 ค่าที่ได้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มที่แตกต่างกัน คือ ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียและเศษปลานิลสดกับปุ๋ยหมักมูลสุกรและกากตะกอน ในวันที่ 42 ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันทุกกลุ่มการทดลอง ทั้งนี้ในวันที่ 56, 70 และ 84 ของการหมัก พบว่า ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลามีลักษณะเดียวกัน คือ ค่าที่ได้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มที่มีความแตกต่างกัน คือ กลุ่มปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียและเศษปลานิลสดกับปุ๋ยหมักมูลสุกรและกากตะกอน โดยค่าที่ได้ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันภายในกลุ่ม เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 90 พบว่า ค่าที่ได้ในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกับเศษปลานิลสดไม่มีความแตกต่าง แต่จะมีความแตกต่างกับปุ๋ยหมักมูลสุกรและกากตะกอน สรุปได้ว่า ค่าที่ได้จากปุ๋ยหมักที่ต่างชนิดกันในช่วงเวลาเดียวกันส่วนใหญ่จะมีความแตกต่างกัน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันมากเมื่อชนิดของแหล่งไนโตรเจนที่ใช้นั้นแตกต่างกัน และจะมีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่มีความแตกต่างกันในปุ๋ยหมักที่ใช้แหล่งไนโตรเจนชนิดเดียวกัน

การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่า มีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 4.30 คือ ในช่วง 42 วันของการหมักปริมาณอินทรียวัตถุมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาในการหมัก ซึ่งการลดลงอย่างรวดเร็วของอินทรีวัตถุนั้นเนื่องจากในกองปุ๋ยหมักมีแหล่งอาหารที่มากเกินพอ รวมทั้งปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดีและเพิ่มจำนวนอย่าง

ตารางที่ 4.4 ปริมาณอินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นตามระยะเวลาของการหมักของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด

หน่วย : %

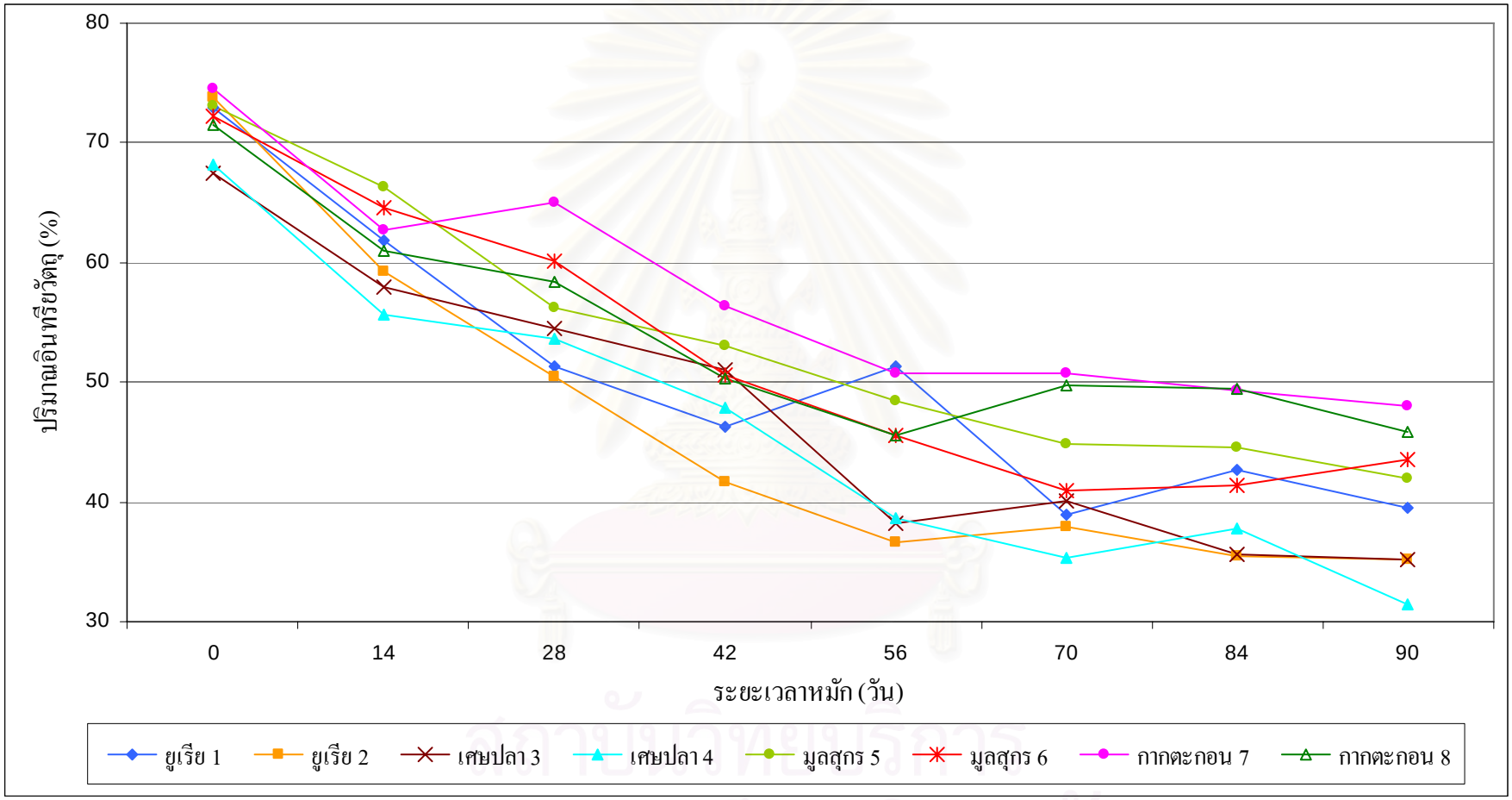
ชนิดของปุ๋ยหมัก	ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักปุ๋ย (วัน)							
	0	**14**	**28**	**42**	**56**	**70**	**84**	**90**
ยูเรีย 1	$^{a}72.96 \pm 1.88^{f}$	$^{bcd}61.84 \pm 1.75^{e}$	$^{a}51.29 \pm 1.35^{d}$	$^{b}46.30 \pm 1.45^{c}$	$^{c}51.32 \pm 2.11^{d}$	$^{b}38.92 \pm 3.36^{a}$	$^{bc}42.62 \pm 1.16^{b}$	$^{c}39.51 \pm 1.25^{ab}$
ยูเรีย 2	$^{a}73.81 \pm 3.81^{e}$	$^{ab}59.24 \pm 3.51^{d}$	$^{a}50.45 \pm 3.24^{c}$	$^{a}41.72 \pm 4.09^{b}$	$^{a}36.62 \pm 1.53^{ab}$	$^{ab}37.92 \pm 2.89^{ab}$	$^{a}35.41 \pm 1.36^{a}$	$^{b}35.17 \pm 1.10^{a}$
เศษปลา 3	$^{a}67.53 \pm 2.32^{f}$	$^{ab}57.91 \pm 1.54^{e}$	$^{abc}54.54 \pm 2.36^{d}$	$^{cd}51.07 \pm 1.70^{c}$	$^{a}38.20 \pm 1.62^{ab}$	$^{b}40.10 \pm 0.15^{b}$	$^{a}35.63 \pm 1.45^{a}$	$^{b}35.14 \pm 1.91^{a}$
เศษปลา 4	$^{ab}68.23 \pm 1.69^{e}$	$^{a}55.70 \pm 4.85^{d}$	$^{ab}53.68 \pm 2.48^{d}$	$^{bc}47.84 \pm 1.23^{c}$	$^{a}38.62 \pm 2.42^{b}$	$^{a}35.28 \pm 0.90^{ab}$	$^{a}37.73 \pm 1.64^{b}$	$^{a}31.41 \pm 1.15^{a}$
มูลสุกร 5	$^{a}73.10 \pm 2.59^{e}$	$^{d}66.24 \pm 1.63^{d}$	$^{bcd}56.19 \pm 2.29^{c}$	$^{de}53.04 \pm 2.77^{c}$	$^{bc}48.42 \pm 1.62^{b}$	$^{c}44.83 \pm 2.26^{ab}$	$^{c}44.51 \pm 1.52^{a}$	$^{cd}41.99 \pm 1.52^{a}$
มูลสุกร 6	$^{bc}72.20 \pm 1.51^{f}$	$^{cd}64.56 \pm 1.52^{e}$	$^{d}60.06 \pm 2.48^{d}$	$^{cd}50.67 \pm 1.62^{c}$	$^{b}45.55 \pm 1.16^{b}$	$^{b}40.89 \pm 1.44^{a}$	$^{b}41.42 \pm 1.68^{a}$	$^{de}43.54 \pm 1.14^{ab}$
กากตะกอน 7	$^{a}74.47 \pm 2.03^{d}$	$^{bcd}62.78 \pm 1.54^{c}$	$^{e}65.00 \pm 1.55^{c}$	$^{e}56.33 \pm 1.53^{b}$	$^{c}50.73 \pm 1.50^{a}$	$^{d}50.74 \pm 1.21^{a}$	$^{d}49.26 \pm 2.42^{a}$	$^{f}47.96 \pm 1.52^{a}$
กากตะกอน 8	$^{abc}71.43 \pm 2.46^{d}$	$^{bc}60.99 \pm 3.43^{c}$	$^{cd}58.33 \pm 1.39^{c}$	$^{cd}50.29 \pm 1.24^{b}$	$^{b}45.52 \pm 1.25^{a}$	$^{d}49.74 \pm 1.56^{b}$	$^{d}49.42 \pm 1.59^{b}$	$^{ef}45.89 \pm 1.90^{a}$

หมายเหตุ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้าย (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดของปุ๋ยหมักในระยะเวลาการหมักเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวา (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างระยะเวลาในการหมัก อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง

รวดเร็วการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นได้ดี ซึ่งการย่อยสลายอินทรียวัตถุยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่ต่ำลง ต่อมาการย่อยสลายเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วที่ลดลงเพราะปริมาณอาหารในกองปุ๋ยหมักมีจำนวนลดลงและสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่อาจมีโครงสร้างที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน และเซลลูโลส เป็นต้น ซึ่งการย่อยสลายต้องอาศัยจุลินทรีย์เฉพาะกลุ่ม จึงอาจส่งผลต่อปริมาณอินทรียวัตถุที่ลดลง

ตารางที่ 4.5 การลดลงของปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ยหมัก	ปริมาณอินทรียวัตถุ			
	เริ่มต้น (%)	สิ้นสุด (%)	ลดลง (%)	เปอร์เซ็นต์การลดลง
ปุ๋ยยูเรีย 1	72.96	39.51	33.44	45.84
ปุ๋ยยูเรีย 2	73.81	35.17	38.64	52.35
เศษปลานิลสด 3	67.53	35.14	32.40	47.97
เศษปลานิลสด 4	68.22	31.41	36.82	53.97
มูลสุกร 5	73.10	41.99	31.12	42.56
มูลสุกร 6	72.20	43.54	28.66	39.69
กากตะกอน 7	74.47	47.96	26.52	35.60
กากตะกอน 8	71.43	45.89	25.54	35.76

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุที่ลดลงในปุ๋ยหมักแต่ละกอง ดังตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า ปริมาณอินทรียวัตถุลดลงอยู่ในช่วง 25-39% คิดเป็น 35-54% ของปริมาณเริ่มต้น เรียงลำดับการลดลงของอินทรียวัตถุจากมากไปน้อย คือ ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด ปุ๋ยยูเรีย มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง ตามลำดับ โดยปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 4 มีค่าลดลงมากที่สุด คือ 53.97% ของค่าเริ่มต้น และปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งมีค่าลดลงน้อยที่สุดเท่ากับ 35.60% ของค่าเริ่มต้น โดยอินทรียวัตถุที่หายไปจะอยู่ในรูปแหล่งอาหารและพลังงานให้กับจุลินทรีย์ (ธันวดี ศรีธาวิรัตน์, 2547) และปฏิกิริยาการเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารอนินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ เช่น แอมโมเนีย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความร้อน เป็นต้น (Said-Pullicino, Erriquens และ Gigliotti, 2007)

ปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองส่วนใหญ่จะมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่า 35% โดยน้ำหนัก ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรและมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : ปุ๋ยหมัก ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

4.3.2.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)

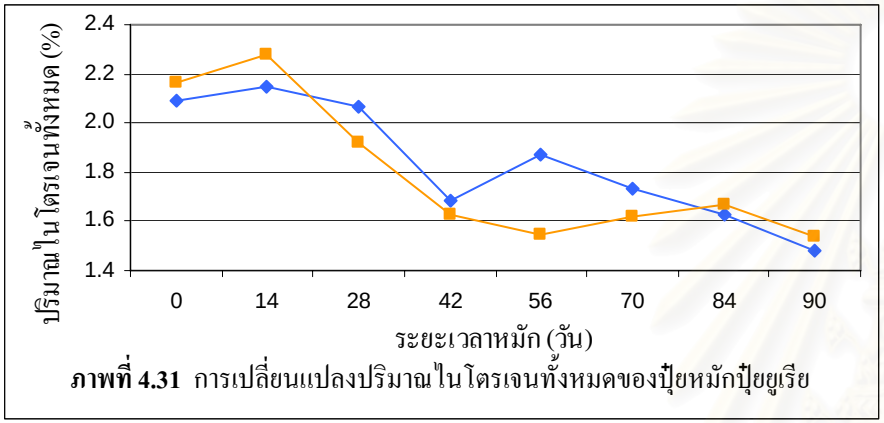
สารประกอบไนโตรเจนในกระบวนการหมักจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในการสร้างส่วนประกอบของเซลล์และการขยายพันธุ์

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 และ 2 มีแนวโน้มที่ลดลงตามระยะเวลาหมัก ดังภาพที่ 4.31 และ 4.35 โดยค่าเริ่มต้นของกองปุ๋ยหมักแต่ละกองมีค่า 2.09% และ 2.16% ตามลำดับ เมื่อสู่กระบวนการหมักปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก จนกระทั่งวันที่ 56 ของการหมัก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจึงเริ่มคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง และในวันที่ 90 ของการหมักค่าเท่ากับ 1.48% และ 1.54% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่หายไปจากค่าเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.61% และ 0.62% ตามลำดับ

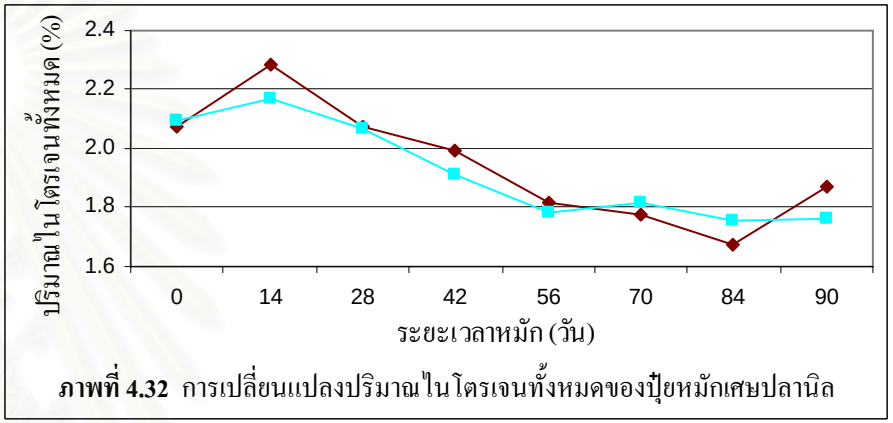
ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 3 และ 4 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ดังภาพที่ 4.32 และ 4.36 โดยปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดทั้งสองกองมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการหมัก และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงตั้งแต่วันที่ 56 จนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 2.07% และ 2.09% ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 มีค่าเท่ากับ 1.87% และ 1.76% ตามลำดับ ทั้งนี้ ปริมาณไนโตรเจนที่หายไปมีค่าเท่ากับ 0.20% และ 0.33% ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักมูลสุกรกองที่ 5 และ 6 มีค่าลดลงตามระยะเวลาในการหมัก ดังภาพที่ 4.33 และ 4.37 ซึ่งค่าเริ่มต้นของปุ๋ยหมักมูลสุกรทั้งสองมีค่าเท่ากับ 2.08% และ 2.07% ตามลำดับ ในระหว่างกระบวนการหมักปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งค่าที่ได้เริ่มคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงลดลงนับตั้งแต่วันที่ 56 ของการหมัก และเมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1.68% ทั้งสองกอง โดยค่าที่หายไปในปุ๋ยหมักแต่ละกองเท่ากับ 0.40% และ 0.39% ตามลำดับ

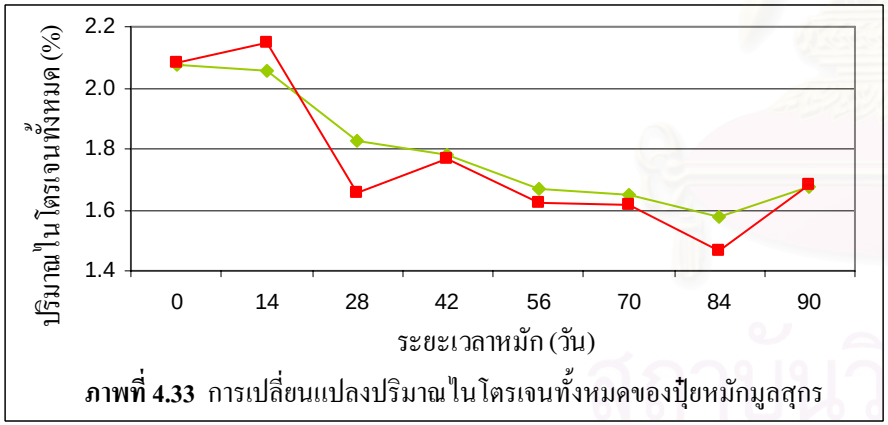
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งกองที่ 7 และ 8 เกิดขึ้น ดังภาพที่ 4.34 และ 4.38 จะเห็นว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงและค่าที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาของทั้งสองกองมีความใกล้เคียงกันมากในแนวโน้มที่ค่าลดลงตามระยะเวลาในการหมัก ซึ่งในวันที่ 56 ของการหมักปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มมีค่าคงที่และเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มต้นของปุ๋ยหมักทั้งสองกองมีค่าเท่ากับ 2.14% และ 2.08% ตามลำดับ และค่าที่ได้เมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 เท่ากับ 1.73% และ1.72% ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่หายไปจากค่าเริ่มต้นจนสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 0.41% และ 0.38% ตามลำดับ



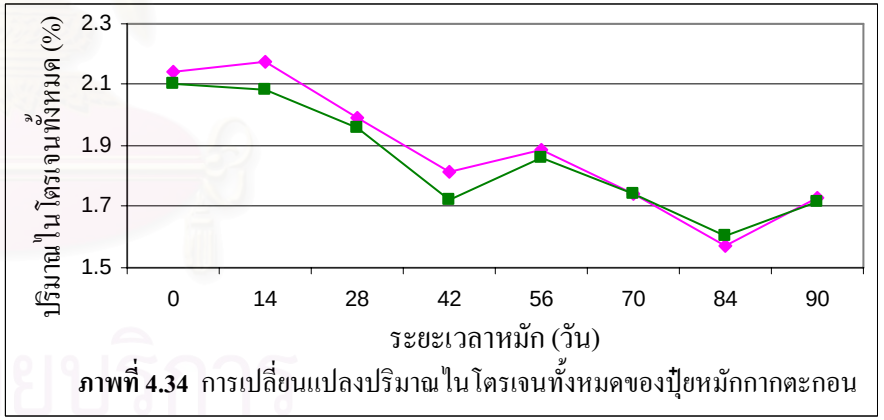
ภาพที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



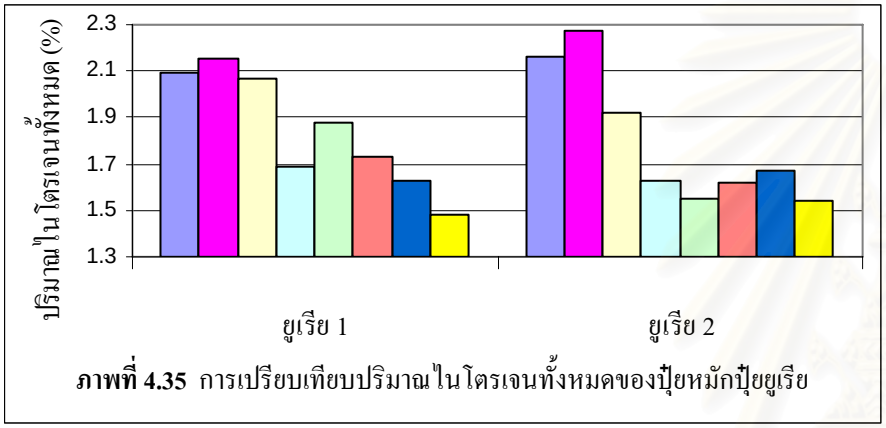
ภาพที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักเศษปลานิล



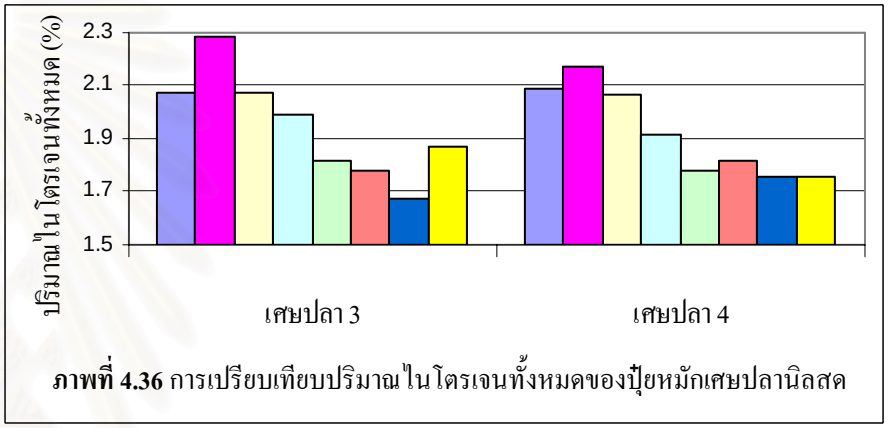
ภาพที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักมูลสุกร



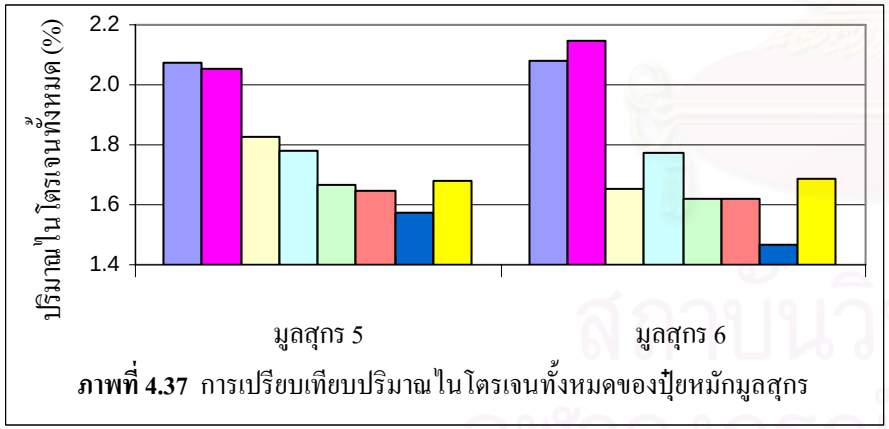
ภาพที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักกากตะกอน



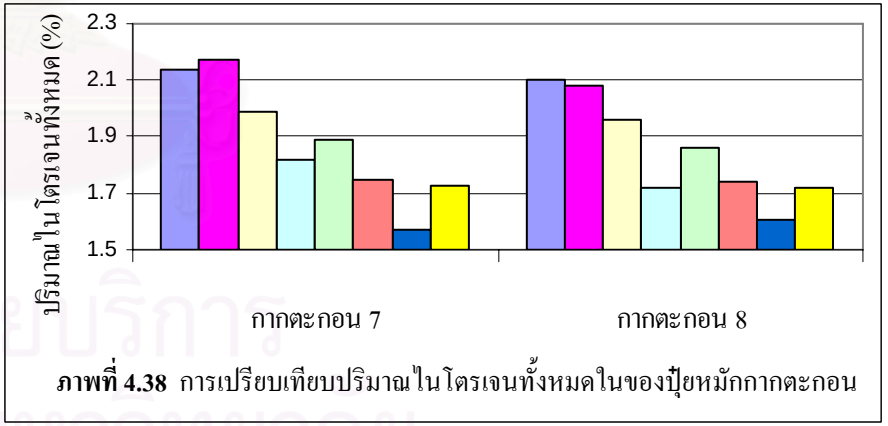
ภาพที่ 4.35 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



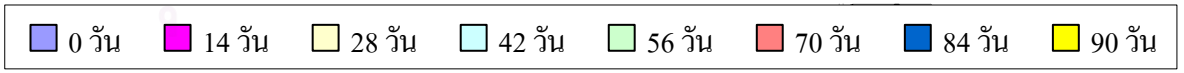
ภาพที่ 4.36 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด



ภาพที่ 4.37 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักมูลสุกร



ภาพที่ 4.38 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในของปุ๋ยหมักกากตะกอน



เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักในแต่ละกองตามระยะเวลาในการหมักด้วยวิธีทางสถิติ จะเห็นว่า ค่าเริ่มต้นของปุ๋ยหมักทุกกองส่วนใหญ่มีความแตกต่างกับค่าที่ได้ในระหว่างกระบวนการหมักจนสิ้นสุดการหมัก โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียทั้งสองกองมีความแตกต่าง ดังตารางที่ 4.6 จะเห็นว่า ในช่วง 28 วันแรก ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากค่าที่ได้ในวันที่ 42 จนสิ้นสุดการหมัก ซึ่งค่าที่ได้ตั้งแต่วันที่ 42 จะไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่ปุ๋ยหมักที่ใช้ของเสียอินทรีย์เป็นแหล่งไนโตรเจนนั้นมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาในการหมัก ดังเช่น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด จะเห็นว่า ค่าที่ได้ในปุ๋ยหมักกองที่ 5 มีความแตกต่างที่ใกล้เคียงกันตลอดการหมัก ในขณะที่กองที่ 4 มีค่าที่แตกต่างกันทางสถิติเพียง 2 ระดับ คือ ค่าที่ได้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงวันที่ 28 มีแตกต่างกับค่าที่ได้ตั้งแต่วันที่ 42 จนสิ้นสุดการทดลอง นอกจากนั้นในปุ๋ยหมักมูลสุกรทั้งสองกองมีปริมาณไนโตรเจนที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งค่าเริ่มต้นจะมีความแตกต่างกับค่าที่ได้ในระหว่างกระบวนการหมัก แต่ค่าที่ได้ในวันที่ 42 จนสิ้นสุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน และในปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าตลอดเวลา จะเห็นว่า ค่าที่ได้ส่วนใหญ่ในแต่ละช่วงเวลาจะมีความแตกต่างกันทั้งหมด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิดในระยะเวลาเดียวกันด้วยวิธีทางสถิติ ดังตารางที่ 4.6 จะเห็นว่า ปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าเริ่มต้นจนถึงวันที่ 28 ที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะไม่มีความแตกต่างกัน ขณะที่ในวันที่ 42 ค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันตามชนิดของแหล่งไนโตรเจนที่ใช้ วันที่ 56 ค่าที่ได้ของปุ๋ยหมักทุกกองไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นค่าที่ได้ในปุ๋ยหมักมูลสุกรทั้งสองกอง ในวันที่ 70 และ 84 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของทุกกองส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ไม่ชัดเจน เนื่องจากค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันมาก เมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 90 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยยูเรียมีความแตกต่างกับค่าที่ได้จากปุ๋ยหมักของเสียอินทรีย์ และค่าที่ได้จากปุ๋ยหมักที่ใช้ของเสียอินทรีย์เป็นแหล่งไนโตรเจนทั้ง 3 ชนิด นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักแต่ละชนิด ดังภาพที่ 4.39 จะเห็นว่า มีแนวโน้มลดลงจากค่าเริ่มต้นตามระยะเวลาหมักทุกกอง สำหรับปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียที่ใช้สารเคมีเป็นแหล่งไนโตรเจนจะมีการลดลงอย่างมากในช่วงแรก และการเปลี่ยนแปลงจะเริ่มลดลงและคงที่ในวันที่ 42 ของการหมัก ขณะที่ปุ๋ยหมักที่ใช้ของเสียอินทรีย์เป็นแหล่งไนโตรเจนนั้นค่าจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งค่าจะมีการลดลงน้อยลงหรือค่าเริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 56 ของการหมักในทุกกอง

ตารางที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด

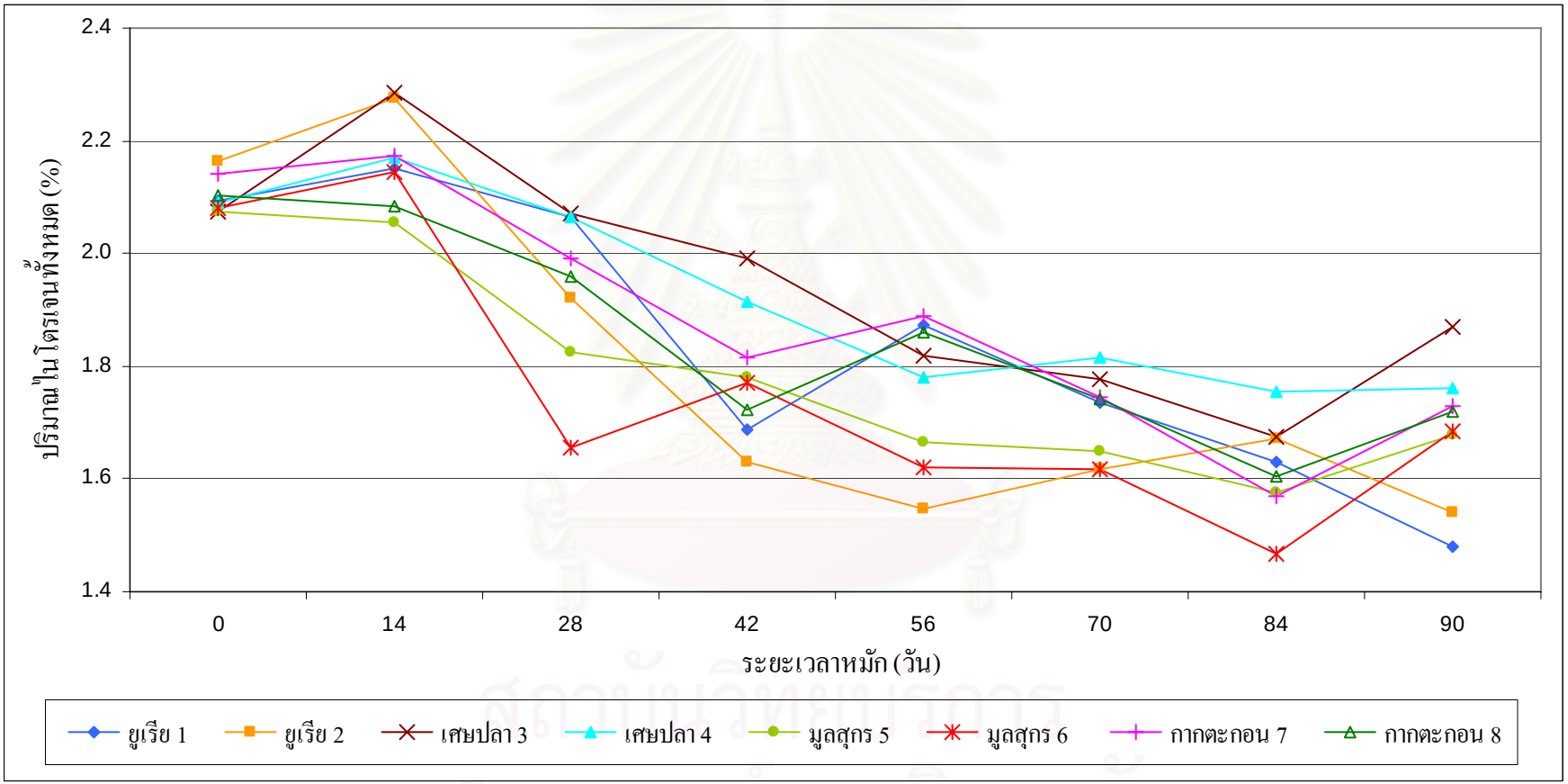
ชนิดของปุ๋ยหมัก	ระยะเวลาการหมัก (วัน)							
	0	**14**	**28**	**42**	**56**	**70**	**84**	**90**
ยูเรีย 1	$^{a}2.09 \pm 0.11^{d}$	$^{ab}2.15 \pm 0.06^{d}$	$^{c}2.07 \pm 0.10^{d}$	$^{ab}1.68 \pm 0.09^{b}$	$^{c}1.87 \pm 0.03^{c}$	$^{abc}1.73 \pm 0.08^{b}$	$^{b}1.63 \pm 0.03^{b}$	$^{a}1.48 \pm 0.07^{a}$
ยูเรีย 2	$^{a}2.16 \pm 0.09^{c}$	$^{b}2.27 \pm 0.10^{c}$	$^{bc}1.92 \pm 0.12^{b}$	$^{a}1.63 \pm 0.14^{a}$	$^{a}1.55 \pm 0.07^{a}$	$^{a}1.62 \pm 0.05^{a}$	$^{bc}1.67 \pm 0.05^{a}$	$^{a}1.54 \pm 0.07^{a}$
เศษปลา 1	$^{a}2.07 \pm 0.12^{d}$	$^{b}2.28 \pm 0.07^{e}$	$^{c}2.07 \pm 0.04^{d}$	$^{d}1.99 \pm 0.07^{cd}$	$^{c}1.82 \pm 0.06^{ab}$	$^{bc}1.78 \pm 0.10^{ab}$	$^{bc}1.67 \pm 0.10^{a}$	$^{c}1.87 \pm 0.10^{bc}$
เศษปลา 2	$^{a}2.09 \pm 0.11^{b}$	$^{ab}2.17 \pm 0.09^{b}$	$^{c}2.07 \pm 0.10^{b}$	$^{cd}1.91 \pm 0.09^{a}$	$^{c}1.78 \pm 0.06^{a}$	$^{c}1.82 \pm 0.08^{a}$	$^{c}1.76 \pm 0.07^{a}$	$^{bc}1.76 \pm 0.05^{a}$
มูลสุกร 1	$^{a}2.08 \pm 0.08^{d}$	$^{a}2.05 \pm 0.10^{d}$	$^{b}1.82 \pm 0.10^{c}$	$^{abc}1.78 \pm 0.02^{bc}$	$^{b}1.67 \pm 0.06^{ab}$	$^{ab}1.65 \pm 0.08^{ab}$	$^{ab}1.57 \pm 0.04^{a}$	$^{b}1.68 \pm 0.08^{ab}$
มูลสุกร 2	$^{a}2.07 \pm 0.12^{c}$	$^{ab}2.14 \pm 0.10^{c}$	$^{a}1.66 \pm 0.09^{b}$	$^{abc}1.77 \pm 0.07^{b}$	$^{ab}1.62 \pm 0.06^{b}$	$^{a}1.62 \pm 0.08^{b}$	$^{a}1.47 \pm 0.07^{a}$	$^{b}1.68 \pm 0.07^{b}$
กากตะกอน 1	$^{a}2.14 \pm 0.08^{e}$	$^{ab}2.17 \pm 0.05^{e}$	$^{bc}1.99 \pm 0.09^{d}$	$^{bc}1.82 \pm 0.09^{bc}$	$^{c}1.89 \pm 0.04^{cd}$	$^{abc}1.75 \pm 0.07^{b}$	$^{ab}1.57 \pm 0.08^{a}$	$^{b}1.73 \pm 0.03^{b}$
กากตะกอน 2	$^{a}2.10 \pm 0.04^{d}$	$^{a}2.08 \pm 0.04^{d}$	$^{bc}1.96 \pm 0.07^{c}$	$^{ab}1.72 \pm 0.08^{ab}$	$^{c}1.86 \pm 0.08^{c}$	$^{abc}1.74 \pm 0.09^{b}$	$^{b}1.61 \pm 0.05^{a}$	$^{b}1.72 \pm 0.03^{ab}$

หมายเหตุ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้าย (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดของปุ๋ยหมักในระยะเวลาการหมักเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวา (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างระยะเวลาในการหมัก อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.39 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 4.7 การลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ยหมัก	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด			
	เริ่มต้น (%)	สิ้นสุด (%)	ลดลง (%)	เปอร์เซ็นต์การลดลง
ปุ๋ยยูเรีย 1	2.09	1.48	0.62	29.37
ปุ๋ยยูเรีย 2	2.16	1.54	0.63	28.90
เศษปลานิลสด 3	2.07	1.87	0.20	9.85
เศษปลานิลสด 4	2.09	1.76	0.33	15.85
มูลสุกร 5	2.08	1.68	0.40	19.14
มูลสุกร 6	2.07	1.68	0.40	19.04
กากตะกอน 7	2.14	1.73	0.41	19.25
กากตะกอน 8	2.10	1.72	0.38	18.28

เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ลดลงในปุ๋ยหมักแต่ละชนิด ดังตารางที่ 4.9 จะเห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าลดลงประมาณ 0.20-0.63% คิดเป็น 9.85-29.37% ของปริมาณเริ่มต้น โดยเรียงลำดับการลดลงจากมากไปน้อย คือ ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มูลสุกร และเศษปลานิลสด ตามลำดับ ในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 ลดลงมากที่สุด คิดเป็น 29.37% ของค่าเริ่มต้น และปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 3 มีค่าลดลงน้อยที่สุดเท่ากับ 9.85% ของค่าเริ่มต้น

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกระบวนการหมักเกิดจากการเปลี่ยนรูปจากอินทรียสารไปเป็นอนินทรียสาร ซึ่งค่าที่ได้จะลดลงเมื่อทำการหมักเพราะบางส่วนอยู่ในรูปของก๊าซที่ระเหยออกจากปุ๋ยหมัก เช่น ก๊าซแอมโมเนียที่จะเกิดขึ้นในช่วงแรก เป็นต้น เมื่อปุ๋ยหมักเริ่มย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักจึงเริ่มมีค่าคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีความแตกต่างกันในปุ๋ยหมักที่มีไนโตรเจนเป็นวัตถุดิบหมักที่แตกต่างกัน และจะไม่แตกต่างกันเมื่อชนิดของแหล่งไนโตรเจนเป็นชนิดเดียวกัน นอกจากนั้นจะเห็นว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะลดลงมากในปุ๋ยหมักที่ใช้สารเคมี คือ ปุ๋ยยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนเมื่อเทียบกับการใช้ของเสียอินทรีย์เป็นแหล่งไนโตรเจน

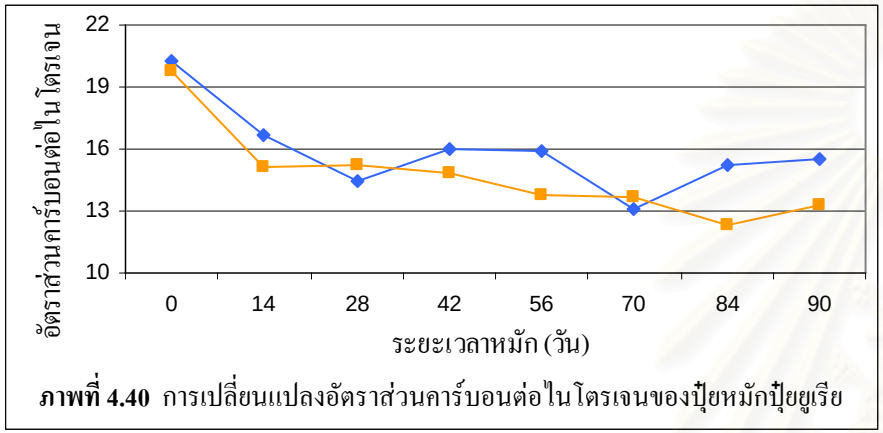
จากการทดลองปุ๋ยหมักที่ได้ทุกกองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่า 1.0% โดยน้ำหนัก ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรและมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : ปุ๋ยหมัก ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

4.3.2.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

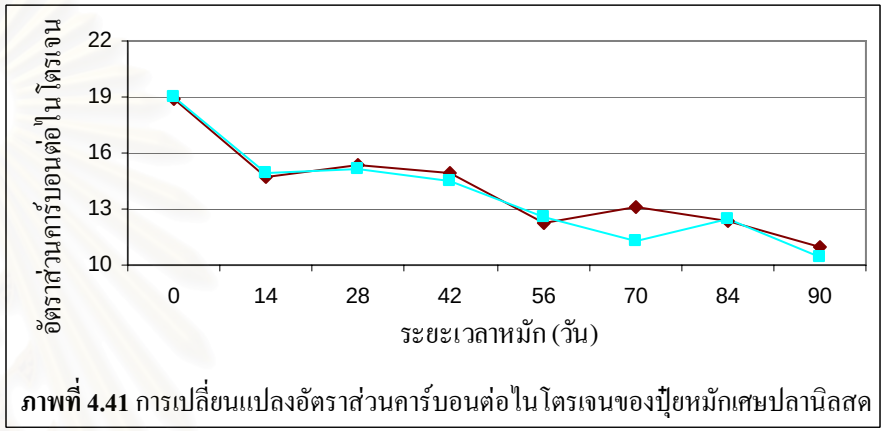
การทดลองนี้มีการกำหนดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นให้มีค่าประมาณ 30 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนเริ่มต้นที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมัก และปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 20

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 และ 2 มีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 4.40 โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 28 วันแรกของการหมัก และจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดทั้งสองกองซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังภาพที่ 4.41 ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมักมูลสุกรทั้งสองกองมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ดังภาพที่ 4.42 ซึ่งมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการหมักอย่างต่อเนื่องตลอดการหมัก การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง กองที่ 7 และ 8 มีลักษณะคล้ายกัน ดังภาพที่ 4.43 คือ ค่าที่ได้ลดลงไม่คงที่ทั้งสองกองตลอดเวลาการหมัก

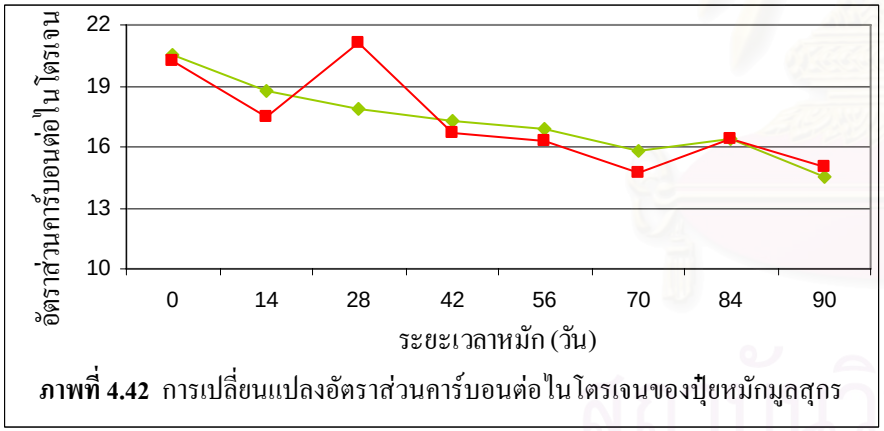
เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนปุ๋ยหมักแต่ละชนิดตามระยะเวลาการหมัก ซึ่งมีลักษณะเดียวกัน ดังภาพที่ 4.44 คือ ค่าที่ได้ลดลงตามระยะเวลาในการหมัก โดยอัตราการลดลงของปุ๋ยหมักแต่ละกองนั้นมีความแตกต่างกัน เช่น ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียและเศษปลานิลสดมีค่าลดลงมากในช่วง 14 วันแรกของการหมัก จากนั้นอัตราการลดลงก็จะต่ำลง ในขณะที่ปุ๋ยหมักมูลสุกรและกากตะกอนมีอัตราลดลงอย่างช้าๆ ในลักษณะกราฟเกือบเป็นเส้นตรง เป็นต้น เมื่อพิจารณาการลดลงของค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (ตารางที่ 4.10) จะเห็นว่าปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดมีค่าการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากที่สุด นอกจากนั้นปุ๋ยหมักที่มีไนโตรเจนเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกันจะมีการลดลงใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับวัตถุดิบต่างชนิดกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ทุกกองมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 20 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรและมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : ปุ๋ยหมัก ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ



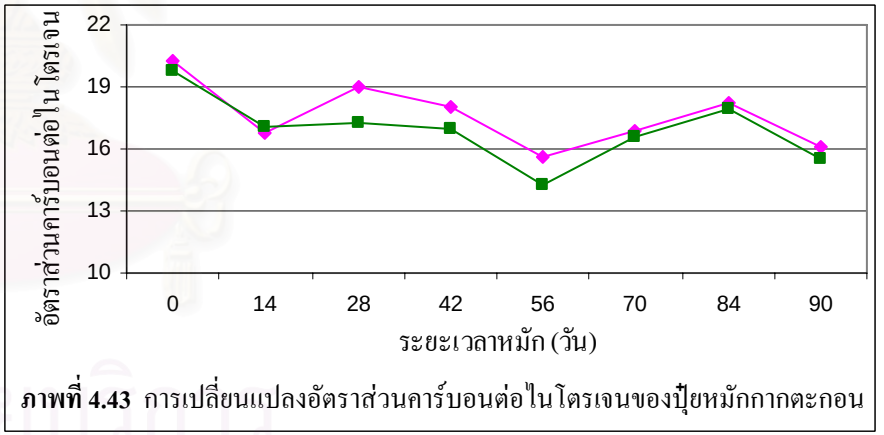
ภาพที่ 4.40 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



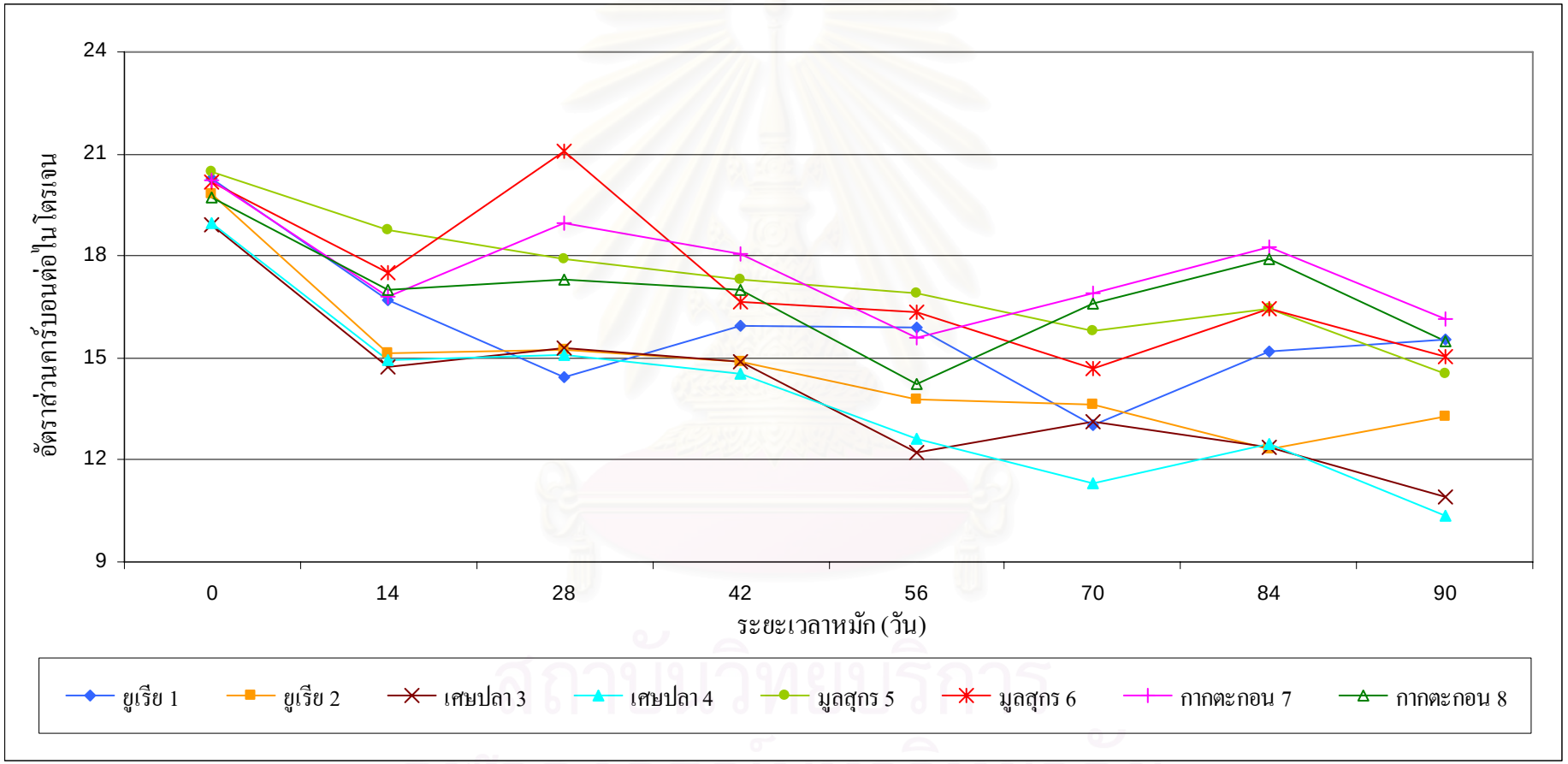
ภาพที่ 4.41 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด



ภาพที่ 4.42 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักมูลสุกร



ภาพที่ 4.43 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักกากตะกอน



ภาพที่ 4.44 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 4.8 การลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักเมื่อครบ 90 วัน

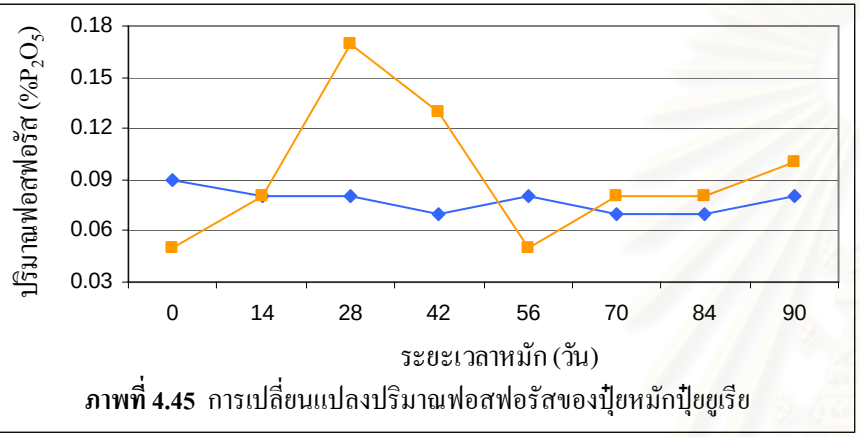
ชนิดของปุ๋ยหมัก	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน		
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ลดลง
ปุ๋ยยูเรีย 1	20.25	15.53	4.72
ปุ๋ยยูเรีย 2	19.82	13.28	6.54
เศษปลานิลสด 3	18.93	10.93	8.01
เศษปลานิลสด 4	18.96	10.38	8.59
มูลสุกร 5	20.48	14.55	5.93
มูลสุกร 6	20.18	15.04	5.15
กากตะกอน 7	20.23	16.13	4.10
กากตะกอน 8	19.73	15.51	4.22

4.3.2.5 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus ; P_2O_5)

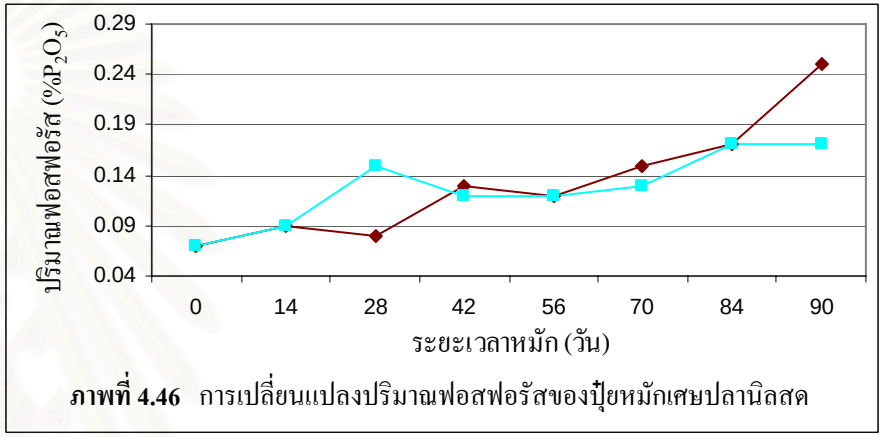
ปริมาณฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในสารอินทรีย์เมื่อเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดจากแหล่งอื่นๆ ซึ่งในปุ๋ยที่ดีนั้นก็ต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 และ 2 มีลักษณะดังภาพที่ 4.45 และ 4.49 จะเห็นว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีเพียงเล็กน้อยในกองที่ 1 ขณะที่ในกองที่ 2 ช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นมาก หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลง และเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 และกองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.09% และ 0.05% เมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 มีค่า 0.08% และ 0.10% ตามลำดับ จะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสเพียงเล็กน้อยตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง

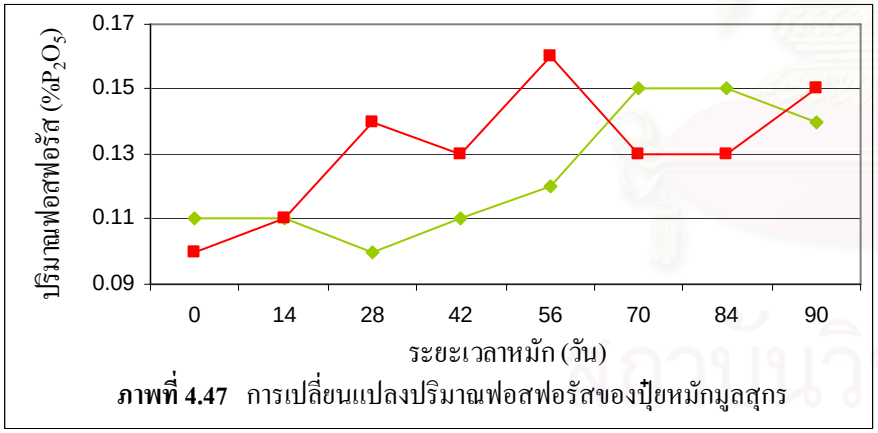
ปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 3 และ 4 มีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก ดังภาพที่ 4.45 และ 4.50 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.07-0.25% ของทั้งสองกอง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมัก พบว่าปริมาณที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมักสำหรับกองที่ 3 ขณะที่กองที่ 4 มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่สม่ำเสมอตามระยะเวลาหมัก ปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดทั้งสองกองมีค่าเท่ากับ 0.07% เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเป็น 0.25% และ 0.17% ตามลำดับ



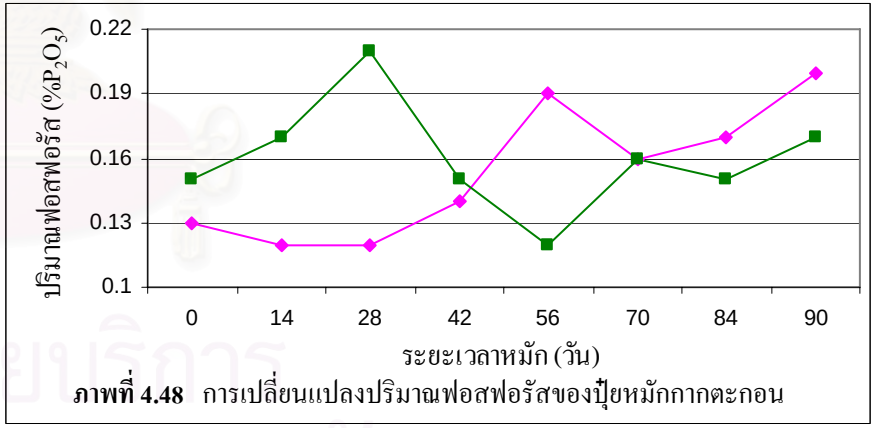
ภาพที่ 4.45 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



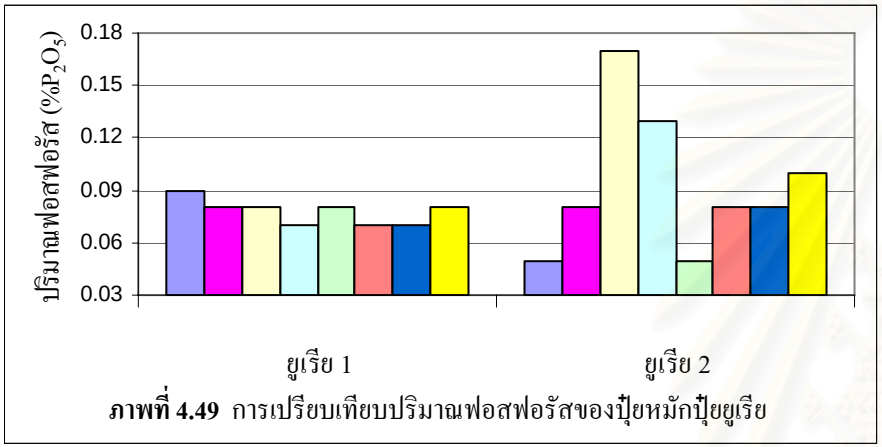
ภาพที่ 4.46 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด



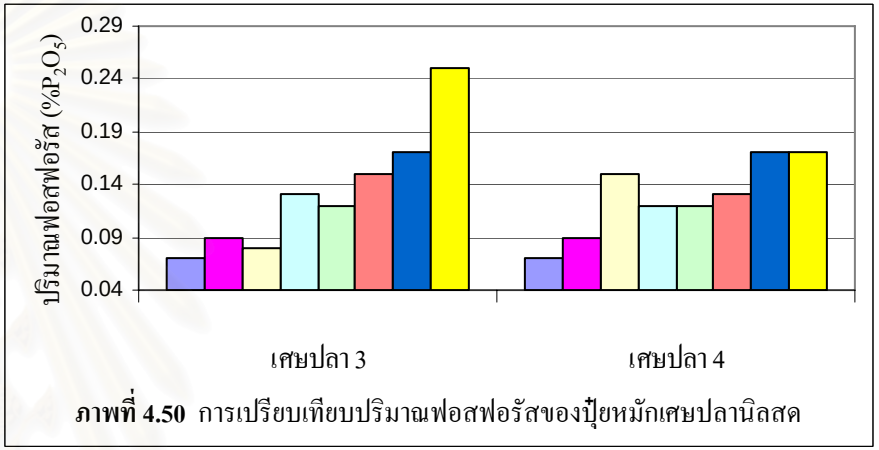
ภาพที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักมูลสุกร



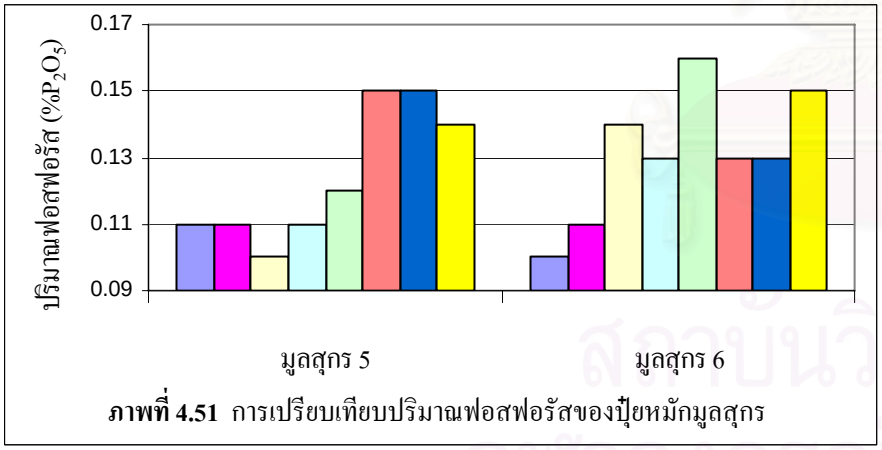
ภาพที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักกากตะกอน



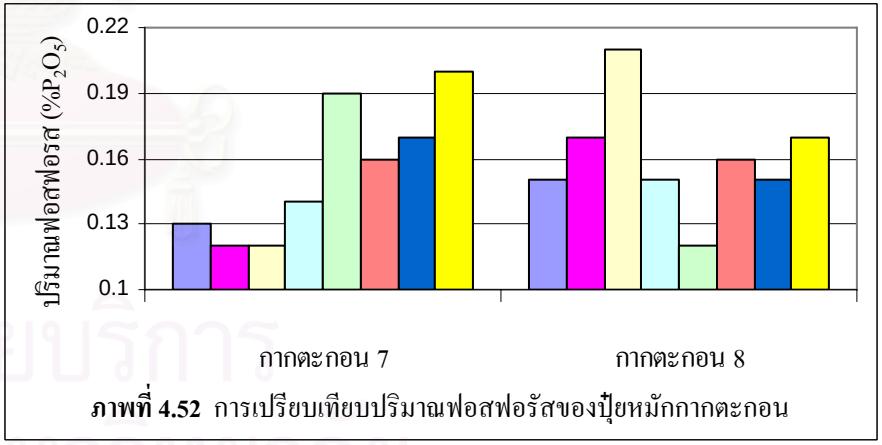
ภาพที่ 4.49 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



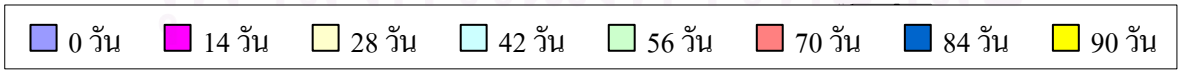
ภาพที่ 4.50 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด

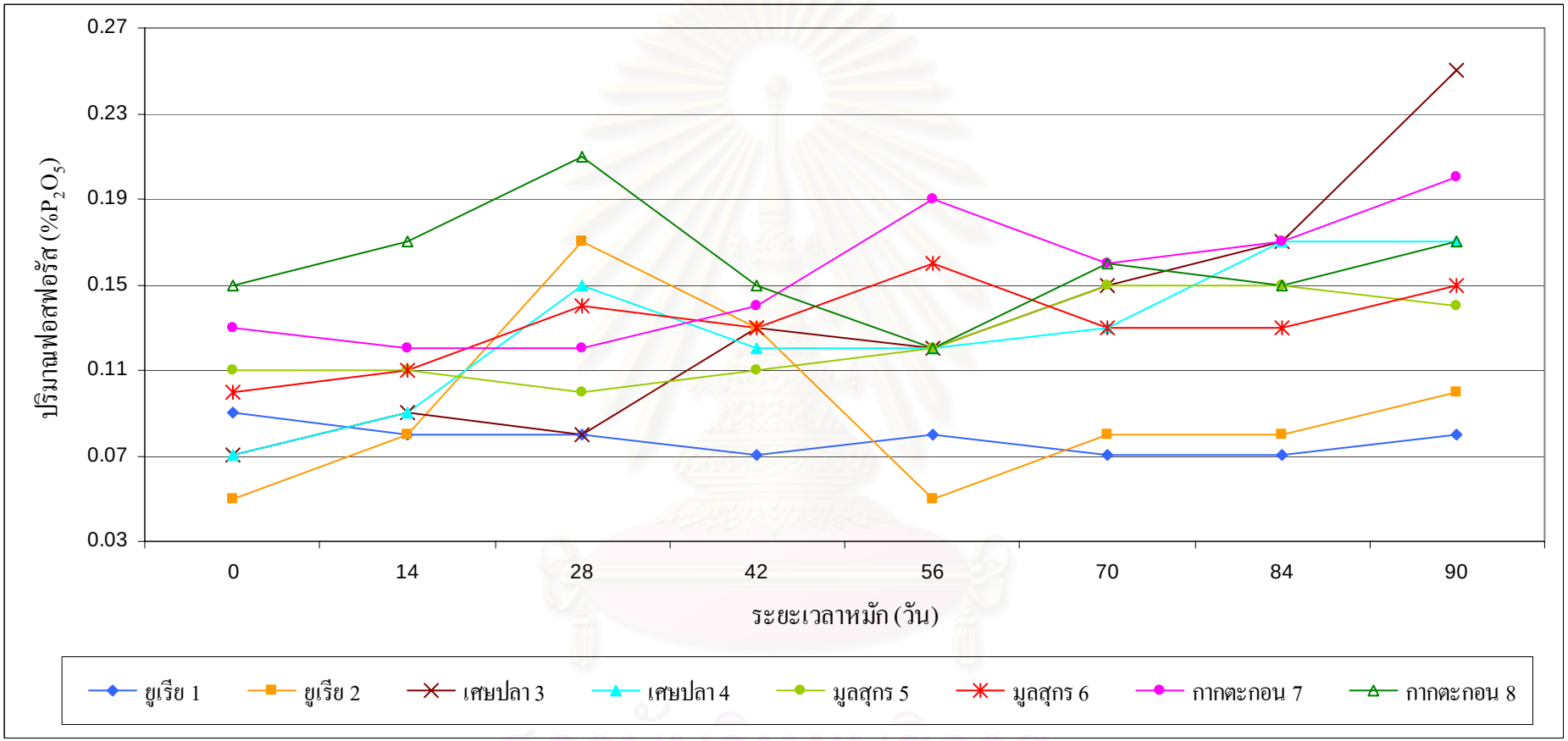


ภาพที่ 4.51 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักมูลสุกร



ภาพที่ 4.52 การเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักกากตะกอน





ภาพที่ 4.53 ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมักมูลสุกรกองที่ 5 และ 6 มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.46 และ 4.51 ซึ่งในกองที่ 5 จะเพิ่มตามระยะเวลาในการหมัก ขณะที่ในกองที่ 6 มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 56 วันแรกของการหมัก จากนั้นค่าจึงค่อยๆ ลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของทั้งสองกองเกิดขึ้นอยู่ในช่วง 0.10-0.16% และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่มีในปุ๋ยหมักทั้งสองกอง จะเห็นว่า ในช่วงวันที่ 28 ถึงวันที่ 56 ปริมาณฟอสฟอรัสของปุ๋ยหมักกองที่ 8 มีค่ามากกว่ากองที่ 7 แต่หลังจากนั้นปริมาณฟอสฟอรัสในกองที่ 5 มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่กองที่ 6 มีค่าลดลง โดยปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นของปุ๋ยหมักทั้งสองกองมีค่าเท่ากับ 0.11% และ 0.10% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ในวันสิ้นสุดการหมักกับค่าตอนเริ่มต้น พบว่า ค่าสุดท้ายมีค่ามากกว่าค่าที่ได้ตอนเริ่มต้นการหมักสองกอง ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในวันสุดท้ายของการหมักมีค่าเท่ากับ 0.14% และ 0.15% ตามลำดับ

ในกองปุ๋ยหมักกากตะกอนกองที่ 7 และ 8 มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัส ดังภาพที่ 4.47 และ 4.52 จะเห็นว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของทั้งสองกองแตกต่างกัน ซึ่งอยู่ในช่วง 0.12-0.20% โดยกองที่ 7 ในช่วงแรกจะไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง แต่หลังจากวันที่ 42 ค่าจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่กองที่ 8 ค่าจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 28 วันแรกของการหมัก จากนั้นค่าจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการหมัก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่มีในปุ๋ยหมักในระยะเวลาต่างๆ พบว่า ในปุ๋ยหมักกองที่ 7 มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น แต่ในกองที่ 8 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้เมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่ามากกว่าค่าเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย โดยปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.13% และ 0.15% ตามลำดับ ขณะที่เมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 มีค่าเท่ากับ 0.20% และ 0.17%

ปุ๋ยหมักที่ทำการหมักโดยใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 4.53 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเริ่มต้นและปริมาณที่ได้เมื่อสิ้นสุดการหมัก โดยในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสมากนักตลอดการทดลอง ในขณะที่ปุ๋ยหมักที่ใช้ของเสียอินทรีย์เป็นแหล่งไนโตรเจนนั้นปริมาณฟอสฟอรัสจะเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งสุดท้ายค่าที่ได้เมื่อสิ้นสุดการหมักจะเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นในปุ๋ยหมักทุกกอง โดยค่าสุดท้ายที่ได้ในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอน มีค่าเท่ากับ 0.10, 0.25, 0.17 และ 0.20% ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้ในกองปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรและมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : ปุ๋ยหมัก ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติที่กำหนดให้ปริมาณฟอสฟอรัสต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5% โดยน้ำหนัก

4.3.2.6 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total potassium : K_2O)

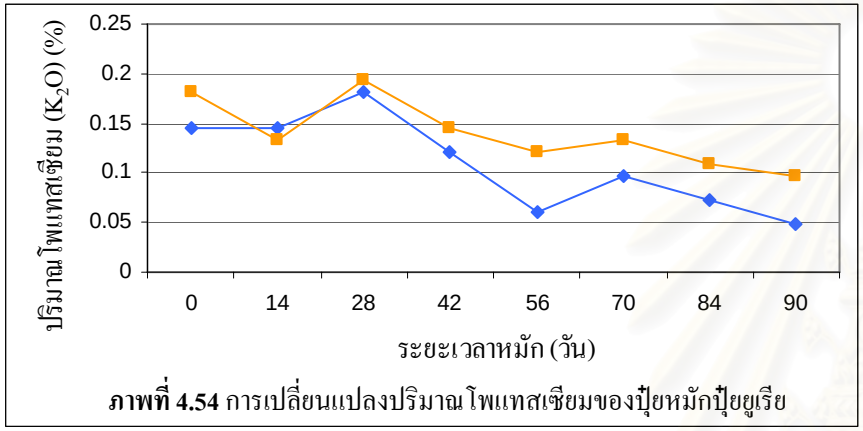
ปริมาณโพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นต้องมีในปุ๋ยหมัก เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักของพืช ซึ่งมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัส ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ดีจึงต้องมีโพแทสเซียมในปริมาณที่เหมาะสม

ปริมาณโพแทสเซียมที่เกิดขึ้นในการหมักปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 และ 2 มีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่ลดลง ดังภาพที่ 4.54 และ 4.58 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียทั้งสองกองอยู่ในช่วง 0.05-0.20% เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักทั้งสองกอง พบว่า ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.15% และ 0.18% ตามลำดับ ในขณะที่สิ้นสุดการหมักมีค่าเพียง 0.05% และ 0.10% ตามลำดับ จะเห็นว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่หายไปเท่ากับ 0.10% และ 0.08% ตามลำดับ

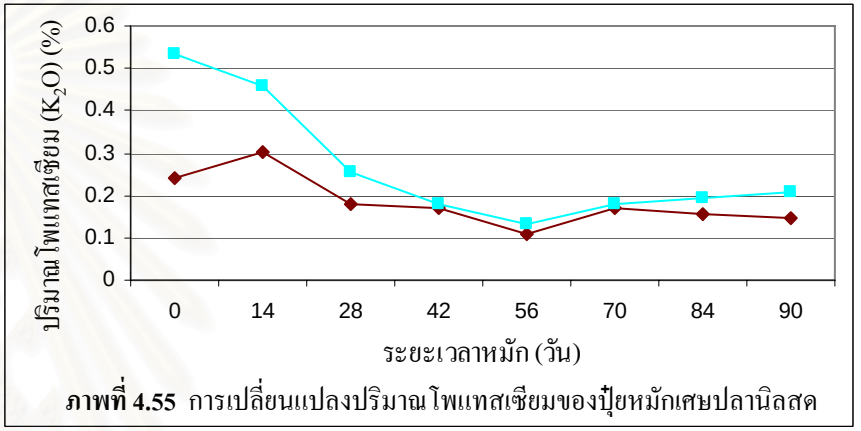
ในปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 3 และ 4 มีปริมาณโพแทสเซียมที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 4.55 และ 4.59 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ลดลงอย่างแต่เนื่องจนถึงวันที่ 42 ของการหมักและจากนั้นจึงรักษาระดับจนสิ้นสุดการหมักของปุ๋ยหมักทั้งสองกอง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมในการหมัก จะเห็นว่า ปริมาณโพแทสเซียมเริ่มต้นในปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดมีค่าเท่ากับ 0.24% และ 0.53% ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในช่วง 14 วันแรกค่าที่ได้ในกองที่ 4 มีค่ามากกว่ากองที่ 3 อยู่มาก แต่หลังจากนั้นค่าที่ได้ใกล้เคียงกันทั้งสองกอง โดยปริมาณโพแทสเซียมที่มีในปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 3 และ 4 เมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าเท่ากับ 0.15% และ 0.21% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณที่หายไปมีค่าเท่ากับ 0.09% และ 0.32% ตามลำดับ

ปริมาณโพแทสเซียมที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมักมูลสุกรกองที่ 5 และ 6 มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเดียวกันทั้งสองกอง ดังภาพที่ 4.56 และ 4.60 โดยจะลดลงอย่างมากในช่วง 56 วันแรกของการการหมัก และจะรักษาระดับจนสิ้นสุดการหมัก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมที่เกิดขึ้น พบว่า ค่าเริ่มต้นของกองที่ 5 และ 6 มีค่า 0.21% และ 0.26% ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่า 0.08% และ 0.15% ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมที่หายไปมีค่าเท่ากับ 0.13% และ 0.11% ตามลำดับ

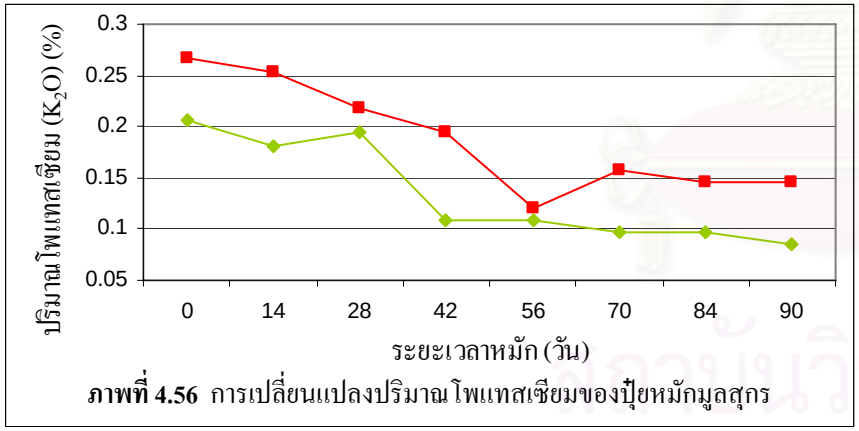
ปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งกองที่ 7 และ 8 มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียม ดังภาพที่ 4.57 และ 4.61 ซึ่งมีค่าลดลงอย่างมากในลักษณะแนวกราฟเส้นตรงตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงวันที่ 56 ของการหมัก และหลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนสิ้นสุดการหมัก และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมที่เกิดขึ้น จะเห็นว่า ปริมาณโพแทสเซียมเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.27% และ 0.24% ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักแต่ละกองมีค่าเท่ากับ 0.11% และ 0.15% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่หายไปมีค่าเท่ากับ 0.16% และ 0.09% ตามลำดับ



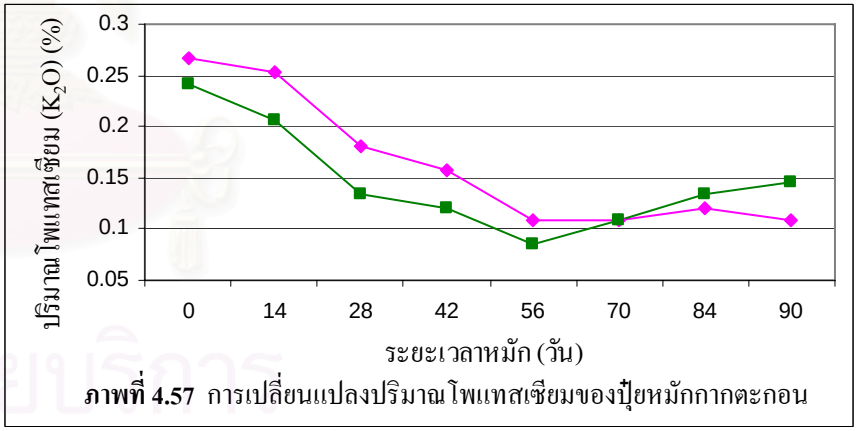
ภาพที่ 4.54 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



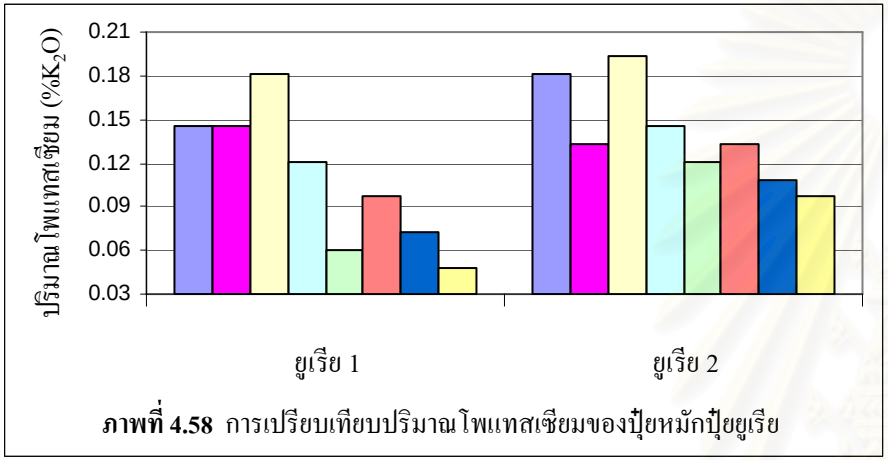
ภาพที่ 4.55 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด



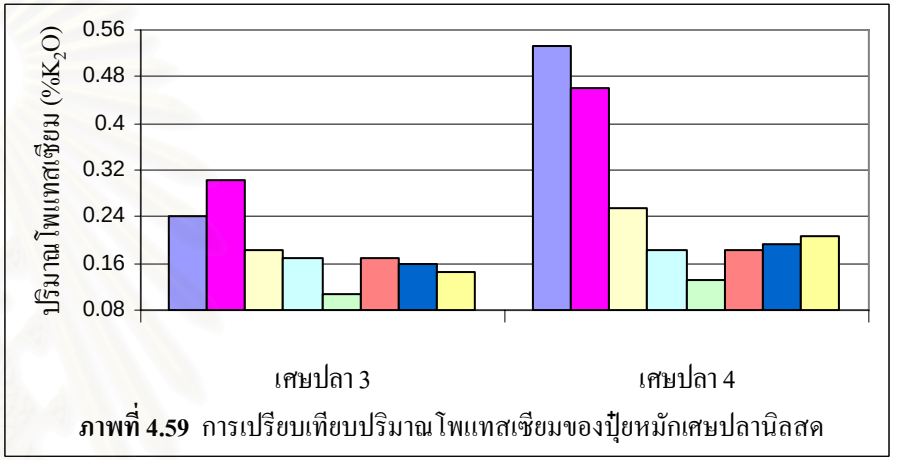
ภาพที่ 4.56 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักมูลสุกร



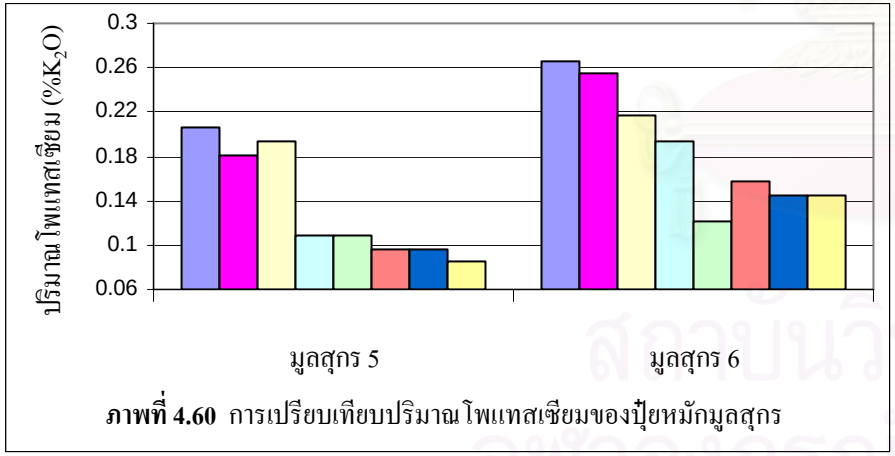
ภาพที่ 4.57 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักกากตะกอน



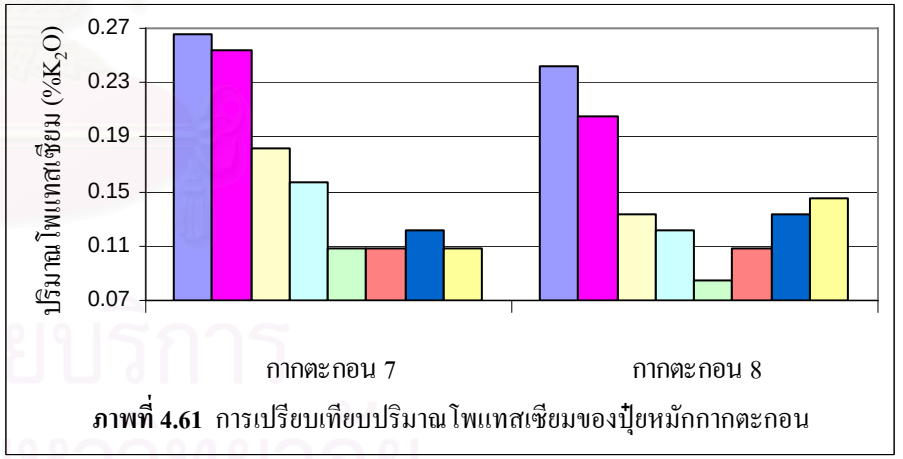
ภาพที่ 4.58 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



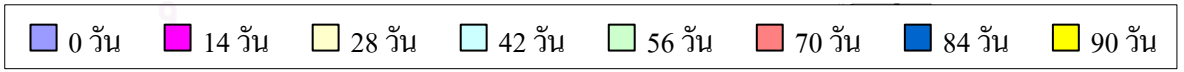
ภาพที่ 4.59 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด

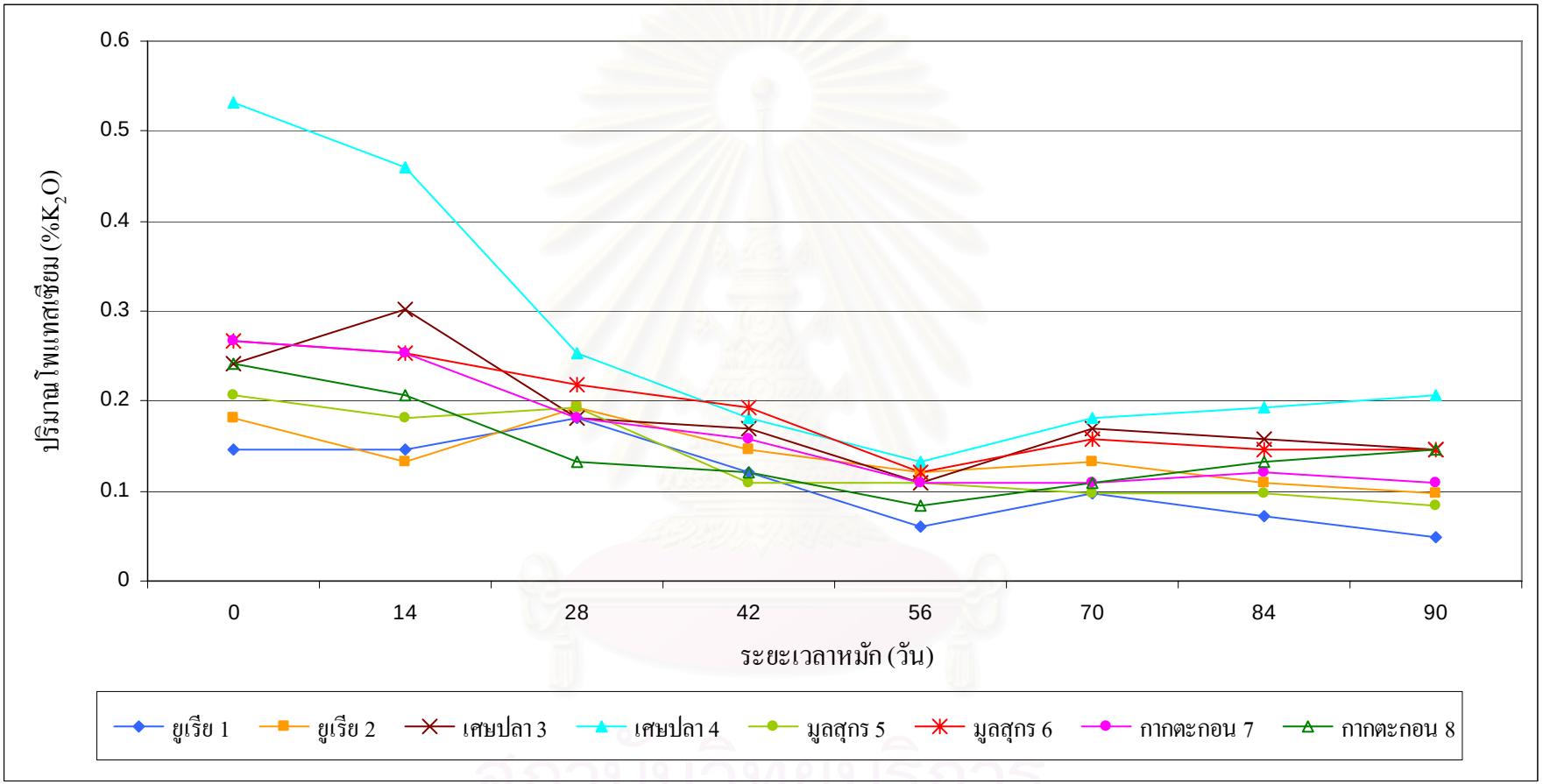


ภาพที่ 4.60 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักมูลสุกร



ภาพที่ 4.61 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักกากตะกอน





ภาพที่ 4.62 ปริมาณโพแทสเซียมของปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมักแต่ละกองนั้นมีลักษณะเดียวกัน ดังภาพที่ 4.62 คือ ปริมาณโพแทสเซียมจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการหมัก เมื่อพิจารณาตามลักษณะการลดลง จะเห็นว่า ในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียแนวโน้มการลดลงจะลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการหมัก ในขณะที่ปุ๋ยหมักที่ใช้ของเสียอินทรีย์เป็นแหล่งไนโตรเจนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเดียวกัน คือ จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการหมักตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงประมาณวันที่ 56 ของการหมัก และจากนั้นจะรักษาระดับคงที่จนสิ้นสุดการหมัก โดยปริมาณโพแทสเซียมที่ลดลงนั้นอาจเกิดจากการสูญหายละลายไปกับน้ำในระหว่างการการหมักที่มีน้ำไหลออกจากถังหมัก เนื่องจากโพแทสเซียมบางรูปสามารถละลายน้ำได้ จึงอาจส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในกองปุ๋ยหมักลดลง เมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 ปริมาณโพแทสเซียมที่ได้จากปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนมีค่า 0.10, 0.21, 0.15 และ 0.15% ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณโพแทสเซียมที่ได้ในกองปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรและมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ: ปุ๋ยหมัก ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติที่กำหนดให้ปริมาณฟอสฟอรัสต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5% โดยน้ำหนัก

4.3.3 ลักษณะสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพในระหว่างกระบวนการหมัก

4.3.3.1 การย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก (compost maturity)

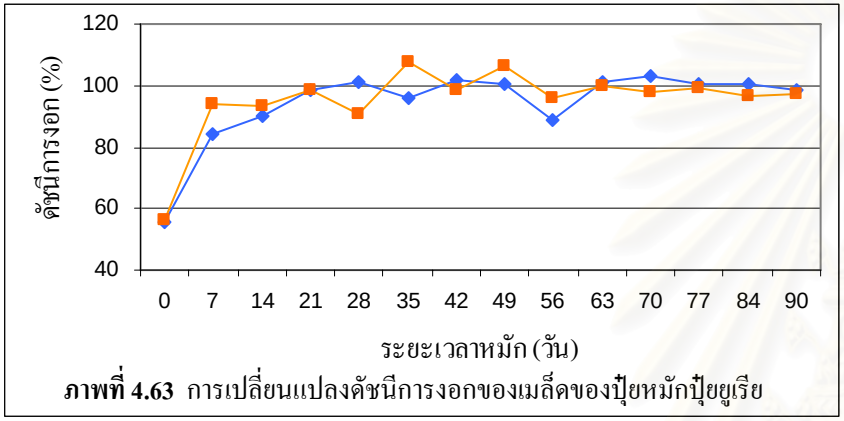
การย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักเป็นการบ่งบอกถึงความพร้อมใช้ของปุ๋ยหมักที่นำมาใช้แล้วจะไม่เป็นอันตรายต่อพืช ซึ่งค่าการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักนั้นได้มาจากวิธีทดสอบการงอกของเมล็ด (seed germination) โดยใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับการใช้น้ำกลั่น

การงอกของเมล็ดเกิดขึ้นโดยใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 และ 2 มีการเปลี่ยนแปลงและค่าการงอก ดังภาพที่ 4.63 จะเห็นว่า ดัชนีการงอกของเมล็ดเมื่อใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักในตอนเริ่มต้นการหมักมีค่า 55.56% และ 56.26% ตามลำดับ และเมื่อใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่หมักตั้งแต่วันที่ 7 จนสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 ดัชนีการงอกของเมล็ดมีค่าสูงกว่า 80% ตลอดการทดลอง เช่นเดียวกับการใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 3 และ 4 ที่มีการเปลี่ยนแปลงและค่าการงอกของเมล็ด ดังภาพที่ 4.64 พบว่า เมื่อใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักในตอนเริ่มต้นการหมัก ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดเท่ากับ 60.21% และ 61.02% ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าดัชนีการงอกของเมล็ดมีค่าสูงกว่า 80% เมื่อใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่หมักตั้งแต่วันที่ 7 จนสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 สำหรับการงอกของเมล็ดเกิดขึ้นโดยใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักมูลสุกรกองที่ 5 และ 6 มีการเปลี่ยนแปลงและค่าการงอก ดังภาพที่ 4.65 จะเห็นว่า เมื่อใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักก่อนการ

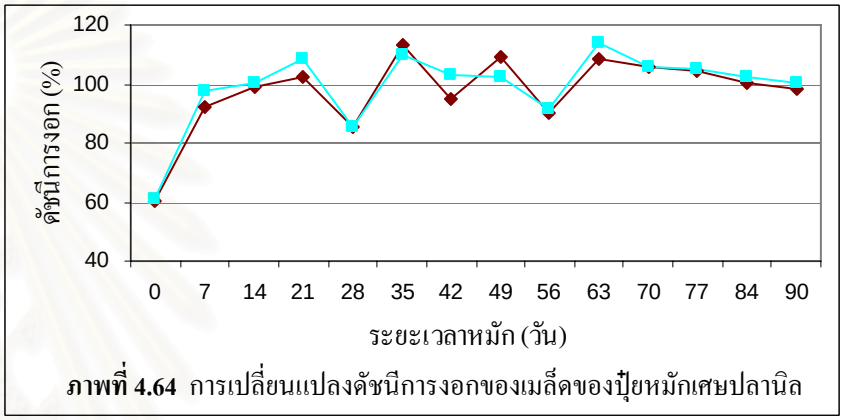
หมักปุ๋ย ดัชนีการงอกของเมล็ดมีค่า 62.23% และ 62.03% ตามลำดับ และตั้งแต่วันที่ 7 จนสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 ดัชนีการงอกของเมล็ดมีค่าสูงกว่า 80% และเมื่อใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง กองที่ 7 และ 8 ดัชนีการงอกมีการเปลี่ยนแปลงและค่าการงอก ดังภาพที่ 4.66 จะเห็นว่า ดัชนีการงอกของเมล็ดเมื่อใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักตอนเริ่มต้นการหมักปุ๋ยมีค่า 59.23% และ 60.21% ตามลำดับ หลังจากนั้นตั้งแต่วันที่ 7 จนสิ้นสุดการหมักในวันที่ 90 ดัชนีการงอกของเมล็ดมีค่าสูงกว่า 80%

เมื่อพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงและค่าดัชนีการงอกของเมล็ดที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมักแต่ละชนิด ดังภาพที่ 4.67 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการงอกในแต่ละช่วงเวลาของปุ๋ยหมักแต่ละชนิดนั้นมีลักษณะเดียวกัน คือ การงอกของเมล็ดจะมีค่าน้อยกว่า 80% เมื่อใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่เพิ่งเริ่มต้นการหมักเท่านั้น นอกจากนั้นเมื่อหมักได้เพียง 7 วัน แล้วนำปุ๋ยหมักมาทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด พบว่า ดัชนีการงอกของเมล็ดมีค่ามากกว่า 80% และในระยะหลังของการหมักค่าดัชนีการงอกของเมล็ดในปุ๋ยหมักทุกกองมีค่าประมาณ 100% ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าภายในกองปุ๋ยหมักทุกกองมีการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นและเกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ เพราะเมื่อนำมาทดสอบกับการงอกของเมล็ดแล้วสามารถทำให้เมล็ดงอกและมีรากยาวพร้อมที่จะเจริญเติบโตต่อไปได้

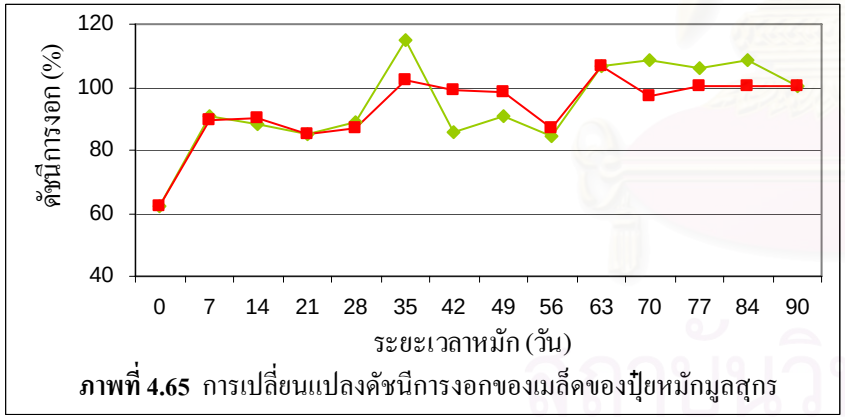
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



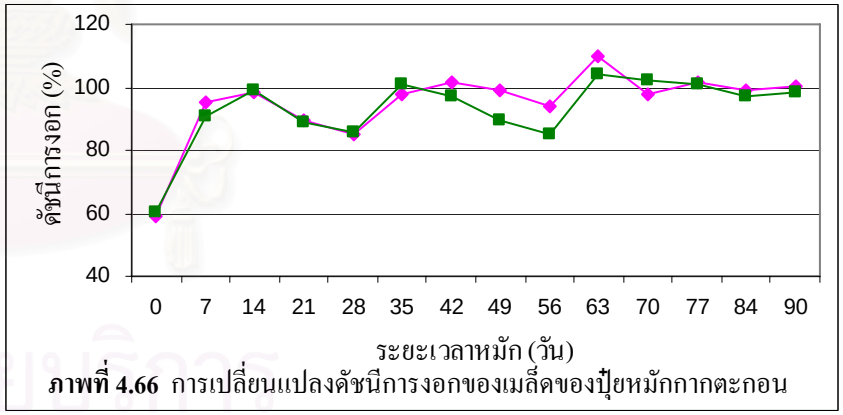
ภาพที่ 4.63 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย



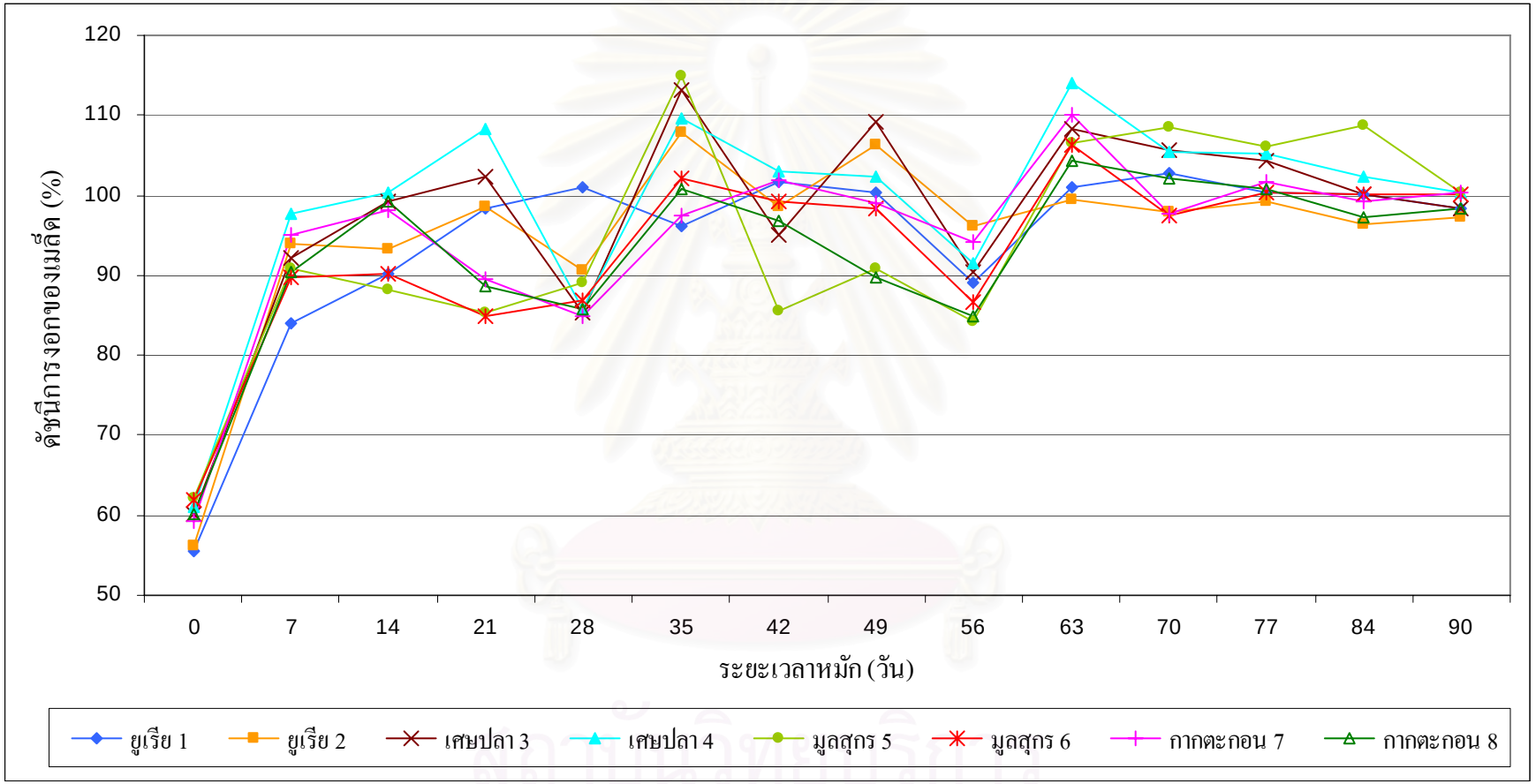
ภาพที่ 4.64 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมักเศษปลานิล



ภาพที่ 4.65 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมักมูลสุกร



ภาพที่ 4.66 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมักกากตะกอน



ภาพที่ 4.67 ดัชนีการงอกของเมล็ดในปุ๋ยหมักทุกกลุ่มการทดลอง

4.4 คุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้

กระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในการทำปุ๋ยหมักในการทดลองนี้ ถือว่ามีความสมบูรณ์ทั้งปัจจัยในด้านวัตถุดิบ วิธีการหมัก รวมถึงปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอื่นๆ จึงส่งผลให้ปุ๋ยหมักที่ได้ในแต่ละกองเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพผ่านเกณฑ์ที่กำหนดของกรมวิชาการเกษตรตามพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

ปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองมีลักษณะเป็นปุ๋ยหมักมีสีน้ำตาลเข้มมากจนถึงดำ ถือว่าเป็นลักษณะของปุ๋ยหมักที่ดี โดยเรียงลำดับความเข้มของสีที่ได้จากสีเข้มมากไปน้อย ดังนี้ ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด มูลสุกร กากตะกอน และปุ๋ยยูเรีย ตามลำดับ เมื่อพิจารณาขนาดของปุ๋ยหมัก พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้มีขนาดเล็กกว่า 12.5x12.5 มิลลิเมตรทุกกอง ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดไว้ รวมทั้งไม่มีกลิ่นเหม็นเน่าเกิดขึ้นกับปุ๋ยหมักที่ได้

คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้ในแต่ละกองมีค่า ดังตารางที่ 4.9 จะเห็นว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 7.28-7.75 โดยเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดไว้มีค่าระหว่าง 5.5-8.5 ดังนั้นจึงถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ สำหรับอุณหภูมิที่วัดได้ภายในกองปุ๋ยหมักแต่ละกองนั้นมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ โดยอุณหภูมิบรรยากาศมีค่า 31.5 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 30.0-32.0 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติที่สำคัญของปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยหมักที่ดีนั้นต้องมีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมกับพืช ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้โดยที่ไม่เกิดอันตราย นอกจากนั้นยังต้องมีปริมาณอินทรียวัตถุในปริมาณเหมาะสมเพื่อเป็นประโยชน์กับดินที่ใช้ทำการเกษตร จากการทดลอง พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักแต่ละชนิดนั้นมีค่าอยู่ในระดับที่เหมาะสม คือ อยู่ในช่วง 35-48% ยกเว้นปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 4 มีค่าเพียง 31.41% แต่ก็ถือว่ามีค่าอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้ได้ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักที่ได้มีค่าระหว่าง 10.38-16.13 ซึ่งค่าที่บ่งบอกว่าปุ๋ยหมักนั้นย่อยสลายสมบูรณ์และสามารถนำไปใช้กับพืชได้ เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดนั้นต้องมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 20 จึงถือว่าเป็นปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์ธาตุอาหารหลักที่มีในปุ๋ยหมัก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีในปุ๋ยหมักที่หมักได้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.48-1.87% ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของ P_2O_5 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.08-0.25% และปริมาณโพแทสเซียมในรูปของ K_2O มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.21% จะเห็นว่า ธาตุอาหารหลักที่มีในปุ๋ยหมักแต่ละชนิดนั้นยังมีปริมาณที่น้อยกว่ามาตรฐานปุ๋ยหมักที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร จึงต้องมีการเติมสารอื่น เช่น หินฟอสเฟต กระดูกสัตว์ป่น และเปลือกไข่ไก่ เป็นต้น เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้มีปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสมต่อการนำไปใช้ปลูกพืช

ตารางที่ 4.9 คุณสมบัติของปุ๋ยหมักแต่ละชนิดที่ได้จากการวิเคราะห์ในวันที่ 90 ของการหมัก

ชนิดของปุ๋ยหมัก	Temp. (^{o}C)	MC (%)	pH	OM (%)	TN (%)	C/N ratio	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	GI (%)
ปุ๋ยยูเรีย 1	32.0	63.63 ± 0.91	7.65	39.51 ± 1.25	1.48 ± 0.07	15.53	0.08	0.05	98.27
ปุ๋ยยูเรีย 2	32.0	63.76 ± 0.62	7.62	35.17 ± 1.10	1.54 ± 0.07	13.28	0.10	0.10	97.26
เศษปลานิลสด 3	30.0	61.54 ± 0.97	7.51	35.14 ± 1.91	1.87 ± 0.10	10.93	0.25	0.15	98.27
เศษปลานิลสด 4	31.0	60.40 ± 0.99	7.56	31.41 ± 1.15	1.76 ± 0.05	10.38	0.17	0.21	100.25
มูลสุกร 5	30.5	60.38 ± 0.69	7.33	41.99 ± 1.52	1.68 ± 0.08	14.55	0.14	0.08	100.27
มูลสุกร 6	31.0	60.69 ± 0.96	7.28	43.54 ±1.14	1.68 ± 0.07	15.04	0.15	0.15	100.02
กากตะกอน 7	30.0	61.77 ± 1.06	7.72	47.96 ± 1.52	1.73 ± 0.03	16.13	0.20	0.11	100.26
กากตะกอน 8	31.5	60.67 ± 0.70	7.75	45.89 ± 1.90	1.72 ± 0.03	15.51	0.17	0.15	98.33

หมายเหตุ Temp. หมายถึง อุณหภูมิ
pH หมายถึง ความเป็นกรดเป็นด่าง
TN หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด
P_2O_5 หมายถึง ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ในรูปของ P_2O_5
GI หมายถึง ดัชนีการงอกของเมล็ด
MC หมายถึง ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้
OM หมายถึง ปริมาณอินทรียวัตถุ
C/N ratio หมายถึง อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน
K_2O หมายถึง ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ในรูปของ K_2O

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแหล่งไนโตรเจนกับการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยใช้วัตถุดิบหมักที่เป็นแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ ปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง รวมกับวัตถุดิบหมักที่เป็นแหล่งคาร์บอน คือ ใบจามจุรีแห้งและผักตบชวา โดยกำหนดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30:1 ซึ่งวัตถุดิบหมักในแต่ละกองจะถูกผสมกันก่อนนำลงหมักในถังพลาสติกทรงกระบอกที่เจาะรูเพื่อการระบายอากาศภายในถัง ทั้งนี้ มีการพลิกกลับกองและความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักประมาณ 60-70% ทุก 7 วัน รวมระยะเวลาในการหมัก 90 วัน สามารถสรุปผลการศึกษาได้ ดังนี้

1. แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันในปุ๋ยหมักมีผลต่อการย่อยสลายสมบูรณ์ ซึ่งพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของปุ๋ยหมัก โดยเปรียบเทียบตามระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักที่มีวัตถุดิบหมักแตกต่างกัน

2. ความแตกต่างของแหล่งไนโตรเจนในของเสียอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก เพราะจากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในมูลสุกร เศษปลานิลสด และกากตะกอนบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มีค่า 2.81%, 2.53% และ 2.03% ตามลำดับ แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักมูลสุกร เศษปลานิลสด และกากตะกอนบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มีค่า 70, 56 และ 60 วัน ตามลำดับ

3. เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักที่มีแหล่งไนโตรเจนแตกต่างกันระหว่างสารเคมี คือ ปุ๋ยยูเรีย กับสารอินทรีย์ที่ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายสมบูรณ์น้อยที่สุด คือ เศษปลานิลสด พบว่า ความแตกต่างของแหล่งไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยยูเรียและเศษปลานิลสดมีค่าเท่ากับ 46 และ 2.53% ตามลำดับ และระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยยูเรียและเศษปลานิลสด มีค่า 49 และ 56 วัน ตามลำดับ จะเห็นว่า แหล่งไนโตรเจนที่เป็นปุ๋ยยูเรียจะใช้เวลาในการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์น้อยกว่าที่เป็นสารอินทรีย์

4. ความแตกต่างของแหล่งไนโตรเจนในวัตถุดิบหมักมีผลต่อปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้ในวันที่ปุ๋ยหมักย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย เศษปลานิลสด มูลสุกร และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็งใช้ระยะเวลาเท่ากับ 49, 56, 70 และ 60 วัน ตามลำดับ ผลการศึกษามีดังนี้

4.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าแตกต่างกันในปุ๋ยหมักที่มีแหล่งไนโตรเจนต่างกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกัน คือ มีแนวโน้มลดลงจนปุ๋ยหมักย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง เศษปลานิลสด มูลสุกร และปุ๋ยยูเรีย มีค่าประมาณ 1.86, 1.83, 1.65 และ 1.65% ตามลำดับ

4.2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในรูปของ P_2O_5 ในปุ๋ยหมักมีค่าแตกต่างกันเมื่อใช้แหล่งไนโตรเจนเป็นวัตถุดิบหมักที่ต่างชนิดกัน โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการหมักแตกต่างกัน คือ ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดการทดลอง ในขณะที่ปุ๋ยหมักที่ใช้ของเสียอินทรีย์เป็นแหล่งไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกัน คือ ค่าที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมักจนเมื่อปุ๋ยหมักย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์แล้วจะรักษาระดับและเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์แล้วค่าที่ได้เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ ปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มูลสุกร เศษปลานิลสด และปุ๋ยยูเรีย มีค่าประมาณ 0.16, 0.15, 0.13 และ 0.09% ตามลำดับ

4.3 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในรูป K_2O มีค่าแตกต่างกันในปุ๋ยหมักที่มีแหล่งไนโตรเจนต่างกัน โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีลักษณะเดียวกัน คือ ค่าที่ได้จะลดลงตามระยะเวลาในการหมักจนเมื่อปุ๋ยหมักแต่ละชนิดย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ปุ๋ยหมักกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง มูลสุกร เศษปลานิลสด และปุ๋ยยูเรีย มีค่าประมาณ 0.16, 0.14, 0.13 และ 0.08% ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. มีการพัฒนาสูตรของปุ๋ยหมักให้มีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจนสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ด้วยการเติมสารอินทรีย์ เช่น เปลือกไข่ไก่ และกระดูกสัตว์ป่น เป็นต้น

2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลทำให้ปุ๋ยหมักใช้เวลาในการหมักสั้นลง เช่น การเลือกใช้วัตถุดิบ การเติมสารเร่งปฏิกิริยา และการปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ข้าวทิพย์ เจนธุระกิจ. 2531. การนำผักตบชวา (Eichhornis crassipes) มาใช้ในการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาการสอนเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2549. สรุปผลการประชุม Asia 3Rs conference ระหว่างวันที่ 30 ตุลาคม-1 พฤศจิกายน 2549 ณ กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น. กรมควบคุมมลพิษ. กรุงเทพ. 22 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 10 กรุงเทพ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 488 หน้า.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2550. การงอกของเมล็ดพันธุ์ (ออนไลต์). อ้างถึงใน www.agri.ubu.ac.th/seminar/masterstu/1212713/Seed_nbsp_Germination.htm. (25 ธันวาคม 2550)

เจนศักดิ์ รัตนลัมภ์. 2550. แนวทางการลดปัญหามลภาวะจากการเลี้ยงสุกรในระบบฟาร์มของเกษตรกรรายย่อย (ออนไลต์). อ้างถึงใน www.agri.ubu.ac.th/seminar/masterstu/Swine_Manure.htm. (25 ธันวาคม 2550)

เจนวิทย์ กรอบทอง. 2544. การเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียกับสารไบโอนิคในการทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องและใบไม้แห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 105 หน้า.

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. 2547. ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยชีวภาพ : เพื่อการปรับปรุงดินโดยวิธีเกษตรธรรมชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ โอเดียนสโตร์.

ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 294 หน้า.

ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. 2547. การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

นัทฐา ทักษ์รัตนศรัณย์. 2548. ผลของการใส่ฟางข้าวและปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดพิมายและชุดดินสิงห์บุรี.

วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุปผา คำวัน. 2545. การเพิ่มศักยภาพของฟางข้าวและแกลบในการทำปุ๋ยหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พัฒนา อนุรักษ์พงศธร และ นันทพร วิเศษสมบัติ. 2548. การใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย RBC เป็นวัสดุร่วมในการทำปุ๋ยหมัก. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. สาขาสัตวแพทยศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์. หน้า 60-167.

พัฒนาที่ดิน, กรม. 2545. คู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีวัตถุ. กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 192 หน้า

ภาวนา ลิขขนานนท์. 2528. ปุ๋ยชีวภาพ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

มัณฑนีย์ เศรษฐภักดี. 2551. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (ออนไลต์). อ้างถึงใน http://203.158.184.2/elearing/SoilScience/unit1203.htm. (11 เมษายน 2551)

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดสมบูรณ์ ของดิน. ไอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 368 หน้า.

วลัยพร ผ่อนผัน. 2547. การใช้ประโยชน์กากขี้แป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในรูปสารบำรุงดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชาการเกษตร, กรม. 2548. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548. ราชกิจจานุเบกษา

ส่งเสริมการเกษตร, กรม. 2550. ปุ๋ยหมัก (ออนไลต์). อ้างถึงใน www.doae.do.th/spp/biofertilizer/or4.htm. (25 ธันวาคม 2550)

ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กรม. 2550. โครงการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของเสียชีวมวล : กรณีศึกษาปุ๋ยหมักและน้ำสกัดชีวภาพ. รายงานฉบับสมบูรณ์. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

สมศักดิ์ วังใน. 2528. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด. 193 หน้า

สรพรรณ อมตธรรม. 2546. ผลของการให้ความร้อนในการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารโดยใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สัญชัย จุตรสัทธา. 2543. เทคโนโลยีการผลิตเนื้อสัตว์. โรงพิมพ์ธนบรรณการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 244หน้า.

สุริยา สาสนรักกิจ. 2550. การเลี้ยงปลานิล (ออนไลต์). อ้างถึงใน www.organicthailand.com/article.php?id=9 5 9 &lang=th (29 พฤศจิกายน 2550)

สำนักการกำจัดกากของเสียและสารอันตราย. 2547. คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 12 หน้า

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2548. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : ปุ๋ยหมัก. สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

อรุณี คงศักดิ์ไพศาล. 2551. สมดุลปฏิกิริยากรด-เบส (ออนไลต์). อ้างถึงใน www.kmitl.ac.th/~kkarunee/chap_6_01.pdf (11 เมษายน 2551)

อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติประยุกต์ แนวคิด หลักการ เทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 300 หน้า.

ภาษาอังกฤษ

Alexander M. 1986. Introduction of soil microbiology Toppan company Ltd. Tokyo. 214-218.

Amir, S., Hafidi, M., Merlina, G., Hamdi, H. and Revel, J.C. 2005. Fate of polycyclic aromatic hydrocarbons during composting of lagooning sewage sludge. Chemosphere. 58, 449-458.

Beffa, T., Blanc, M., Marilley, L., Lott Fischer, J., Lyon, P.F. and Aragno, M. 1996. Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting. The Science of Composting. 149-161.

Bishop, P.L. and Godfrey, C. 1983. Nitrogen transformations during sludge composting. Biocycle. 24, 34-39.

Brewer, L.J. and Sullivan, D.M. 2003. Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. Compost Science and Utilization. 11, 96-112.

Casado-Vela, J., Sellés, S., Díaz-Crespo, C., Navarro-Pedreño, J., Mataix-Beneyto, J. and Gómez, I. 2007. Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*Capsicum annuum* var. annuum) grown under two exploitation regimes. Waste Management. 27, 1509-1518.

Collins, E.R. and Parson, S.C. 2003. Development of a composting recipe for swine. Department of Biological System Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University. 37 p.

Cooperband, L.R., Stone, A.G., Fryda, M.R. and Ravet, J.L. 2003. Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. Compost Science and Utilization. 11, 113-124.

Copeland, L.O. and McDonald, M.B. 1995. Principles of Seed Science and Technology. 3rd ed. Thomson publishing Company, Mexico. 409 p.

Duke, J.A. 1983. Handbook of Energy Crops [online]. Available from : www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Samanea_saman.html [2007, November 29]

Eklind, Y. and Kirchmann, H. 2000. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments, II: nitrogen turnover and losses. Biores. Technol. 74, 125-133.

Flores, E.M. 2007. *Samanea saman* (Jacq.) Merr. [online]. Available from : www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder.2003-07-11.4726/PDF.2004-03-16.2148/file [2007, December 8]

Fong, M., Wong, J.W.C. and Wong, M.H. 1999. Review on evaluation of compost maturity and stability of solid waste. Shanghai Environ. Sci. 18, 91–93.

Fuentes, A., Lioréns, M., Saez, J., Aguilar, M.I., Pérez-Marin, A.B., Ortuno, J.F. and Meseguer, V.F. 2006. Ecotoxicity phytotoxicity and extractability of heavy metals from different stabilized sewage sludges. Environ. Pollut. 143, 355-360.

Gil, M.V., Carballo, M.T. and Calvo, L.F. 2007. Fertilization of maize with compost from cattle manure supplement with additional mineral nutrients. Waste Management. [online]. Available from : www.sciencedirect.com [2007, December 8]

Gray, K.R., Sherman, K. and Biddlestone, A.J. 1971. A review of composting : Part 2 – The Practical Process. Process Biocheministry. 6, 22-28.

Golueke, C.G. 1977. Biological Reclamation of Solid Wastes, Rodale Emmaus, PA.

Gonzales, Jr., John M. and Brown, P.B. 2006. Nile tilapia *Oreochromis niloticus* as a food source in advanced life support systems: Initial considerations. Advances in Space Research. 38, 1132–1137.

Gunnarsson, C.C. and Petersen, C.M. 2007. Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review. Waste management 27, 117-129.

Huang, G.F., Wong, J.W.C., Wu, Q.T. and Nagar, B.B. 2004. Effect of C/N on compostimg of pig manure with sawdust. Waste Management. 24, 805-813.

Iqbal, G.M.A., Huda, S.M.S., Sujauddin. M. and Hossain, M.K. 2007. Effect of sludge on germination and initial growth performance of *Leucaena leucocephala* seedling in the nursery. Journal of Forestry Research. 18, 226-230.

Ko, H.J., Kim, K.Y., Kim H.T., Kim, C.N. and Umeda, M. 2007. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. Waste Management. [online] Available from : www.sciencedirect.com [2007, December 8]

Mandal, A., Patra, A.K., Singh, D., Swarup, A. and Masto, R.E. 2007. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. Bioresource Technology. 98, 3585-3592.

Margesin, R., Cimadom, J. and Schinner, F. 2005. Biological activity during composting of sewage sludge at low temperature. International Biodeterioration & Biodegradation. 57, 88-92.

Michel, F.C., Forney, L.J., Huang, A.J.F., Drew, S., Czuprendski, M., Lindeberg, J.D., and Reddy, C.A. 1996. Effects of turning frequency, leaves to gress mix ratio and windrow vs. pile configuration on the composting of yard trimmings. Compost Science And UtiliZation. 4, 126-143.

Mitchell, C. 1992. Using Sewage Sludge As Fertilizer [online] Available from : www.aces.edu/crd/publications/ANR-721.html [2007, December 8]

National Academy of Science. 1979. Nitrogen Fixing Tree Association 1987b [online]. Available from : www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder.2003-07-11.4726/PDF.2004-03-16.2148/file [2007, November 29]

Nengwu, Z. 2007. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. Bioresource Technology. 98, 9–13.

Oleszczuk, P. 2007. The toxicity of composts from sewage sludges evaluated by the direct contact tests phytotoxkit and ostracodtoxkit. Waste Management [online] Available from : www.scincedirect.com [2007, December 11]

Overdahl, C. J., Rehm, G. W. and Meredith H. L. 2008. Fertilizer Urea [online] Available from : www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC0636.html [2008, April 11]

Richard, T.L. 1992. Municiple solid waste composting : physical and biological processing. Biomass&Bioenergy, 3(3-4), 195-211.

Said-Pullicino, D., Erriquens, F.G. and Gigliotti G. 2007. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and matulity. Bioresource Technology. 98, 1822-1831.

Sanabria-León, R., Cruz-Arroyo, L.A., Rodríguez, A.A. and Alameda, M. 2006. Chemical and biological characterization of slaughterhouse waste compost. Waste Management. [online] Available from : www.scincedirect.com [2007, December 11]

Semple, K.T., Reid, B.J. and Fermor, T.R. 2001. Impact of composting strategies on the treatment of soil contaminated with organic pollutants. Environ. Pollut. 112, 269-283.

Staples, Greorge W. and Elevitch, Craig R. 2006. Species Profiles for Island Agroforestry [online] Available from : www.agroforestey.net/tti/Samanea-raintree.pdf [2007, November 29]

Tan, K.H. 2005. Soil sampling, preparation, and analysis. Taylor&Francis Group, LLC. 623 p.

Tiquia, S.M. and Tam, N.F.Y. 2000. Co-composting of spent pig litter and sludge with forced-aeration. Bioresource Technology. 72, 1-7.

United States. National Research Council. Board on Science and Technology for International Development. 1979. Tropical legumes : resources for the future. the National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Vogel, M.P. 2007. Home Composting [online] Available from : www.montana.edu/wwwpb/pbu/mt9203. html [2007, November 29]

Wu, L., Ma, L.Q. and Martinez, G.A. 2000. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. Envionmental Quality. 27, 424-429.

Zhang, Y. and He, Y. 2006. Co-composting solid swine manure with pine sawdust as organic substrate. Bioresource Technology. 97, 2024-2031.

Zhu, N. 2007. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. Bioresource Technology. 98. 9-13.

http://en.wikipedia.org/wiki/Urea [2007, October 12]

http://ipcm.wisc.edu/Publications/tabid/54/grm2id/83/Default.aspx [2007, December 3]

http://splash.metrokc.gov/wlr/waterres/smlakes/hyacinth.htm [2007, October 22]

http://staffwww.fullcoll.edu/tmorris/elements_of_ecology/chapter_22.htm [2007, November 29]

http://weblife.org/humanure/chapter3_10.html [2007, October 22]

http://www.maryland.com.sg/yellow_rain_tree.htm [2007, December 8]

http://www.pnl.gov/breakthroughs/issues/2004-issues/spring-summer/solutions_update.stm [2007, December 8]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศกรมวิชาการเกษตร

เรื่อง มาตรการปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

ด้วยปัจจุบัน มีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ตลอดจนมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาใช้ในการปรับปรุงดิน เพิ่มคุณภาพของธาตุอาหารพืช ทำให้มีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร กรมวิชาการส่งเสริมการเกษตรจึงกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1. รายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5*12.2 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยนำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC:Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	- ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - ฟอสฟอรัส (total P205) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - โพแทสเซียม (total K20) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
11	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	แคดเมียน (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	โครเมียน (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ข้อ 2. มาตรฐานฉลากและบรรจุภัณฑ์ของปุ๋ยอินทรีย์ มีรายละเอียดบนภาชนะบรรจุดังนี้

2.1 ชื่อการค้าและเครื่องหมายการค้า

2.2 ชนิดของผลิตภัณฑ์

2.3 ปริมาณบรรจุเป็นน้ำหนักสุทธิ (ในระบบเมตริก)

2.4 ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิต

2.5 ระบุวัสดุที่ใช้ผลิตและอัตราส่วนที่ใช้

2.6 ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิต

2.7 ระบุวิธีการใช้ การเก็บรักษา และข้อความระวัง

เพื่อให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 มาตรา 55 ให้ผู้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าต้องแจ้งกรมวิชาการเกษตรในส่วนที่เกี่ยวข้องกับปุ๋ยอินทรีย์ โดยแสดงชื่อปุ๋ยอินทรีย์เครื่องหมายการค้า สถานที่ผลิต สถานที่เก็บ สถานที่ขาย และสถานที่ทำการ

การแจ้งดังกล่าวให้แจ้งได้ที่ผู้ว่าราชการจังหวัด เกษตรจังหวัด และหน่วยงานของกรมวิชาการเกษตร

ประกาศ ณ วันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2548

(ลงชื่อ) ฉกรรจ์ แสงรักษาวงศ์

(นายฉกรรจ์ แสงรักษาวงศ์)

อธิบดีกรมวิชาการเกษตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มกอช.9503-2548

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

ปุ๋ยหมัก

1 ขอบข่าย

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาตินี้ กำหนดเรื่องคุณลักษณะที่ต้องการ ภาชนะบรรจุ ฉลากและเครื่องหมาย และ การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินปุ๋ยหมัก

2 บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาตินี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งในสภาพของแข็ง ที่ได้หรือทำจากวัสดุอินทรีย์ และผ่านการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ จนแปรสภาพจากรูปเดิม เมื่อนำไปให้พืชจะให้ธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืช

2.2 ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ

2.3 วัสดุอินทรีย์ หมายถึง วัสดุที่มีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ซากพืช ซากสัตว์ หรือสิ่งขับถ่ายจากสัตว์

2.4 การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ หมายถึง ลักษณะที่แสดงว่าวัสดุอินทรีย์ที่นำมาผลิตปุ๋ยหมักได้ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จนสามารถนำไปใช้ได้ และไม่ทำให้เกิดอันตรายแก่พืช

2.5 ธาตุอาหารที่จำเป็น หมายถึง ธาตุอาหารพืช แบ่งเป็น

- ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) คำนวณเป็น N
  ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) คำนวณเป็น P_2O_5
  โพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium)คำนวณเป็น K_2O
- ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม(Ca) แมกนีเซียม(Mg) กำมะถัน(S)
- ธาตุอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก(Fe) แมงกานีส(Mn) ทองแดง(Cu) สังกะสี(Zn) โบรอน(B) โมลิบดีนัม(Mo) คลอรีน(Cl)

3 คุณลักษณะที่ต้องการ

ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะปุ๋ยหมัก

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีวิเคราะห์และทดสอบ
1.	ขนาดเนื้อปุ๋ย	≤ 12.5 x 12.5 mm	CATM 01 หรือ เทียบเท่า
2.	ความชื้น และ สารที่ระเหยได้	≤ 35 %	AOAC 950.01 หรือ เทียบเท่า
3.	หิน กรวด	≤ 2 % โดยน้ำหนัก	CATM 01 หรือ เทียบเท่า
4.	เศษพลาสติก เศษแก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	≤ 0.01 % โดยน้ำหนัก	CATM 01 หรือ เทียบเท่า
5.	ปริมาณอินทรียวัตถุ	≥ 35 % โดยน้ำหนัก	AOAC 967.05 หรือ เทียบเท่า
6.	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5 - 8.5	AOAC 973.04 หรือ เทียบเท่า
7.	อัตราส่วนธาตุคาร์บอน ต่อ ธาตุไนโตรเจน (C:N)	≤ 20 : 1	BS 7755-3.8 หรือ เทียบเท่า
8.	ค่าการนำไฟฟ้า	≤ 3.5 dS / m	BS EN 13038 หรือ เทียบเท่า
9.	ปริมาณธาตุอาหารหลัก		
	ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) คำนวณเป็น N	≥ 1.0 % โดยน้ำหนัก	AOAC 955.04 หรือ เทียบเท่า
	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) คำนวณเป็น P_2O_5	≥ 0.5 % โดยน้ำหนัก	AOAC 958.01 หรือ เทียบเท่า
	โพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) คำนวณเป็น K_2O	≥ 0.5 % โดยน้ำหนัก	AOAC 983.02 หรือ เทียบเท่า
10.	การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์	≥ 80 %	วิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืช ตามภาคผนวก ก
11.	ปริมาณสารพิษและโลหะหนัก		
	สารหนู (Arsenic)	≤ 50 mg/kg	EPA Method 7061 A (1998) หรือ เทียบเท่า
	แคดเมียม (Cadmium)	≤ 5 mg/kg	EPA Method 3050B (1996) หรือ เทียบเท่า
	โครเมียม (Chromium)	≤ 300 mg/kg	EPA Method 3050B (1996) หรือ เทียบเท่า
	ทองแดง (Copper)	≤ 500 mg/kg	EPA Method 3050B (1996) หรือ เทียบเท่า
	ตะกั่ว (Lead)	≤ 500 mg/kg	EPA Method 3050B (1996) หรือ เทียบเท่า
	ปรอท (Mercury)	≤ 2 mg/kg	EPA Method 7471 B (1992) หรือ เทียบเท่า

หมายเหตุ น้ำหนักที่ยังไม่ครบ 100 % เป็นน้ำหนักของสารเติม (filler)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ (Moisture content)

หลักการ

การหาความชื้นของปุ๋ยหมัก วิธีวิเคราะห์ คือ วิธี oven-drying methodโดยการอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เพื่อให้ได้น้ำหนักคงที่ และสามารถน้ำหนักที่หายไป ซึ่งก็คือค่าความชื้นในปุ๋ยหมัก

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ถ้วยกระเบื้อง
4. โถแก้วป้องกันความชื้น

ตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่าง

ใช้ตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ ประมาณ 5 กรัม และต้องทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทันที เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นระเหยออกจากตัวอย่างหรือมีความชื้นจากภายนอกเข้าสู่ตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์

1. อบถ้วยกระเบื้องและปล่อยให้เย็นในโถแก้วป้องกันความชื้น เมื่อเย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จนน้ำหนักคงที่ แล้วบันทึกไว้
2. นำปุ๋ยหมักที่มีน้ำหนักประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องที่อบจนน้ำหนักคงที่และทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักไว้
3. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างปุ๋ยหมักไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง
4. เมื่อครบกำหนดเวลาให้นำปุ๋ยออกมาใส่ในโถแก้วป้องกันความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยหลังอบ

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%) (\% Moisture content)} = \frac{(\text{น้ำหนักปุ๋ยก่อนอบ} - \text{น้ำหนักปุ๋ยหลังอบ})}{\text{น้ำหนักปุ๋ยก่อนอบ}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ

หลักการ

อินทรียวัตถุ เป็นอินทรียสารที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต ประกอบด้วยธาตุหลายๆ ชนิด โดยทั่วไปจะมีคารือบนเป็องค์ประกอบมากที่สุดประมาณ 58% การวิเคราะห์อินทรียวัตถุใช้วิธีวอล์คเล่ย์-แบลค (Walkley-Black Titration) ซึ่งอาศัยหลักการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอน ซึ่งก็คือ คาร์บอนในสารอินทรีย์ที่กำลังเน่าเปื่อยรวมทั้งในเซลล์ของจุลินทรีย์ตลอดจนในอินทรียวัตถุที่สลายตัวจนเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีความคงทนที่เรียกว่า ฮิวมัส ที่มีอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์ด้วยกรดโครมิกที่มากเกินพอ และใช้ความร้อนจากกรดซัลฟิวริกในการย่อยสารอินทรีย์คาร์บอนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นจึงหาปริมาณไดโครเมตที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนด้วยการทำปฏิกิริยารีดิวซ์กรดโครมิกส่วนที่เหลือด้วยการไทเทรตเฟอร์รัสซัลเฟต โดยมี blank เป็นตัวเปรียบเทียบ เพื่อคำนวณกลับหาปริมาณกรดโครมิกที่อินทรีย์คาร์บอนใช้ไป และคำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุได้ ซึ่งผลวิเคราะห์ที่ได้จะมีค่าเป็นร้อยละ 77 ของอินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่จริง โดยปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในอินทรียวัตถุจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 78

อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. กระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตร
5. บิวเรต
6. ปิเปต
7. บีกเกอร์
8. ตู้อบ
9. โถแก้วป้องกันความชื้น
10. โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$))
11. Ferrous sulfate หรือ Ammonium ferrous sulfate [$FeSO_4.7H_2O$ หรือ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$]
12. O-phenanthroline
13. Sulfuric acid (98%) (H_2SO_4 conc)
14. น้ำกลั่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ (Oxidizing agent) เข้มข้น1 N : โดยชั่ง $K_2Cr_2O_7$ ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในโถป้องกันความชื้น 49.0247 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เขย่าและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.2 สารละลาย $FeSO_4$ (Reducing agent) เข้มข้น 0.5 N : โดยชั่ง $FeSO_4.7H_2O$ จำนวน 139.0085 กรัม (หรือใช้ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$ 196.07 กรัม) ใส่ในขวดปรับปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายจนหมด แล้วจึงเติม H_2SO_4 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.3 เตรียมสารละลาย O-phenanthroline ferrous sulfate (indicator) โดยละลาย O-phenanthroline 0.74 กรัม และ ferrous sulfate 0.35 กรัม ใส่ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

2. การวิเคราะห์

2.1 ชั่งตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง) ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 0.1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.2 เติม 1 N $K_2Cr_2O_7$ จำนวน 10 มิลลิลิตรเติม H_2SO_4 (conc) 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืน

2.3 เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตร

2.4 เติม O-phenanthroline ferrous sulfate 10 หยด ไตเตรทด้วย $FeSO_4.7H_2O$ จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นน้ำตาลปนแดงถึงจุดยุติ

2.5 ทำ blank โดยใช้ 1 N $K_2Cr_2O_7$ 10 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณเดียวกับที่เติมลงในตัวอย่าง และดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่าง แต่ไม่ใส่ปุ๋ยหมัก

วิธีคำนวณ

$$\frac{\text{ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (\%)}}{\text{(\% OC)}} = \frac{0.3896 \times C_1 \times V_1 \times (V_2 - V_3)}{g \times V_2}$$

C_1 = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ หน่วยเป็น mol/l

V_1 = ปริมาตรของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใส่ลงไปในตัวอย่างปุ๋ยหมักและ blank หน่วยเป็น ml

V_2 = ปริมาตรของ $FeSO_4.7H_2O$ ที่เตเตรตพอดีกับสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ใน blank หน่วยเป็น ml

V_3 = ปริมาตรของ $FeSO_4.7H_2O$ ที่เตเตรตพอดีกับสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ในตัวอย่างปุยหมัก หน่วยเป็น ml

g = น้ำหนักของตัวอย่างปุ๋ยหมัก หน่วยเป็น กรัม

ปริมาณอินทรียวัตถุ (%) (%OM) = % OC x 1.724

ข้อสังเกตและคำแนะนำ

1. ในกรณีที่มีอินทรียวัตถุที่มีปริมาณมาก ไดโครเมต (Cr^{6+}) ซึ่งมีสีส้มจะถูกใช้ในการออกซิไดซ์ของคาร์บอนและเปลี่ยนเป็นโครเมตไอออน (Cr^{3+}) จึงทำให้สารตัวอย่างมีสีเขียว ซึ่งเป็นกรณีที่ไดโครเมตตไอออนถูกใช้ไปมากกว่า 8 มิลลิลิตร หรือใช้เฟอรัสซัลเฟตน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ควรทำให้โดยการเพิ่มปริมาณไดโครเมต ซึ่งหลังจากรีดิวส์แล้วสารละลายจะยังคงเป็นสีส้มอยู่

2. การเปลี่ยนจากอินทรีย์คาร์บอนไปเป็นอินทรียวัตถุ โดยทั่วไปจะคูณด้วย 1.724 ซึ่งเป็นการสมมติว่าในอินทรียวัตถุมีคาร์บอน 58%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)

หลักการ

ไนโตรเจนในปุ๋ยหมักส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ มีบางส่วนที่อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนโตรเจนไอออน (NO_2^-) และไนเตรตไอออน (NO_3^-) ซึ่งมีปริมาณน้อย การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ใช้ Kjeldahl Method โดยจะย่อยสลายปุ๋ยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) ซึ่งมีทองแดง (Cu) ซีลีเนียม (Se) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนั้นจะใช้โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เป็นสารช่วยทำให้อุณหภูมิในระหว่างการย่อยสูงขึ้น ไนโตรเจนในปุ๋ยจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จากนั้นจึงปรับสภาพของสารละลายให้เป็นด่างแก่ แล้วนำไปกลั่น โดยมีสารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) เป็นสารจับก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) หรือแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จากนั้นจึงนำสารละลายที่ได้มาไตเตรทด้วยสารละลายกรดเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น นำปริมาณสารละลายกรดเกลือที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมาคำนวณตามสูตรการคำนวณ

อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (Analytical balance)
2. ชุดย่อยและชุดกลั่นตัวอย่าง (Macro Kjeldahl Digestion and Distillation Apparatus)
3. Kjeldahl flask ขนาด 800 มิลลิลิตร และ เตาย่อยสารตัวอย่าง (Digestion block)
4. ตู้ดูดควันและไอกรด (Hood)
5. เครื่องแก้วและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ เช่น Magnetic stirrer บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร กระบอกตวง ตะแกรงร่อนตัวอย่าง ปิเปต บิวเรต กรวยกรอง แท่งแก้ว และช้อนตักสาร เป็นต้น
6. น้ำกลั่น
7. Sulfuric acid 95-98% (H_2SO_4 conc.)
8. Potassium sulfate (K_2SO_4)
9. Copper sulfate ($CuSO_4.5H_2O$)
10. Selenium metal (Se)
11. Bromocresol green
12. Methyl red
13. Ethanol
14. Boric acid (H_3BO_3)
15. Sodium hydroxide (NaOH)

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid 95-98% (H_2SO_4 conc.))

1.2 สารผสมเร่งปฏิกิริยา (catalyst mixture) : ผสมโพแทสเซียมซัลเฟต Potassium sulfate (K_2SO_4) คอปเปอร์ซัลเฟต Copper sulfate ($CuSO_4.5H_2O$) และซีลีเนียม Selenium metal (Se) อัตราส่วน 100:10:1 โดยน้ำหนัก

1.3 อินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator) : ละลายเมธิลเรด (Methyl red) 0.006 กรัม และโบโมรกรีเซอรอลกรีน (Bromocresol green) 0.099 กรัม ในเอธานอล (Ethanol) 95% w/w ประมาณ 80 มิลลิลิตร แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยเอธานอลเป็น 100 มิลิลิตร

1.4 กรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์ (Boric acid-indicator solution) : ละลายกรดบอริก (Boric acid (H_3BO_3) 40.00 กรัมในน้ำร้อนประมาณ 1,800 มิลลิลิตร เมื่อกรดบอริกละลายหมด เติมอินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator) 40 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.1 N โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide (NaOH)) ทีละน้อย เพื่อปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้มีค่าประมาณ 5.0 ซึ่งสารละลายจะมีสีแดงม่วง จากนั้นจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 2 ลิตร

1.5 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide (NaOH)) 10 N : ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัมในน้ำที่ปราศจากไอออน ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนหมด และปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

1.6 สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์

2. การวิเคราะห์

2.1 การย่อยสลายตัวอย่างปุ๋ยหมัก

นำตัวอย่างปุ๋ยหมักที่อบไล่ความชื้น 24 ชั่วโมง ประมาณ 1 กรัม ใส่ในขวดเจลดาล เติมสารผสมเร่งปฏิกิริยาประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำการย่อยสลายบนเตาย่อยสารตัวอย่าง (Digestion block) ในตู้ดูดควันและไอกรด (Hood) จนสารละลายที่ได้ใสไม่มีสี

2.2 การกลั่น

เติมน้ำกลั่นประมาณ 200 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 N 100 มิลลิลิตร ต่อเข้ากับชุดกลั่น โดยใช้กรดบอกริกผสมอินดิเคเตอร์ลงในขวดรูปชมพู 50 มิลลิลิตรเป็นสารจับก๊าซที่ได้จากการกลั่น ระหว่างการกลั่นปรับไปให้แรงขึ้นเพื่อต้มของผสมให้เดือดและระวังอย่าให้ไปดับขณะกลั่น การกลั่นจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งสารละลายในขวดรูปชมพูมีปริมาณ 150-200 มิลิลิตร

2.3 การไตเตรต

นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นมาไตเตรตกรดซัลฟิวริก 0.05 N โดยจะถึงจุดยุติเมื่อสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง

2.4 ทำ blank ตามวิธีตั้งแต่ 2.1-2.3 โดยไม่ใส่ตัวอย่างตั้งแต่การย่อยสลาย

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (\%)} \quad (\%N) = \frac{(V_1-V_2) \times C_1 \times 1.4007}{g}$$

g = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก หน่วยเป็น หน่วยเป็น mol/l

V_1 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ได้จากการไตเตรต blank หน่วยเป็น ml

V_2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ได้จากการไตเตรตตัวอย่างปุ๋ยหมัก หน่วยเป็น ml

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส (%P_2O_5)

หลักการ

การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) ใช้วิธีการย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยกรดผสม ($HClO_4$: HNO_3 = 1:1) ให้ฟอสฟอรัสในตัวอย่างปุ๋ยอยู่ในรูปฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ (PO_4^{3-}) จากนั้นทำให้เกิดสีกับสารละลาย ammonium metavanadate (Barton's solution) วัดปริมาณด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

1. UV-Spectrophotometer
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. Hot plate หรือ Digestion block
4. Volumetric flask ขนาด 100, 250, 1,000 และ 2,000 มิลลิลิตร
5. ปิเปต ขนาด 1, 2, 3, 4, 5 และ 10 มิลลิลิตร
6. Nitric acid (HNO_3 (conc.) 69%)
7. Perchloric acid ($HClO_4$ (conc.) 70%)
8. Ammonium molybdate ($(NH_4)_6Mo7O_{24}.4H_2O$)
9. Ammonium metavanadate (NH_4VO_3)
10. Phosphate standard (KH_2PO_4)
11. molybdovanadate reagent

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลายและสารละลายมาตรฐาน

1.1 เตรียมกรดผสม HNO_3 (conc.) และ $HClO_4$ (conc.) อัตรา 1:1 โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปบรรจุไว้ในขวดสีชา เก็บไว้ในที่มืด

1.2 เตรียม Barton's solution หรือ Molybdovanadate reagent

1.2.1 ชั่ง Ammonium molybdate 40 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำร้อน 400 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น

1.2.2 ชั่ง Ammonium metavanadate (NH_4VO_3) 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำร้อน 250 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น และเติมกรด $HClO_4$ 70% ลงไป 450 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เย็น

1.2.3 ค่อยๆ รินผสมสารละลาย Ammonium molybdate ที่เตรียมไว้ ลงในสารละลาย Ammonium metavanadate ในขวดปรับปริมาตรขนาด 2,000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 2 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เก็บไว้ในขวดแก้วสีชา

1.3 เตรียม Standard phosphate solutions (0.4 – 1.0 mg P_2O_5/ml)

โดยชั่ง KH_2PO_4 ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 0.0767 (สารละลายมาตรฐานขวดที่ 1), 0.0959 (สารละลายมาตรฐานขวดที่ 2), 0.1151 (สารละลายมาตรฐานขวดที่ 3), 0.1342 (สารละลายมาตรฐานขวดที่ 4), 0.1534 (สารละลายมาตรฐานขวดที่ 5), 0.1726 (สารละลายมาตรฐานขวดที่ 6) และ 0.1719 กรัม (สารละลายมาตรฐานขวดที่ 7) ใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร (สารละลายมาตรฐานที่มี 0.4 และ 0.7 mg P_2O_5 ควรเตรียมใหม่ทุกสัปดาห์)

1.4 เตรียม Standard Curve

ปิเปต 7 สารละลายมาตรฐาน 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำลงไป 45 มิลลิลิตร จากนั้นภายใน 5 นาที ใส่ molybdovanadate reagent 20 มิลลิลิตร ลงไปทั้ง 7 สารละลายมาตรฐาน โดยใช้ปิเปตหรือบิวเรต เจือจางให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำและผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

1.5 นำไปวัดความเข้มของสีด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ที่ 400 nm อ่านค่า Absorbance (%A) นำค่าที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณฟอสฟอรัสและ %A (Standard curve) อ่านค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในหน่วย mg P_2O_5/ml ในตัวอย่างจาก Standard curve

2. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

2.1 ชั่งตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการบดและอบที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดผสม ($HClO_4$: HNO_3 = 1:1) ประมาณ 40 - 60 มิลลิลิตร นำไปย่อย บน Hot plate หรือ Digestion block โดยใช้อุณหภูมิที่ทำให้เดือดเบาๆ จนสารละลายใสและมีควันขาวเกิดเหนือสารละลาย ต้องระมัดระวังอย่าต้มจนแห้ง ใส่น้ำลงไป 50 มิลลิลิตร และต้มต่อไปอีกประมาณ 5 นาที จากนั้นยกลงจากเตา ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

- สำหรับสารละลายตัวอย่างที่มี % $P_2O_5 \leq 5\%$ เจือจางให้เป็น 250 มิลลิลิตร
- สำหรับสารละลายตัวอย่างที่มี % $P_2O_5 > 5\%$ เจือจางจนได้ปริมาตรซึ่งสาระลาย 5 หรือ 10 มิลลิลิตร มี P_2O_5 2 – 5 มิลลิกรัม

2.2 การหาปริมาตรฟอสฟอรัส

2.2.1 สำหรับตัวอย่างที่มี % $P_2O_5 \leq 5\%$

ปิเปตสารละลายทดสอบ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานขวดที่ 1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงไป และเติมน้ำลงไป 45 มิลลิลิตร จากนั้นภายใน 5 นาที ใส่ molybdovanadate reagent 20 มิลลิลิตร ลงไปทั้ง 7 สารละลายมาตรฐาน โดยใช้ปิเปตหรือบิวเรต เจือจางให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำและผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีนำไปวัดความเข้มของสีด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ที่ 400 nm อ่านค่า Absorbance (%A) นำค่าที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณฟอสฟอรัสและ %A (Standard curve) อ่านค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในหน่วย mg P_2O_5/ml ในตัวอย่างจาก Standard curve

2.2.2 สำหรับตัวอย่างที่มี % $P_2O_5 > 5\%$

ปิเปตสารละลายทดสอบ 5 หรือ 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำลงไป 45 มิลลิลิตร จากนั้นภายใน 5 นาที ใส่ molybdovanadate reagent 20 มิลลิลิตร ลงไปทั้ง 7 สารละลายมาตรฐาน โดยใช้ปิเปตหรือบิวเรต เจือจางให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำและผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีนำไปวัดความเข้มของสีด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ที่ 400 nm อ่านค่า Absorbance (%A) นำค่าที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณฟอสฟอรัสและ %A (Standard curve) อ่านค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในหน่วย mg P_2O_5/ml ในตัวอย่างจาก Standard curve

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัส (\%) } \%\ P_2O_5 = \frac{100 \times [\text{mg } P_2O_5 \text{ จาก Standard Curve}]}{[\text{mg ของตัวอย่างทดสอบในสารละลาย}]}$$

$$\%\ P = \%\ P_2O_5 \times 0.44$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. การวิเคราะห์โพแทสเซียม (K_2O)

หลักการ

การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม (Total K_2O) ใช้วิธีการย่อยตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยกรดผสม ($HClO_4$: HNO_3 = 1:1) เมื่อถูกย่อยจนเป็นสารละลายแล้วนำไปปรับปริมาตรหรือเจือจางให้เหมาะสม และนำไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปรกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งอาศัยหลักดูดกลืนคลื่นแสงของอะตอมของธาตุที่วิเคราะห์ โดยพลังงานจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของธาตุที่มีอยู่ในสารละลาย นำค่าที่วัดไปเทียบกับค่าที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานของโพแทสเซียมที่มีชนิดและความเข้มข้นเช่นเดียวกับที่มีในสารละลายตัวอย่าง

อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
3. เตาให้ความร้อน (hot plate)
4. กระดาษกรอง เบอร์ 1 (Whatman filter paper No. 1)
5. Filtering apparatus
6. Volumetric pipet 25 ml.
7. ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
8. หลอดย่อยตัวอย่างและเตาย่อย
9. Atomic absorption spectrophotometer
10. Nitric acid (HNO_3 (conc.) 69%)
11. Perchloric acid ($HClO_4$ (conc.) 70%)
12. Potassium chloride (KCl)

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

1.1 ชั่งตัวอย่างปุ๋ยหมักให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.2 เติมกรดผสม (HNO_3 conc. กับกรด $HClO_4$ conc. อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) จำนวน 40 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตาระเหยความร้อนอุณหภูมิประมาณ 220 องศาเซลเซียส จนเกิดควันสีขาว ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

1.3 ถ่ายตัวอย่างใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

1.4 ปิเปตสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ (0 – 25 ppm) ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง

2. การสร้างกราฟมาตรฐาน

2.1 ทำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน (10, 20, 30, 40 และ 50 ppm K จาก Stock Standard Solution 1000 ppm K) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง

2.2 สร้างกราฟมาตรฐาน โดนเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียม

การคำนวณ

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

$$\text{ปริมาณโพแทสเซียม (K) (\%)} = \frac{\text{(mg)K x 100}}{\text{mg Sample}}$$

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. การทดสอบการย่อยสลายสมบูรณ์ (Compost Maturity Tests)

หลักการ

การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ หมายถึง ลักษณะที่แสดงว่าวัสดุอินทรีย์ที่นำมาผลิตปุ๋ยหมักได้ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จนสามารถนำไปใช้ได้ และไม่ทำให้เกิดอันตรายแก่พืช (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2548)

การทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก แบ่งเป็น 3 วิธี คือ

1. การทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดในน้ำที่สกัดได้จากปุ๋ยหมัก
2. การทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืชในปุ๋ยหมัก
3. การทดสอบดัชนีการเจริญเติบโตของพืชในปุ๋ยหมัก

วิธีทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดในน้ำที่สกัดได้จากปุ๋ยหมัก

อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

1. เมล็ดพันธุ์พืชที่มีความงอกไม่ต่ำกว่า 75% เช่น เมล็ดผักกาดเขียว ผักกาดหัว ถั่วเขียว ข้าวโพด เป็นต้น
2. น้ำกลั่น
3. จานเพาะเมล็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 9 cm.
4. กระดาษกรองเบอร์ 42 ขนาด 9 cm.
5. กระดาษทิชชูอเนกประสงค์
6. ตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ผลิตได้

วิธีทดสอบ

1. สกัดสารละลายปุ๋ยหมัก
   1.1 ชั่งตัวอย่างปุ๋ยหมักผสมกับน้ำกลั่นในสัดส่วน 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
   1.2 เขย่าด้วยเครื่องเขย่า180 ครั้งต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
   1.3 กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 จะได้สารละลายปุ๋ยหมัก
2. เตรียมอุปกรณ์เพาะเมล็ดพืช
   2.1 ตีตารางบนกระดาษทิชชูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 cm. จำนวน 10 ช่อง
   2.2 วางเมล็ดพันธุ์พืชที่แช่น้ำ 12 ชั่วโมง บนกระดาษทิชชูช่องละ 1 เมล็ด จำนวน 10 เมล็ด ต่อจานเพาะเมล็ด ทำอย่างน้อย 4 ซ้ำต่อหนึ่งตัวอย่างปุ๋ย
3. ใส่น้ำสกัดปุ๋ยหมักบนกระดาษทิชชูในจานเพาะ จานละ 10 ml.
4. ใส่น้ำกลั่นบนกระดาษทิชชูในจานเพาะเมล็ดควบคุม จานละ 10 ml.
5. บ่มจานเพาะเมล็ดในที่มืดอุณหภูมิ 28-30 °C จำนวน 48 ชั่วโมง

วิธีคำนวณ

ดัชนีการงอกของเมล็ดพืช (Germination Index)

สูตร คำนวณหาค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืช ดังนี้

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ด} = \frac{\text{\% ความงอกในน้ำสกัดปุ๋ยหมัก x ความยาวรากในน้ำสกัดปุ๋ยหมัก}}{\text{\% ความงอกในน้ำกลั่น x ความยาวรากในน้ำกลั่น}} \text{ X } 100$$

ความงอกในน้ำสกัดปุ๋ยหมัก = ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดที่งอกในน้ำสกัดปุ๋ยหมักต่อจานเพาะ (%)

ความงอกในน้ำกลั่น = ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดที่งอกในน้ำกลั่นหมักต่อจานเพาะ (%)

ความยาวรากในน้ำสกัดปุ๋ยหมัก = ค่าเฉลี่ยความยาวรากของเมล็ดที่งอกในน้ำสกัดปุ๋ยหมัก (cm.)

ความยาวรากในน้ำกลั่น = ค่าเฉลี่ยความยาวรากของเมล็ดที่งอกในน้ำกลั่น (cm.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ

วัตถุดิบหมัก	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	นน.ก่อน - นน.หลัง (g)	(นน.ก่อน - หลัง)/นน.ก่อน	MC (%)
ใบจามจุรีแห้ง	1	5.0036	4.8524	0.1512	0.0302	3.0215
	2	5.1203	4.9042	0.2161	0.0422	4.2198
	3	5.0041	4.9039	0.1002	0.0200	2.0014
					MEAN	3.0809
					SD	1.1104
ผักตบชวา	1	5.0075	4.2445	0.7630	0.1524	15.2367
	2	5.0633	3.8294	1.2339	0.2437	24.3698
	3	5.0424	3.9635	1.0789	0.2140	21.3974
					MEAN	20.3346
					SD	4.6584
ยูเรีย	1	5.0004	4.8843	0.1161	0.0232	2.3210
	2	5.0006	4.9187	0.0819	0.0164	1.6384
	3	5.0002	4.9400	0.0602	0.0120	1.2037
					MEAN	1.7210
					SD	0.5632
เศษปลานิลสด	1	5.4006	0.5921	4.8085	0.8904	89.0365
	2	5.0664	0.2416	4.8248	0.9523	95.2314
	3	5.1033	1.0040	4.0993	0.8033	80.3264
					MEAN	88.1981
					SD	7.4878
มูลสุกร	1	5.0067	3.4921	1.5146	0.3025	30.2514
	2	5.0443	3.8807	1.1636	0.2307	23.0685
	3	5.0761	3.2931	1.7830	0.3513	35.1254
					MEAN	29.4818
					SD	6.0652

ตารางที่ ค.1 ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ (ต่อ)

วัตถุดิบหมัก	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	นน.ก่อน - นน.หลัง (g)	(นน.ก่อน - หลัง)/นน.ก่อน	MC (%)
กากตะกอน	1	5.0033	1.2890	3.7143	0.7424	74.2368
	2	5.0016	0.8426	4.1590	0.8315	83.1543
	3	5.0071	0.5946	4.4125	0.8813	88.1254
					MEAN	81.8388
					SD	7.0371

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของวัตถุดิบหมัก

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต = 1.0003 mol/l

ปริมาตรของโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ = 15.00 ml

วัตถุดิบหมัก	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยหมัก (g)	ปริมาตรของ$FeSO_4$ที่ใช้กับปุ๋ยหมัก (ml)	% OC	%OM
ใบจามจุรีแห้ง	1	0.1105	6.60	41.2658	71.4724
	2	0.1052	10.38	36.3402	62.9412
	3	0.1084	11.61	33.0540	57.2495
				MEAN	36.8867
				SD	4.1331
ผักตบชวา	1	0.1033	10.50	36.7821	63.7066
	2	0.1103	5.02	44.1257	76.4257
	3	0.1116	7.20	39.8125	68.9553
				MEAN	40.2401
				SD	3.6904
เศษปลานิลสด	1	0.1034	13.24	31.5772	54.6917
	2	0.1045	15.52	27.0036	46.7702
	3	0.1005	16.09	26.9605	46.6956
				MEAN	28.5138
				SD	2.6531
มูลสุกร	1	0.1105	11.09	33.3468	57.7567
	2	0.1006	15.50	28.0791	48.6330
	3	0.1044	14.34	29.2254	50.6184
				MEAN	30.2171
				SD	2.7703
กากตะกอน	1	0.1039	15.17	27.8095	48.1661
	2	0.1047	16.51	25.1036	43.4794
	3	0.1007	15.01	29.0079	50.2417
				MEAN	27.3070
				SD	2.0001

ตารางที่ ค.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัตถุดิบหมัก

ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไตเตรต = 0.1 mol/l

ชนิดของวัตถุดิบ	ครั้งที่	น.น.ตัวอย่างปุ๋ย (g)	ปริมาตรของ H_2SO_4 ที่ใช้ (ml)	ปริมาตรH_2SO_4 ที่ใช้กับ blank (ml)	% N
ปุ๋ยยูเรีย	1	2.0852	14.46	0.25	0.9548
	2	2.0358	6.37	0.25	0.4214
	3	2.0667	11.97	0.25	0.7942
				MEAN	0.7235
				SD	0.2736
ผักตบชวา	1	2.0671	20.73	0.25	1.3879
	2	2.0319	11.50	0.25	0.7754
	3	2.0411	17.79	0.25	1.2035
				MEAN	1.1223
				SD	0.3142
เศษปลานิลสด	1	2.0586	38.44	0.25	2.5987
	2	2.0376	41.74	0.25	2.8524
	3	2.0559	31.82	0.25	2.1508
				MEAN	2.5340
				SD	0.3553
มูลสุกร	1	2.0648	44.85	0.25	3.0253
	2	2.0339	37.78	0.25	2.5843
	3	2.0167	41.03	0.25	2.8327
				MEAN	2.8141
				SD	0.2211
กากตะกอน	1	2.0674	34.25	0.25	2.3036
	2	2.0667	26.71	0.25	1.7936
	3	2.0499	29.62	0.25	2.0069
				MEAN	2.0347
				SD	0.2561

ตารางที่ ค.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียระหว่างกระบวนการหมัก

วันที่	อุณหภูมิอากาศ	ยูเรีย 1	ยูเรีย 2	วันที่	อุณหภูมิอากาศ	ยูเรีย 1	ยูเรีย 2
0	**31.0**	30.0	31.0	25	**26.3**	30.0	28.5
1	**31.5**	55.0	57.0	26	**27.0**	31.5	30.5
2	**29.0**	58.0	59.0	27	**27.0**	30.5	30.0
3	**29.0**	55.0	54.0	28	**28.5**	30.0	30.0
4	**30.0**	49.0	46.0	29	**28.0**	30.0	30.0
5	**31.0**	46.5	46.0	30	**27.0**	31.5	32.0
6	**32.5**	43.5	37.5	31	**27.5**	32.5	31.5
7	**30.0**	35.5	32.0	32	**28.0**	31.0	30.5
8	**32.0**	47.0	48.5	33	**28.0**	30.0	30.0
9	**32.0**	45.5	47.0	34	**27.0**	30.0	30.0
10	**33.0**	49.0	50.5	35	**27.0**	31.5	30.5
11	**33.5**	48.5	48.0	36	**29.0**	30.0	30.0
12	**31.0**	40.0	40.0	37	**27.0**	33.5	32.5
13	**32.5**	41.0	39.0	38	**28.0**	35.5	33.0
14	**32.0**	40.0	39.0	39	**28.3**	31.0	31.0
15	**32.0**	37.0	36.0	40	**30.0**	31.0	31.0
16	**31.0**	37.0	36.5	41	**31.0**	30.0	32.0
17	**31.5**	38.5	37.0	42	**27.8**	32.0	34.0
18	**32.5**	36.0	35.5	43	**33.0**	32.0	33.0
19	**32.0**	38.0	36.0	44	**33.0**	32.0	32.0
20	**31.0**	38.5	37.0	45	**32.0**	30.0	30.0
21	**29.0**	42.0	40.0	46	**32.0**	31.0	32.0
22	**27.0**	38.0	35.0	47	**29.7**	33.0	35.0
23	**27.0**	34.0	34.0	48	**33.0**	34.0	35.0
24	**28.0**	34.0	31.0	49	**33.8**	33.0	35.0

ตารางที่ ค.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียระหว่างกระบวนการหมัก (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิอากาศ	ยูเรีย 1	ยูเรีย 2
50	**32.8**	34.0	35.0
51	**33.0**	35.0	35.0
52	**33.0**	35.0	35.0
53	**33.0**	33.0	33.0
54	**32.8**	33.0	33.5
55	**31.5**	32.0	33.0
56	**31.0**	32.5	32.5
57	**31.0**	33.0	33.0
58	**31.0**	33.0	32.6
59	**31.5**	32.5	31.5
60	**30.5**	31.0	30.8
61	**30.9**	33.0	32.0
62	**31.4**	33.5	32.0
63	**31.7**	33.0	32.5
64	**31.0**	32.5	33.0
65	**32.0**	33.0	33.0
66	**31.4**	33.0	32.5
67	**31.0**	32.0	32.5
68	**30.5**	31.0	31.0
69	**31.0**	32.5	30.5
70	**32.0**	32.5	33.0
71	**33.0**	33.5	33.0
72	**31.0**	31.0	31.5
73	**31.5**	33.0	32.0
74	**30.0**	32.5	31.5
75	**29.0**	32.0	31.0
76	**31.0**	33.0	31.5
77	**32.0**	31.0	30.5
78	**32.0**	33.0	32.0
79	**32.5**	33.0	32.5
80	**31.0**	32.0	33.0
81	**30.0**	31.0	31.5
82	**30.0**	31.5	31.5
83	**30.2**	31.5	32.0
84	**31.0**	32.0	31.0
85	**31.5**	32.0	32.0
86	**31.5**	32.5	32.5
87	**32.0**	33.0	32.6
88	**32.0**	32.5	33.0
89	**31.5**	32.5	32.0
90	**31.5**	32.0	32.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดระหว่างกระบวนการหมัก

วันที่	อุณหภูมิอากาศ	เศษปลานิลสด 3	เศษปลานิลสด 4	วันที่	อุณหภูมิอากาศ	เศษปลานิลสด 3	เศษปลานิลสด 4
0	**31.0**	30.0	30.0	25	**26.3**	33.0	33.5
1	**31.5**	46.5	48.5	26	**27.0**	32.0	31.0
2	**29.0**	52.0	55.0	27	**27.0**	30.0	31.0
3	**29.0**	56.5	58.0	28	**28.5**	29.0	30.0
4	**30.0**	56.0	55.0	29	**28.0**	31.5	31.5
5	**31.0**	55.0	53.0	30	**27.0**	31.0	32.0
6	**32.5**	52.0	55.0	31	**27.5**	32.0	29.0
7	**30.0**	44.0	46.0	32	**28.0**	32.0	30.0
8	**32.0**	40.0	42.5	33	**28.0**	33.0	32.0
9	**32.0**	46.0	48.5	34	**27.0**	32.0	31.0
10	**33.0**	50.0	51.5	35	**27.0**	33.0	32.0
11	**33.5**	47.5	49.5	36	**29.0**	32.0	31.0
12	**31.0**	45.0	45.0	37	**27.0**	31.0	32.0
13	**32.5**	39.0	40.0	38	**28.0**	32.0	31.0
14	**32.0**	40.0	41.5	39	**28.3**	33.0	33.0
15	**32.0**	39.0	38.0	40	**30.0**	33.0	33.0
16	**31.0**	41.0	38.0	41	**31.0**	33.0	33.0
17	**31.5**	40.0	38.5	42	**27.8**	33.0	34.0
18	**32.5**	40.0	37.0	43	**33.0**	33.0	34.0
19	**32.0**	45.0	42.0	44	**33.0**	33.0	34.0
20	**31.0**	46.0	44.0	45	**32.0**	31.0	33.0
21	**29.0**	42.0	43.0	46	**32.0**	32.0	33.0
22	**27.0**	43.0	40.0	47	**29.7**	34.0	35.0
23	**27.0**	42.0	35.0	48	**33.0**	33.5	33.0
24	**28.0**	36.0	33.0	49	**33.8**	33.0	33.0

ตารางที่ ค.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดระหว่างกระบวนการหมัก (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิอากาศ	เศษปลานิลสด 3	เศษปลานิลสด 4
50	**32.8**	32.0	32.0
51	**33.0**	33.0	34.0
52	**33.0**	32.0	34.0
53	**33.0**	33.0	33.0
54	**32.8**	31.0	31.0
55	**31.5**	31.0	30.5
56	**31.0**	31.5	30.5
57	**31.0**	32.0	31.0
58	**31.0**	32.5	32.5
59	**31.5**	31.5	31.6
60	**30.5**	30.0	30.0
61	**30.9**	30.0	30.0
62	**31.4**	31.0	30.0
63	**31.7**	30.5	30.0
64	**31.0**	31.0	31.0
65	**32.0**	32.0	31.0
66	**31.4**	32.0	31.5
67	**31.0**	31.5	30.5
68	**30.5**	30.5	30.0
69	**31.0**	31.5	30.5
70	**32.0**	33.0	31.0
71	**33.0**	33.0	31.5
72	**31.0**	31.5	30.5
73	**31.5**	31.5	30.0
74	**30.0**	31.0	30.5
75	**29.0**	30.5	30.0
76	**31.0**	31.5	32.0
77	**32.0**	30.0	30.0
78	**32.0**	31.5	30.0
79	**32.5**	31.0	31.0
80	**31.0**	32.0	30.5
81	**30.0**	31.0	31.5
82	**30.0**	31.5	32.0
83	**30.2**	30.5	31.0
84	**31.0**	32.0	31.0
85	**31.5**	31.5	31.5
86	**31.5**	31.0	30.5
87	**32.0**	32.0	31.0
88	**32.0**	31.5	32.5
89	**31.5**	32.0	32.0
90	**31.5**	30.0	31.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักมูลสุกรระหว่างกระบวนการหมัก

วันที่	อุณหภูมิอากาศ	มูลสุกร 5	มูลสุกร 6	วันที่	อุณหภูมิอากาศ	มูลสุกร 5	มูลสุกร 6
0	**31.0**	29.0	29.0	25	**26.3**	33.5	33.5
1	**31.5**	44.0	42.0	26	**27.0**	32.5	35.0
2	**29.0**	50.0	49.0	27	**27.0**	33.5	34.0
3	**29.0**	52.0	50.0	28	**28.5**	33.0	32.5
4	**30.0**	48.0	45.0	29	**28.0**	34.5	35.5
5	**31.0**	46.0	41.0	30	**27.0**	35.5	35.0
6	**32.5**	45.0	40.0	31	**27.5**	31.0	32.0
7	**30.0**	40.0	38.5	32	**28.0**	31.0	32.0
8	**32.0**	45.5	46.5	33	**28.0**	31.0	33.0
9	**32.0**	46.5	48.0	34	**27.0**	32.0	32.5
10	**33.0**	47.0	47.0	35	**27.0**	33.0	32.0
11	**33.5**	43.5	43.0	36	**29.0**	31.0	30.0
12	**31.0**	43.0	41.5	37	**27.0**	30.0	31.0
13	**32.5**	42.0	40.5	38	**28.0**	30.0	30.0
14	**32.0**	37.0	39.0	39	**28.3**	33.0	30.0
15	**32.0**	37.0	37.0	40	**30.0**	32.0	30.0
16	**31.0**	38.0	38.0	41	**31.0**	32.0	31.0
17	**31.5**	38.0	38.0	42	**27.8**	33.0	32.0
18	**32.5**	37.5	38.5	43	**33.0**	33.0	32.0
19	**32.0**	39.0	39.0	44	**33.0**	33.0	33.0
20	**31.0**	40.0	40.0	45	**32.0**	33.0	33.0
21	**29.0**	41.5	39.0	46	**32.0**	33.0	33.0
22	**27.0**	35.0	36.0	47	**29.7**	35.0	34.0
23	**27.0**	37.5	36.0	48	**33.0**	35.0	34.0
24	**28.0**	35.5	34.5	49	**33.8**	34.0	33.0

ตารางที่ ค.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักมูลสุกรระหว่างกระบวนการหมัก (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิอากาศ	มูลสุกร 5	มูลสุกร 6
50	**32.8**	33.0	33.0
51	**33.0**	35.0	34.0
52	**33.0**	35.0	34.0
53	**33.0**	34.0	33.0
54	**32.8**	33.0	32.0
55	**31.5**	32.0	32.0
56	**31.0**	31.5	32.5
57	**31.0**	31.5	32.8
58	**31.0**	32.0	31.6
59	**31.5**	31.5	31.0
60	**30.5**	30.0	31.0
61	**30.9**	31.0	31.0
62	**31.4**	31.0	32.0
63	**31.7**	30.5	30.5
64	**31.0**	31.6	31.5
65	**32.0**	31.0	32.0
66	**31.4**	31.5	32.5
67	**31.0**	31.0	32.0
68	**30.5**	31.0	32.0
69	**31.0**	32.0	31.5
70	**32.0**	32.5	32.0
71	**33.0**	33.5	33.5
72	**31.0**	33.0	32.5
73	**31.5**	32.5	32.0
74	**30.0**	32.5	32.0
75	**29.0**	31.0	30.5
76	**31.0**	32.0	31.5
77	**32.0**	30.5	30.5
78	**32.0**	32.5	33.0
79	**32.5**	31.5	32.5
80	**31.0**	33.0	33.0
81	**30.0**	32.0	32.6
82	**30.0**	31.0	31.5
83	**30.2**	29.5	31.5
84	**31.0**	29.5	31.0
85	**31.5**	30.0	32.5
86	**31.5**	30.0	31.0
87	**32.0**	31.0	31.5
88	**32.0**	30.0	30.5
89	**31.5**	30.5	31.5
90	**31.5**	30.5	31.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักกากตะกอนระหว่างกระบวนการหมัก

วันที่	อุณหภูมิอากาศ	กากตะกอน 7	กากตะกอน 8	วันที่	อุณหภูมิอากาศ	กากตะกอน 7	กากตะกอน 8
0	**31.0**	31.0	30.0	25	**26.3**	34.0	33.0
1	**31.5**	43.0	43.5	26	**27.0**	36.5	35.5
2	**29.0**	56.0	58.0	27	**27.0**	37.0	37.5
3	**29.0**	55.0	60.0	28	**28.5**	32.5	35.0
4	**30.0**	58.0	61.0	29	**28.0**	35.5	38.0
5	**31.0**	55.0	56.0	30	**27.0**	35.0	37.5
6	**32.5**	55.0	53.0	31	**27.5**	35.0	38.5
7	**30.0**	45.0	48.5	32	**28.0**	38.5	37.0
8	**32.0**	48.5	52.0	33	**28.0**	35.0	36.5
9	**32.0**	46.5	48.0	34	**27.0**	33.0	33.0
10	**33.0**	44.0	43.5	35	**27.0**	34.0	34.0
11	**33.5**	43.0	43.0	36	**29.0**	33.0	31.0
12	**31.0**	45.0	45.0	37	**27.0**	35.0	33.0
13	**32.5**	41.0	40.0	38	**28.0**	35.0	34.5
14	**32.0**	42.0	39.0	39	**28.3**	35.0	33.0
15	**32.0**	41.0	39.0	40	**30.0**	33.0	33.0
16	**31.0**	40.5	40.0	41	**31.0**	34.5	33.0
17	**31.5**	41.0	40.0	42	**27.8**	32.0	34.5
18	**32.5**	41.5	40.0	43	**33.0**	36.0	35.5
19	**32.0**	40.0	39.0	44	**33.0**	34.0	34.0
20	**31.0**	43.0	41.0	45	**32.0**	35.5	35.0
21	**29.0**	40.5	39.0	46	**32.0**	35.5	36.0
22	**27.0**	39.5	38.0	47	**29.7**	35.0	34.0
23	**27.0**	37.0	35.0	48	**33.0**	35.0	33.5
24	**28.0**	36.5	34.5	49	**33.8**	33.0	33.0

ตารางที่ ค.7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักกากตะกอนระหว่างกระบวนการหมัก (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิอากาศ	กากตะกอน 7	กากตะกอน 8
50	**32.8**	33.0	32.0
51	**33.0**	35.0	36.0
52	**33.0**	37.0	35.0
53	**33.0**	36.5	36.5
54	**32.8**	33.0	33.0
55	**31.5**	33.0	32.0
56	**31.0**	33.5	33.0
57	**31.0**	33.0	32.5
58	**31.0**	32.6	31.5
59	**31.5**	31.5	31.5
60	**30.5**	30.5	30.5
61	**30.9**	31.0	31.0
62	**31.4**	32.0	32.0
63	**31.7**	31.0	30.0
64	**31.0**	32.0	32.0
65	**32.0**	32.0	31.5
66	**31.4**	33.5	33.0
67	**31.0**	33.0	33.5
68	**30.5**	32.0	32.0
69	**31.0**	33.0	32.5
70	**32.0**	32.0	33.0
71	**33.0**	34.0	34.0
72	**31.0**	32.5	33.5
73	**31.5**	32.0	32.0
74	**30.0**	32.0	31.5
75	**29.0**	31.5	30.5
76	**31.0**	32.0	32.0
77	**32.0**	31.0	30.5
78	**32.0**	32.0	31.5
79	**32.5**	33.5	32.0
80	**31.0**	33.0	32.5
81	**30.0**	32.5	33.0
82	**30.0**	31.5	32.5
83	**30.2**	31.5	31.5
84	**31.0**	32.0	30.5
85	**31.5**	31.5	31.5
86	**31.5**	30.5	32.0
87	**32.0**	30.0	31.0
88	**32.0**	31.5	31.5
89	**31.5**	31.5	31.0
90	**31.5**	30.0	31.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1

เวลาหมัก (วัน)	ปริมาณความชื้น (%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2	MEAN	SD
0	65.3119	63.8859	66.0830	65.0936	1.1147
7	35.1072	32.4676	33.8772	33.8173	1.3209
14	37.5755	36.1946	35.8042	36.5247	0.9306
21	36.8768	39.4016	38.3658	38.2147	1.2691
28	42.6929	44.1238	40.0267	42.2811	2.0793
35	46.8741	43.4737	44.9112	45.0863	1.7069
42	48.8676	49.3900	51.5408	49.9328	1.4169
49	52.2508	56.7976	50.3237	53.1240	3.3241
56	57.2073	54.0352	55.8633	55.7019	1.5922
63	60.2992	58.6012	59.6118	59.5041	0.8541
70	61.1788	64.2051	61.5386	62.3075	1.6532
77	64.1265	62.9307	63.2954	63.4509	0.6129
84	63.1052	62.2363	62.7288	62.6901	0.4357
90	64.6219	62.8412	63.4313	63.6314	0.9071

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 2

เวลาหมัก (วัน)	ปริมาณความชื้น (%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	MEAN	SD
0	63.5575	66.4909	64.0664	64.7049	1.5675
7	36.6016	31.8478	34.3889	34.2794	2.3788
14	35.0757	38.8151	36.5084	36.7997	1.8867
21	38.3794	41.0165	40.2150	39.8703	1.3519
28	40.3845	39.3313	44.3911	41.3690	2.6697
35	47.6269	44.5132	41.0704	44.4035	3.2796
42	51.4406	44.4071	49.4659	48.4379	3.6277
49	53.1229	57.6181	49.7057	53.4822	3.9684
56	58.7089	58.7228	57.7013	58.3776	0.5858
63	60.8332	60.6921	59.8499	60.4584	0.5317
70	61.3694	63.3223	64.8064	63.1660	1.7238
77	64.2335	64.5917	66.2808	65.0354	1.0933
84	62.6957	61.6938	62.3856	62.2584	0.5129
90	64.4268	63.2031	63.6392	63.7564	0.6202

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด กองที่ 3

เวลาหมัก (วัน)	ปริมาณความชื้น (%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	MEAN	SD
0	67.0209	64.4235	66.3395	65.9280	1.3467
7	50.7637	41.9667	37.9844	43.5716	6.5391
14	45.5383	41.0001	36.4849	41.0077	4.5267
21	39.8119	42.6918	41.2918	41.2652	1.4401
28	40.7684	40.5731	38.0443	39.7953	1.5195
35	48.8807	46.3984	49.8716	48.3836	1.7891
42	51.9606	47.7954	50.9866	50.2475	2.1787
49	51.6756	50.3751	51.5682	51.2063	0.7218
56	54.5170	55.1614	53.7932	54.4905	0.6845
63	60.5337	57.8167	58.7785	59.0430	1.3777
70	62.0869	63.4198	62.3915	62.6328	0.6984
77	60.7832	61.1495	59.7473	60.5600	0.7273
84	58.6104	60.0860	58.6593	59.1186	0.8381
90	62.2391	61.9463	60.4395	61.5416	0.9656

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด กองที่ 4

เวลาหมัก (วัน)	ปริมาณความชื้น (%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	MEAN	SD
0	65.9020	64.3942	65.4657	65.2539	0.7759
7	36.7361	45.7883	41.5123	41.3456	4.5284
14	43.6038	43.4588	38.1602	41.7409	3.1019
21	42.5939	41.0921	41.9601	41.8820	0.7539
28	41.9516	43.9460	51.5564	45.8180	5.0686
35	46.1295	47.8319	49.5870	47.8495	1.7289
42	48.0363	45.1208	50.7960	47.9844	2.8379
49	52.2857	51.7836	53.0564	52.3752	0.6411
56	55.2167	54.7160	54.3276	54.7534	0.4457
63	59.2880	59.5363	58.8854	59.2366	0.3285
70	60.6617	60.2220	59.5955	60.1597	0.5358
77	62.7387	62.3668	61.7362	62.2806	0.5068
84	59.4862	57.9100	57.8776	58.4246	0.9195
90	60.1636	61.4906	59.5550	60.4030	0.9898

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักมูลสุกร กองที่ 5

เวลาหมัก (วัน)	ปริมาณความชื้น (%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	MEAN	SD
0	63.0156	66.9289	64.0057	64.6501	2.0347
7	34.5981	37.0984	36.2351	35.9772	1.2700
14	33.1246	34.5154	34.5123	34.0508	0.8021
21	35.1325	36.8802	36.2050	36.0726	0.8813
28	37.7353	36.3859	37.7948	37.3053	0.7968
35	43.0622	41.2871	41.6108	41.9867	0.9454
42	45.4235	43.3582	43.0968	43.9595	1.2746
49	44.7054	45.9120	45.0026	45.2067	0.6287
56	48.3704	48.0916	49.0433	48.5018	0.4892
63	55.7291	53.8129	54.2502	54.5974	1.0042
70	56.8750	55.0756	56.3884	56.1130	0.9308
77	58.8791	59.7901	59.2194	59.2962	0.4603
84	61.0577	58.8197	59.8224	59.9000	1.1210
90	59.6318	60.9982	60.4998	60.3766	0.6915

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักมูลสุกร กองที่ 6

เวลาหมัก (วัน)	ปริมาณความชื้น (%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	MEAN	SD
0	64.3574	66.4188	63.1087	64.6283	1.6716
7	35.5461	37.7230	29.5098	34.2597	4.2550
14	35.8911	37.4853	40.0747	37.8170	2.1114
21	31.1413	37.8361	39.8875	36.2883	4.5739
28	40.4276	38.3941	40.0606	39.6274	1.0837
35	42.1916	43.0079	43.5562	42.9186	0.6867
42	47.6214	48.4898	47.1394	47.7502	0.6844
49	48.3619	46.7911	48.1415	47.7648	0.8505
56	48.6956	46.9604	48.9788	48.2116	1.0928
63	53.3885	52.8952	50.9959	52.4265	1.2633
70	53.5998	54.9300	55.3136	54.6145	0.8995
77	58.8238	58.9448	61.6872	59.8186	1.6194
84	61.3526	60.3539	61.6759	61.1275	0.6891
90	60.7753	59.6937	61.6096	60.6928	0.9606

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักกากตะกอน กองที่ 7

เวลาหมัก (วัน)	ปริมาณความชื้น (%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2	MEAN	SD
0	62.0802	61.7160	64.3273	62.7078	1.4143
7	35.4985	35.7122	40.2308	37.1472	2.6727
14	33.0837	36.7644	39.7390	36.5290	3.3339
21	43.6310	38.7640	42.4250	41.6067	2.5346
28	40.9815	43.8977	41.8746	42.2513	1.4941
35	40.5201	42.3880	42.4925	41.8002	1.1098
42	44.7120	43.8087	43.7371	44.0859	0.5434
49	48.3509	48.9345	47.0223	48.1026	0.9800
56	48.6476	49.0925	50.2167	49.3190	0.8087
63	52.4327	53.6433	53.0956	53.0572	0.6062
70	54.4137	55.4537	57.0558	55.6411	1.3310
77	59.5284	60.7034	60.6155	60.2824	0.6545
84	63.5394	61.6544	62.5081	62.5673	0.9439
90	62.9580	60.9330	61.4181	61.7697	1.0573

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปุ๋ยหมักกากตะกอน กองที่ 8

เวลาหมัก (วัน)	ปริมาณความชื้น (%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	MEAN	SD
0	62.2468	63.5642	63.0108	62.9406	0.6615
7	34.8110	38.8225	35.2711	36.3016	2.1953
14	34.4172	40.7348	41.9791	39.0437	4.0547
21	39.5257	41.0343	38.5323	39.6974	1.2598
28	40.2860	42.6037	40.6869	41.1922	1.2387
35	42.9843	43.2611	44.3396	43.5283	0.7161
42	45.4608	43.7924	45.1118	44.7883	0.8800
49	49.0462	48.5763	48.4296	48.6840	0.3221
56	50.0818	49.0315	49.9658	49.6931	0.5759
63	52.1200	51.6929	50.2790	51.3639	0.9636
70	54.9981	55.6622	53.4237	54.6947	1.1497
77	59.0914	58.9791	59.5354	59.2020	0.2942
84	62.1343	60.7649	59.0598	60.6530	1.5403
90	61.4699	60.3516	60.1837	60.6684	0.6992

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.16 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย

วันที่	ยูเรีย 1	ยูเรีย 2
0	7.15	7.21
1	7.03	7.08
2	7.00	7.01
3	7.36	7.69
4	8.24	8.15
5	8.71	8.84
6	8.58	8.66
7	8.55	8.74
8	8.74	8.69
9	8.77	8.80
10	8.82	8.89
11	8.51	8.47
12	8.35	8.11
13	8.01	7.96
14	7.71	7.58
15	7.88	7.63
16	7.41	7.45
17	7.35	7.52
18	7.46	7.74
19	7.44	7.81
20	7.54	7.68
21	7.68	7.42
22	7.59	7.33
23	7.44	7.51
24	7.26	7.42

วันที่	ยูเรีย 1	ยูเรีย 2
25	7.14	7.26
26	7.51	7.42
27	7.66	7.53
28	7.79	7.66
29	7.51	7.61
30	7.51	7.48
31	7.43	7.32
32	7.34	7.36
33	7.35	7.36
34	7.48	7.40
35	7.63	7.55
36	7.63	7.63
37	7.59	7.69
38	7.50	7.73
39	7.50	7.73
40	7.57	7.88
41	7.64	7.91
42	7.67	7.90
43	7.71	7.66
44	7.76	7.53
45	7.26	7.31
46	7.24	7.33
47	7.74	8.01
48	7.85	8.03
49	8.05	8.08

ตารางที่ ค.16 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย (ต่อ)

วันที่	ยูเรีย 1	ยูเรีย 2
50	7.98	7.94
51	7.55	7.68
52	7.61	7.71
53	7.45	7.68
54	7.33	7.59
55	8.16	8.13
56	8.02	8.06
57	8.09	8.07
58	8.05	8.10
59	8.06	8.12
60	8.08	8.09
61	7.97	8.00
62	8.00	8.06
63	8.09	8.11
64	8.06	8.03
65	7.99	7.66
66	7.82	7.82
67	8.00	8.01
68	8.04	8.03
69	8.07	8.12
70	8.12	8.07
71	8.10	8.04
72	7.95	7.93
73	7.86	7.95
74	7.91	7.95

วันที่	ยูเรีย 1	ยูเรีย 2
75	8.04	8.00
76	8.06	8.01
77	7.81	7.80
78	7.79	7.76
79	8.00	7.68
80	7.66	7.62
81	7.74	7.71
82	7.68	7.68
83	7.99	7.72
84	7.82	7.46
85	7.64	7.55
86	7.73	7.59
87	7.75	7.69
88	7.68	7.58
89	7.66	7.60
90	7.65	7.62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.17 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด

วันที่	เศษปลานิลสด 3	เศษปลานิลสด 4
0	7.20	7.34
1	7.14	7.06
2	7.12	7.03
3	7.65	7.42
4	7.88	7.69
5	8.12	8.25
6	7.66	7.99
7	7.51	7.86
8	7.43	7.63
9	7.40	7.60
10	7.40	7.48
11	7.36	7.36
12	7.21	7.11
13	7.25	7.16
14	7.20	7.24
15	7.13	7.26
16	7.32	7.24
17	7.46	7.32
18	7.49	7.30
19	7.53	7.26
20	7.44	7.24
21	7.41	7.33
22	7.38	7.26
23	7.25	7.29
24	7.26	7.30

วันที่	เศษปลานิลสด 3	เศษปลานิลสด 4
25	7.23	7.32
26	7.36	7.46
27	7.54	7.66
28	7.79	7.89
29	7.74	7.93
30	7.63	7.82
31	7.55	7.76
32	7.60	7.50
33	7.60	7.49
34	7.63	7.61
35	7.70	7.76
36	7.62	7.81
37	7.60	7.79
38	7.58	7.76
39	7.58	7.76
40	7.69	7.75
41	7.85	7.72
42	7.75	7.90
43	7.62	7.66
44	7.47	7.63
45	7.58	7.71
46	7.69	7.74
47	7.75	7.88
48	7.61	7.73
49	7.67	7.88

ตารางที่ ค.17 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด (ต่อ)

วันที่	เศษปลานิลสด 3	เศษปลานิลสด 4
50	7.53	7.80
51	7.55	7.83
52	7.65	7.91
53	7.68	7.86
54	7.66	7.89
55	7.73	7.85
56	7.81	7.88
57	7.86	7.83
58	7.72	7.79
59	7.59	7.80
60	7.67	7.76
61	7.70	7.69
62	7.59	7.70
63	7.57	7.63
64	7.63	7.70
65	7.53	7.68
66	7.54	7.63
67	7.54	7.64
68	7.53	7.62
69	7.56	7.71
70	7.59	7.68
71	7.63	7.63
72	7.65	7.59
73	7.69	7.53
74	7.70	7.52

วันที่	เศษปลานิลสด 3	เศษปลานิลสด 4
75	7.72	7.50
76	7.54	7.53
77	7.42	7.59
78	7.59	7.72
79	7.68	7.68
80	7.69	7.62
81	7.73	7.39
82	7.62	7.46
83	7.63	7.48
84	7.53	7.53
85	7.55	7.56
86	7.59	7.46
87	7.63	7.42
88	7.68	7.68
89	7.53	7.68
90	7.51	7.56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.18 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักมูลสุกร

วันที่	มูลสุกร 5	มูลสุกร 6
0	7.25	7.35
1	7.00	7.05
2	6.99	7.06
3	7.29	7.26
4	7.44	7.55
5	7.75	7.93
6	7.64	7.74
7	7.79	7.86
8	7.81	8.03
9	7.86	8.10
10	7.93	8.26
11	8.03	8.10
12	8.10	8.03
13	8.00	7.69
14	7.93	7.99
15	7.95	7.59
16	7.83	7.61
17	7.88	7.64
18	7.92	7.95
19	8.01	7.99
20	8.03	8.15
21	7.93	7.65
22	7.95	7.69
23	7.62	7.64
24	7.59	7.63

วันที่	มูลสุกร 5	มูลสุกร 6
25	7.39	7.57
26	7.86	7.68
27	7.88	7.81
28	8.21	8.19
29	8.07	8.20
30	8.04	8.13
31	8.03	8.06
32	8.01	8.03
33	8.01	8.03
34	8.05	8.12
35	8.12	8.19
36	8.23	8.33
37	8.21	8.23
38	8.17	8.14
39	8.17	8.14
40	8.14	8.13
41	8.13	8.20
42	8.06	8.13
43	7.92	8.11
44	7.89	8.05
45	7.85	8.06
46	7.79	8.17
47	7.94	8.25
48	8.03	8.14
49	7.94	8.10

ตารางที่ ค.18 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักมูลสุกร (ต่อ)

วันที่	มูลสุกร 5	มูลสุกร 6
50	7.75	7.88
51	7.70	7.94
52	7.75	8.00
53	7.68	8.00
54	7.70	8.03
55	7.77	8.12
56	7.89	8.16
57	7.84	8.03
58	7.63	8.06
59	7.72	8.01
60	7.70	7.99
61	7.61	8.01
62	7.63	8.03
63	7.64	8.09
64	7.69	8.10
65	7.77	8.03
66	7.72	8.02
67	7.70	7.99
68	7.62	7.97
69	7.64	7.83
70	7.65	7.85
71	7.49	7.89
72	7.53	7.92
73	7.43	7.82
74	7.50	7.88

วันที่	มูลสุกร 5	มูลสุกร 6
75	7.56	7.93
76	7.56	7.46
77	7.53	7.35
78	7.46	7.38
79	7.42	7.40
80	7.39	7.52
81	7.46	7.68
82	7.35	7.55
83	7.42	7.54
84	7.36	7.31
85	7.45	7.40
86	7.42	7.33
87	7.36	7.29
88	7.33	7.29
89	7.28	7.25
90	7.33	7.28

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.19 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักกากตะกอน

วันที่	กากตะกอน 7	กากตะกอน 8	วันที่	กากตะกอน 7	กากตะกอน 8
0	8.32	8.44	**25**	7.91	7.71
1	8.21	8.40	**26**	7.99	7.89
2	8.11	8.34	**27**	8.23	8.14
3	8.03	8.60	**28**	8.30	8.29
4	8.12	8.10	**29**	8.27	8.05
5	7.96	7.97	**30**	8.23	8.03
6	7.77	7.86	**31**	8.21	8.04
7	7.83	7.90	**32**	8.17	7.96
8	8.24	8.13	**33**	8.17	7.96
9	8.32	8.39	**34**	8.10	8.00
10	8.48	8.50	**35**	8.08	8.12
11	8.54	8.56	**36**	8.27	8.35
12	8.69	8.62	**37**	8.15	8.12
13	8.13	8.53	**38**	8.13	7.85
14	8.10	8.32	**39**	8.13	7.85
15	8.03	8.06	**40**	8.14	8.06
16	7.82	8.00	**41**	8.14	8.12
17	7.77	8.06	**42**	8.16	8.18
18	8.13	8.16	**43**	8.06	8.01
19	8.16	8.26	**44**	7.99	7.96
20	8.21	8.23	**45**	8.02	8.04
21	8.09	8.16	**46**	7.99	7.96
22	7.93	8.08	**47**	8.10	8.27
23	7.83	8.00	**48**	8.15	8.35
24	7.88	7.96	**49**	8.08	8.12

ตารางที่ ค.19 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักกากตะกอน (ต่อ)

วันที่	กากตะกอน 7	กากตะกอน 8
50	7.88	7.90
51	7.89	7.96
52	7.93	7.98
53	8.00	8.10
54	8.03	8.10
55	8.03	8.11
56	8.06	8.15
57	8.07	8.13
58	8.03	8.08
59	8.04	8.10
60	8.05	8.09
61	7.82	7.99
62	7.92	8.01
63	7.94	8.02
64	8.00	8.06
65	8.06	8.00
66	8.03	8.04
67	8.02	8.02
68	8.00	8.06
69	8.10	8.13
70	8.12	8.13
71	8.06	8.09
72	8.04	8.06
73	8.03	8.00
74	8.03	8.03

วันที่	กากตะกอน 7	กากตะกอน 8
75	7.95	7.99
76	7.94	7.96
77	7.90	7.95
78	7.83	8.01
79	7.86	8.03
80	7.80	7.96
81	7.76	7.92
82	7.73	7.83
83	7.69	7.68
84	7.70	7.75
85	7.69	7.68
86	7.71	7.70
87	7.76	7.73
88	7.75	7.71
89	7.74	7.68
90	7.72	7.75

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	ครั้งที่	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)							
		0	**14**	**28**	**42**	**56**	**70**	**84**	**90**
ปุ๋ยยูเรีย 1	1	71.6827	59.8677	52.8240	45.9368	51.1215	37.3507	42.5294	39.9148
	2	75.1098	62.4566	50.2981	47.8991	49.3202	36.6258	43.8243	40.5130
	3	72.0749	63.1991	50.7541	45.0625	53.5272	42.7787	41.5041	38.1048
MEAN		72.9558	61.8411	51.2921	46.2995	51.3230	38.9184	42.6193	39.5109
SD		1.8757	1.7489	1.3461	1.4527	2.1107	3.3627	1.1628	1.2539
ปุ๋ยยูเรีย 2	1	72.2969	55.9979	53.8966	39.3772	36.2351	35.5053	34.4284	33.9051
	2	70.9816	58.7572	49.9993	39.3427	38.3132	41.1272	34.8455	35.8517
	3	78.1367	62.9753	47.4653	46.4490	35.3186	37.1420	36.9624	35.7528
MEAN		73.8050	59.2435	50.4538	41.7230	36.6223	37.9248	35.4121	35.1699
SD		3.8085	3.5140	3.2396	4.0929	1.5344	2.8916	1.3587	1.0964
เศษปลานิลสด 3	1	70.0962	59.6240	57.1921	51.4565	37.6595	40.2400	34.0445	33.1064
	2	66.9331	57.4642	52.6547	52.5407	40.0147	39.9368	36.8998	35.4068
	3	65.5689	56.6479	53.7763	49.2081	36.9224	40.1328	35.9524	36.8998
MEAN		67.5327	57.9120	54.5410	51.0685	38.1989	40.1032	35.6322	35.1377
SD		2.3224	1.5377	2.3633	1.6999	1.6152	0.1537	1.4543	1.9110
เศษปลานิลสด 4	1	67.7469	58.2820	56.1754	46.9457	40.3563	35.9988	38.6050	32.3683
	2	66.8328	50.1065	53.6541	47.3246	35.8542	34.2679	35.8337	30.1336
	3	70.1025	58.7214	51.2122	49.2467	39.6511	35.5706	38.7373	31.7222
MEAN		68.2274	55.7033	53.6806	47.8390	38.6206	35.2791	37.7253	31.4080
SD		1.6870	4.8520	2.4817	1.2337	2.4215	0.9015	1.6395	1.1500
มูลสุกร 5	1	71.4493	68.1146	58.1644	55.2995	46.8545	42.5221	43.7625	43.3647
	2	71.7747	65.1015	56.7333	53.8770	50.0838	47.0370	46.2531	42.2482
	3	76.0904	65.5090	53.6834	49.9472	48.3070	44.9383	43.5071	40.3515
MEAN		73.1048	66.2417	56.1937	53.0412	48.4151	44.8325	44.5076	41.9881
SD		2.5907	1.6347	2.2887	2.7723	1.6174	2.2593	1.5170	1.5234

ตารางที่ ค.20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมัก (ต่อ)

ชนิดของปุ๋ย	ครั้งที่	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)							
		0	**14**	**28**	**42**	**56**	**70**	**84**	**90**
มูลสุกร 6	1	73.1492	65.4143	59.3441	48.9865	46.8412	40.2560	42.8370	44.7027
	2	72.9962	65.4555	58.0046	50.7978	45.2068	39.8774	41.8728	43.5129
	3	70.4625	62.7959	62.8166	52.2158	44.5894	42.5444	39.5600	42.4174
MEAN		72.2027	64.5553	60.0551	50.6667	45.5458	40.8926	41.4232	43.5444
SD		1.5089	1.5238	2.4835	1.6187	1.1635	1.4429	1.6841	1.1430
กากตะกอน 7	1	75.2597	61.1184	66.7523	56.1572	52.2769	49.7140	48.8120	46.5522
	2	75.9937	64.1714	63.8226	57.5019	50.6170	52.0764	47.1023	49.5754
	3	72.1685	63.0354	64.4229	55.3386	49.2818	50.4422	51.8797	47.7493
MEAN		74.4740	62.7751	64.9993	56.3326	50.7252	50.7442	49.2647	47.9590
SD		2.0300	1.5430	1.5476	1.0923	1.5005	1.2098	2.4207	1.5225
กากตะกอน 8	1	69.3725	64.4532	57.6728	50.1859	45.4600	48.1317	50.8801	47.8943
	2	70.7586	57.6017	59.9260	49.1001	46.7996	51.2362	49.6618	45.6594
	3	74.1497	60.9251	57.3763	51.5783	44.3118	49.8580	47.7253	44.1109
MEAN		71.4269	60.9933	58.3250	50.2881	45.5238	49.7420	49.4224	45.8882
SD		2.4577	3.4263	1.3943	1.2423	1.2451	1.5555	1.5910	1.9021

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	ครั้งที่	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)							
		0	14	28	42	56	70	84	90
ปุ๋ยยูเรีย 1	1	2.1612	2.1496	2.1712	1.6855	1.8395	1.6499	1.6621	1.4726
	2	1.9707	2.2175	1.9824	1.5973	1.9025	1.7400	1.6225	1.5502
	3	2.1518	2.0858	2.0442	1.7775	1.8814	1.8123	1.6046	1.4157
MEAN		2.0946	2.1510	2.0659	1.6868	1.8744	1.7341	1.6297	1.4795
SD		0.1074	0.0658	0.0962	0.0901	0.0321	0.0814	0.0294	0.0675
ปุ๋ยยูเรีย 2	1	2.2698	2.3125	1.9137	1.6046	1.4776	1.6110	1.6626	1.6184
	2	2.1336	2.3507	2.0479	1.5043	1.6109	1.6724	1.7268	1.5247
	3	2.0915	2.1646	1.8041	1.7811	1.5530	1.5658	1.6255	1.4751
MEAN		2.1650	2.2759	1.9219	1.6300	1.5472	1.6164	1.6716	1.5394
SD		0.0932	0.0983	0.1221	0.1401	0.0668	0.0535	0.0512	0.0728
เศษปลานิลสด 3	1	2.0742	2.2011	2.1120	1.9516	1.8815	1.8122	1.7808	1.9699
	2	1.9528	2.3449	2.0354	1.9540	1.7971	1.6614	1.5908	1.7702
	3	2.1950	2.3088	2.0678	2.0680	1.7731	1.8577	1.6517	1.8692
MEAN		2.0740	2.2850	2.0717	1.9912	1.8172	1.7771	1.6744	1.8698
SD		0.1211	0.0748	0.0384	0.0665	0.0569	0.1027	0.0970	0.0999
เศษปลานิลสด 4	1	2.1931	2.1828	2.1702	1.9689	1.7608	1.8957	1.8142	1.7291
	2	2.1037	2.2529	2.0665	1.8104	1.7287	1.7305	1.7780	1.7355
	3	1.9780	2.0769	1.9602	1.9636	1.8523	1.8219	1.6739	1.8155
MEAN		2.0916	2.1709	2.0656	1.9143	1.7806	1.8160	1.7554	1.7600
SD		0.1081	0.0886	0.1050	0.0900	0.0641	0.0828	0.0728	0.0481
มูลสุกร 5	1	1.9880	2.0036	1.7918	1.8073	1.7127	1.7331	1.5304	1.7523
	2	2.1236	2.1668	1.7447	1.7708	1.6033	1.5632	1.6056	1.6883
	3	2.1147	1.9924	1.9380	1.7672	1.6828	1.6467	1.5888	1.5942
MEAN		2.0755	2.0543	1.8248	1.7818	1.6662	1.6476	1.5749	1.6783
SD		0.0758	0.0976	0.1008	0.0222	0.0566	0.0849	0.0394	0.0795

ตารางที่ ค.21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมัก (ต่อ)

ชนิดของปุ๋ย	ครั้งที่	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)							
		0	**14**	**28**	**42**	**56**	**70**	**84**	**90**
มูลสุกร 6	1	2.1841	2.1080	1.5709	1.7679	1.6952	1.6840	1.5180	1.7664
	2	1.9419	2.2530	1.6476	1.8396	1.5982	1.5349	1.3862	1.6471
	3	2.1131	2.0737	1.7477	1.7029	1.5718	1.6337	1.4931	1.6375
MEAN		2.0797	2.1449	1.6554	1.7701	1.6217	1.6175	1.4657	1.6837
SD		0.1245	0.0952	0.0887	0.0684	0.0650	0.0759	0.0700	0.0718
กากตะกอน 7	1	2.2100	2.2199	1.9252	1.7705	1.9302	1.6738	1.5314	1.7498
	2	2.1569	2.1202	2.0931	1.7598	1.8757	1.7489	1.6656	1.6978
	3	2.0552	2.1797	1.9576	1.9166	1.8623	1.8129	1.5132	1.7384
MEAN		2.1407	2.1733	1.9920	1.8157	1.8894	1.7452	1.5701	1.7287
SD		0.0786	0.0502	0.0891	0.0876	0.0360	0.0696	0.0832	0.0273
กากตะกอน 8	1	2.0810	2.1191	2.0404	1.6734	1.9475	1.6578	1.6493	1.6799
	2	2.0812	2.0342	1.9446	1.6775	1.8248	1.7302	1.5575	1.7405
	3	2.1507	2.0986	1.8964	1.8137	1.8062	1.8358	1.6111	1.7385
MEAN		2.1043	2.0840	1.9604	1.7215	1.8595	1.7413	1.6060	1.7197
SD		0.0402	0.0443	0.0733	0.0798	0.0768	0.0895	0.0461	0.0344

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.22 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด

ชนิดของปุ๋ย	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)							
	0	**14**	**28**	**42**	**56**	**70**	**84**	**90**
ยูเรีย 1	20.25	16.72	14.43	15.96	15.92	13.05	15.20	15.53
ยูเรีย 2	19.82	15.13	15.26	14.88	13.76	13.64	12.32	13.28
เศษปลา 3	18.93	14.74	15.31	14.91	12.22	13.12	12.37	10.93
เศษปลา 4	18.96	14.92	15.11	14.53	12.61	11.29	12.49	10.38
มูลสุกร 5	20.48	18.75	17.90	17.31	16.89	15.82	16.43	14.55
มูลสุกร 6	20.18	17.50	21.09	16.64	16.33	14.70	16.43	15.04
กากตะกอน 7	20.23	16.79	18.97	18.04	15.61	16.90	18.24	16.13
กากตะกอน 8	19.73	17.02	17.30	16.98	14.23	16.61	17.89	15.51

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัส (% P_2O_5) ของปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)							
	0	**14**	**28**	**42**	**56**	**70**	**84**	**90**
ยูเรีย 1	0.09	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08
ยูเรีย 2	0.05	0.08	0.17	0.13	0.05	0.08	0.08	0.10
เศษปลา 3	0.07	0.09	0.08	0.13	0.12	0.15	0.17	0.25
เศษปลา 4	0.07	0.09	0.15	0.12	0.12	0.13	0.17	0.17
มูลสุกร 5	0.11	0.11	0.10	0.11	0.12	0.15	0.15	0.14
มูลสุกร 6	0.10	0.11	0.14	0.13	0.16	0.13	0.13	0.15
กากตะกอน 7	0.13	0.12	0.12	0.14	0.19	0.16	0.17	0.20
กากตะกอน 8	0.15	0.17	0.21	0.15	0.12	0.16	0.15	0.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียม (% K_2O) ของปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)							
	0	**14**	**28**	**42**	**56**	**70**	**84**	**90**
ยูเรีย 1	0.15	0.15	0.18	0.12	0.06	0.10	0.07	0.05
ยูเรีย 2	0.18	0.13	0.19	0.15	0.12	0.13	0.11	0.10
เศษปลา 3	0.24	0.30	0.18	0.17	0.11	0.17	0.16	0.15
เศษปลา 4	0.53	0.46	0.25	0.18	0.13	0.18	0.19	0.21
มูลสุกร 5	0.21	0.18	0.19	0.11	0.11	0.10	0.10	0.08
มูลสุกร 6	0.27	0.25	0.22	0.19	0.12	0.16	0.15	0.15
กากตะกอน 7	0.27	0.25	0.18	0.16	0.11	0.11	0.12	0.11
กากตะกอน 8	0.24	0.21	0.13	0.12	0.08	0.11	0.13	0.15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.25 ดัชนีการงอกของเมล็ดเมื่อทดสอบกับปุ๋ยหมัก

วันที่	การงอกของเมล็ด ของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด(%)							
	U1	**U2**	**F3**	**F4**	**P5**	**P6**	**CP7**	**CP8**
0	55.56	56.26	60.21	61.02	62.23	62.03	59.23	60.21
7	84.09	94.02	92.18	97.65	90.77	89.83	95.01	90.49
14	90.23	93.24	99.24	100.32	88.25	90.25	98.23	99.14
21	98.25	98.64	102.35	108.35	85.32	84.98	89.55	88.68
28	101.00	90.57	85.43	85.70	89.03	86.89	84.79	85.79
35	96.13	107.93	113.17	109.71	114.93	102.22	97.57	100.72
42	101.59	98.53	95.09	102.89	85.56	99.18	101.85	96.90
49	100.44	106.38	109.16	102.44	90.79	98.34	98.98	89.81
56	89.08	96.15	90.51	91.53	84.13	86.73	94.06	84.90
63	101.08	99.55	108.35	113.96	106.46	106.42	110.10	104.31
70	102.79	97.95	105.65	105.46	108.58	97.40	97.80	102.02
77	100.25	99.25	104.26	105.26	106.02	100.36	101.77	100.68
84	100.23	96.32	100.236	102.354	108.65	100.236	99.25	97.27
90	98.27	97.26	98.27	100.25	100.27	100.02	100.26	98.33

หมายเหตุ U1 = ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย กองที่ 1
U2 = ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรีย กองที่ 2
F3 = ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด กองที่ 3
F4 = ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสด กองที่ 4
P5 = ปุ๋ยหมักมูลสุกร กองที่ 5
P6 = ปุ๋ยหมักมูลสุกร กองที่ 6
CP7 = ปุ๋ยหมักกากตะกอน กองที่ 7
CP8 = ปุ๋ยหมักกากตะกอน กองที่ 8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ภาพงานวิจัยบางส่วน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ ง.1 ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียในวันที่ 14 ของการหมัก

ภาพที่ ง.2 ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดในวันที่ 14 ของการหมัก

ภาพที่ ง.3 ปุ๋ยหมักมูลสุกรในวันที่ 14 ของการหมัก

ภาพที่ ง.4 ปุ๋ยหมักกากตะกอนในวันที่ 14 ของการหมัก

ภาพที่ ง.5 ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียในวันที่ 28 ของการหมัก

ภาพที่ ง.6 ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดในวันที่ 28 ของการหมัก

ภาพที่ ง.7 ปุ๋ยหมักมูลสุกรในวันที่ 28 ของการหมัก

ภาพที่ ง.8 ปุ๋ยหมักกากตะกอนในวันที่ 28 ของการหมัก

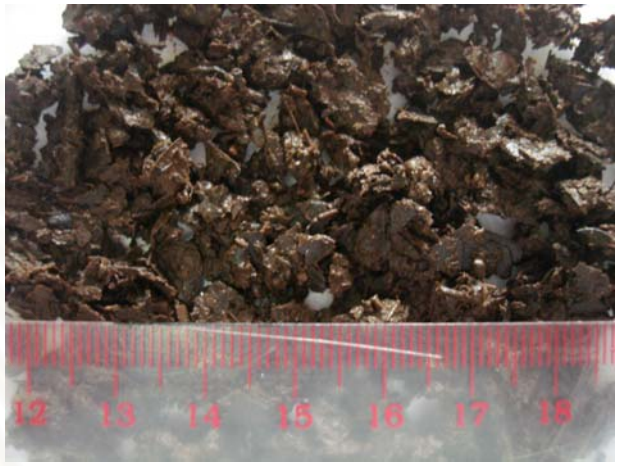
ภาพที่ ง.9 ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียในวันที่ 42 ของการหมัก

ภาพที่ ง.10 ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดในวันที่ 42 ของการหมัก

ภาพที่ ง.11 ปุ๋ยหมักมูลสุกรในวันที่ 42 ของการหมัก

ภาพที่ ง.12 ปุ๋ยหมักกากตะกอนในวันที่ 42 ของการหมัก

ภาพที่ ง.13 ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 1 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน



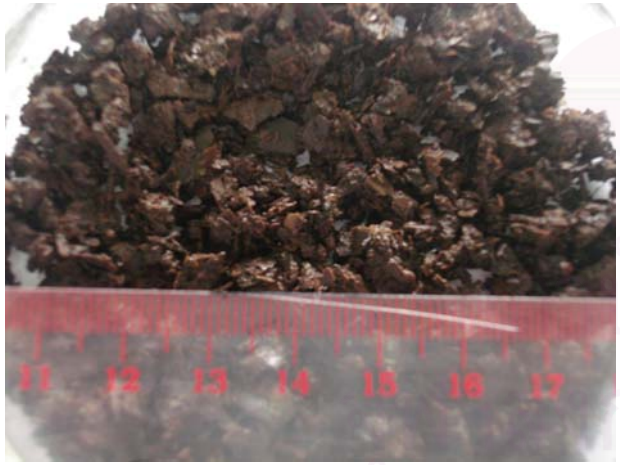
ภาพที่ ง.14 ปุ๋ยหมักปุ๋ยยูเรียกองที่ 2 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน

ภาพที่ ง.15 ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 3 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน

ภาพที่ ง.16 ปุ๋ยหมักเศษปลานิลสดกองที่ 4 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน

ภาพที่ ง.17 ปุ๋ยหมักมูลสุกรกองที่ 5 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน

ภาพที่ ง.18 ปุ๋ยหมักมูลสุกรกองที่ 6 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน



ภาพที่ ง.19 ปุ๋ยหมักกากตะกอนกองที่ 7 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน

ภาพที่ ง.20 ปุ๋ยหมักกากตะกอนกองที่ 8 เมื่อทำการหมักครบ 90 วัน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเปรมสุดา จิ๋วนอก เกิดเมื่อวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาครุศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาหลักสูตรการสอนและเทคโนโลยีการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย